





موسسه آموزش عالی انرژی
دانشکده فنی و مهندسی
پایان نامه جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی تکنولوژی سیستم های انرژی
گروه مهندسی تکنولوژی سیستم های انرژی

عنوان

امکان سنجی جایگزینی سیستمهای Bag house بجای الکتروفیلتر در راستای کاهش مصرف اب در کارخانه سیمان ساوه

نگارنده:

علی کارگر

استاد راهنما:

دکتر مجتبی میرزایی

استاد مشاور:

دکتر رضا علائی

تابستان ۱۳۹۶

این فرم باید توسط دانشجو تایپ شده به تعداد خواسته شده، در روز دفاع تحویل داده شود.

باسمه تعالی



صور تجلسه دفاع

تاریخ صور تجلسه گروه آموزشی	
شماره دانشجویی	
کد دفاع	
تاریخ صور تجلسه شورای پژوهشی	

با تأییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای			
در رشته:	مهندسی سیستم های انرژی	تحت عنوان:	امکان سنجی جایگزینی سیستمهای Bag house بجای الکتروفیلتر در راستای کاهش مصرف اب در کارخانه سیمان ساوه
با حضور استاد راهنما، استاد(استادان) مشاور و هیأت داوران در مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه در تاریخ			
تشکیل گردید.			
در این جلسه ، پایان نامه : □ با موفقیت مورد دفاع قرار گرفت □ نیازمند اصلاحات است □ مردود اعلام گردید.			
نامبرده نمره	با امتیاز	(بدون احتساب نمره مقاله) دریافت نمود.	

نام و نام خانوادگی استاد راهنما	دکتر مجتبی میرزائی	محل امضاء
نام و نام خانوادگی استادمشاور	دکتر رضا اعلائی	محل امضاء
هیأت داوران:		
۱-	محل امضاء ۱	محل امضاء ۲
۲-		
مدیر گروه یا رئیس تحصیلات تکمیلی واحد:	محل امضاء	معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه
نام و نام خانوادگی		

***** (اطلاعات این قسمت حتما توسط کارشناس پژوهشی تکمیل گردد) *****

نمره حاصل از ارزشیابی مقاله / مقالات دانشجو برابر ضوابط (از سقف ۲ نمره) محاسبه و نمره نهایی پایان نامه (مجموع نمره دفاع و مقاله) به عدد به حروف با درجه به تصویب رسید. / موارد اصلاحیه جهت اجرا به اطلاع دانشجو رسید.

تأیید کارشناس حوزه پژوهشی تأیید معاون پژوهشی و فناوری مؤسسه آموزش عالی انرژی ساوه



حوزه معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی

موسسه آموزش عالی انرژی

تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب **علی کارگر** دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته در رشته مهندسی سیستم‌های انرژی که در تاریخ ۱۳۹۶/۵/۲۴ از پایان‌نامه خود با عنوان **امکان سنجی جایگزینی سیستمهای Bag house بجای الکتروفیلتر در راستای کاهش مصرف آب در کارخانه سیمان ساوه** با کسب نمره و درجه دفاع نموده‌ام بدین‌وسیله اعتراف می‌کنم:

(۱) این پایان‌نامه حاصل تحقیق و پژوهش اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان‌نامه، کتاب، مقاله و) استفاده کرده‌ام، مطابق ضوابط موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست منابع ذکر و درج نموده‌ام.

(۲) این پایان‌نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین‌تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزش عالی داخلی و خارجی ارائه نشده‌است.

ضمناً متعهد می‌شوم:

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره‌برداری اعم از چاپ مقاله، کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از استاد محترم راهنما و گروه آموزشی مربوطه مجوزهای لازم را اخذ نمایم.

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را بپذیرم و موسسه آموزش عالی انرژی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی‌ام، هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: **علی کارگر**

تاریخ و امضاء:

سپاسگزاری:

با سپاس فراوان از لطف خدای مهربان.

با تشکر از دو استاد بزرگوارم که شایسته ی هر نوع سپاس، تجلیل و تکریم اند؛

جناب آقای **دکترمجتبی میرزایی** ؛ استاد راهنمای ارجمند که با ایجاد عشق به

نوشتن، صبورانه، با ارایه ی رهنمودها، انتقادات و پیشنهادهایشان، در تمامی مراحل

اجرای پروژه مرا حمایت و تشویق نمودند و جناب آقای **دکتر رضا علائی** ؛ استاد

مشاور محترم که با نظرهای اصلاحی ارزنده ی خود، ضمن دلگرمی بنده، موجب

تکمیل این اثر شدند و در پایان از استادان محترمی که در طول دوران تحصیل، جهت

آموزش و ارتقای علمی بنده، زحمت کشیده اند سپاسگزارم.

تقدیم به:

خدایی که آفرید؛

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

و به همسرم؛

که از نگاهش مهربانی

از رفتارش محبت

و از صبرش ایستادگی را آموختم

نام خانوادگی محقق : کارگر	نام : علی
عنوان : امکان سنجی جایگزینی سیستمهای Bag house بجای الکتروفیلتر در راستای کاهش مصرف آب در کارخانه سیمان ساوه	
استاد راهنما : دکتر مجتبی میرزایی	
تعداد صفحات : ۲۲۴	
<p style="text-align: right;">چکیده</p> <p>پژوهش حاضر با هدف بهینه سازی انرژی در برج خنک کن و آنالیز زیست محیطی در شرکت سیمان ساوه انجام شده است. مطالعه حاضر به لحاظ هدف از نوع مطالعات کاربردی است. از لحاظ جمع آوری اطلاعات از نوع مطالعات مدلسازی می باشد و به لحاظ تجزیه و تحلیل داده ها، مطالعه ای تحلیلی بوده است. در این پژوهش روشی ارائه شد که در آن برج خنک کن از سیستم حذف شد و به تبع آن، بک هاوس جایگزین الکتروفیلتر گردید. روش کار به اینصورت است که از نصب دمپر فرش ایر بر روی داکت خروجی از پری هیتر جهت استفاده کردن از هوای محیط به جای آب برای خنک کردن گازهای خروجی از پیش گرم کن و حذف کولینگ تاور و متعلقات آن و تبدیل الکتروفیلتر به بک هاوس. نتایج در نرم افزار متلب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با این روش، مقدار انرژی قابل توجهی به دلیل حذف الکتروفیلتر و اجزای وابسته به آن بدست می آید. همچنین حذف مصرف آب روزانه در کولینگ تاور، حداکثر به مقدار ۹۶۰ متر مکعب در طول شبانه روز، حاصل گردید.</p>	
کلید واژه: بهینه سازی انرژی - برج خنک کن - زیست محیطی - شرکت سیمان ساوه	

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده.....	۵
۱- فصل اول: مقدمه و کلیات	۱
۱-۱- بیان مساله	۲
۲-۱- روش کار الکترو فیلتر	۸
۳-۱- معایب الکترو فیلترها	۱۵
۴-۱- بگ هاوس	۱۶
۲- فصل دوم: مبانی تحقیق	۱۷
۱-۲- چگونگی افزایش راندمان الکتروفیلتر و کاهش الودگی های زیست محیطی در صنعت سیمان.....	۱۸
۱-۱-۲- بررسی عملکرد بگ فیلتر و الکترو فیلتر در کنترل ذرات سیلیس	۱۹
۲-۱-۲- ارائه راهکارهای مدیریتی برای کنترل آلاینده های موجود در کارخانه سیمان	۲۰
۳-۱-۲- ارزیابی و مدیریت ذرات معلق خروجی از دود کش ها در کارخانه سیمان کاوان بوکان.....	۲۱
۴-۱-۲- ارزیابی و مدیریت ریسک جنبه های زیست محیطی شرکت سیمان لارستان	۲۲
۵-۱-۲- بررسی آثار و تبعات سوء زیست محیطی صنعت سیمان در کشور	۲۴
۶-۱-۲- بررسی آلاینده های صنعت سیمان و مدیریت و کنترل آن.....	۲۶
۷-۱-۲- بررسی آلاینده های تولید شده توسط واحدهای تولید سیمان و راهکارهای کنترل آنها.....	۲۷
۸-۱-۲- بررسی ریسک و مخاطرات در معرض قرار گرفتن ذرات معلق در ابعاد میکرومتر و نانومتر	۲۸
۹-۱-۲- بررسی عملکرد بگ فیلتر و الکتروفیلتر در کنترل ذرات سیلیس هوای محیط های صنعتی	۲۹

- ۲-۱-۱۰ بررسی فرآیندها و آلاینده های صنعت سیمان و مدیریت و کنترل آن ۳۰
- ۲-۱-۱۱ بررسی نقش صنایع در آلودگی هوا به منظور ارایه الگوی مدیریتی کنترل ۳۱
- ۲-۲-۲۲ صنعت سیمان و راهکارهایی جهت کاهش آلودگی آن ۳۳
- ۲-۲-۱ HSE آلودگی های صنعت سیمان و راهکارهای مدیریت ۳۳
- ۲-۲-۲ آلودگی هوا در صنعت سیمان ۳۴
- ۲-۲-۳ امکانسنجی استفاده از پساب تصفیه خانه های آب در صنعت سیمان ۳۵
- ۲-۲-۴ ارائه راهکارهای مدیریتی برای کنترل آلاینده های موجود در کارخانه سیمان ۳۶
- ۲-۲-۵ ارائه فرصتهای صرفه جویی انرژی و برآورد کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان کشور ۳۷
- ۲-۲-۶ ارائه ی الگوریتمی جهت تعیین مقدار بهینه هزینه انرژی الکتریکی مصرفی ۳۸
- ۲-۳-۳ ارزیابی بازیافت انرژی کوره ۳۹
- ۲-۳-۱ ارزیابی ریسک زیست محیطی کارخانه سیمان دورود با استفاده از روش EFMEA ۳۹
- ۲-۳-۲ ارزیابی ریسک محیط زیستی کارخانه سیمان اذر ابادگان خوی ۴۰
- ۲-۳-۳ ارزیابی ظرفیت کاهش آثار خارجی زیست محیطی به وسیله بهینه سازی مصرف انرژی ۴۳
- ۲-۳-۴ استفاده از سازو کار توسعه پاک جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای ۴۴
- ۲-۴-۴ امکان سنجی فنی اقتصادی فناوری های کاهش مصرف انرژی در صنعت سیمان ۴۵
- ۲-۴-۱ اولویت بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی و کاهش آلاینده ها در صنعت سیمان ۴۶
- ۲-۴-۲ اولویت بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی در بخش پخت کلینکر صنعت سیمان ۴۷
- ۲-۴-۳ فیلتراسیون در صنعت سیمان ۴۸
- ۲-۵ بهینه سازی انرژی در صنعت سیمان ۴۹

۴۹	۲-۵-۱ توسعه روش حفاظت از انرژی
۴۹	۲-۵-۲ الکترو فیلتر در صنعت سیمان
۵۰	۲-۵-۳ بهینه سازی انرژی مصرفی در صنعت سیمان
۵۱	۲-۵-۴ نظارت بهره وری الکترو فیلتر
۵۱	۲-۵-۵ برجهای خنک کننده
۶۱	۳-فصل سوم: معرفی شرکت سیمان خاکستری ساوه
۶۲	۳-۱ شرکت سیمان خاکستری ساوه
۶۳	۳-۲ سیمان
۶۶	۳-۲-۱ روش های تولید سیمان
۶۷	۳-۲-۲ مواد اولیه سیمان پرتلند
۷۱	۳-۳ آسیاب مواد Atox
۷۲	۳-۳-۱ اصول کلی کار
۷۳	۳-۳-۲ توانایی انطباق
۷۹	۳-۳-۳ انواع سیستم پیش گرم کن
۸۱	۳-۴ اجزای سیستم پخت
۸۱	۳-۴-۱ کولینگ تاور
۸۳	۳-۴-۲ نسوز کاری سیستم پخت سیمان
۸۹	۳-۵ سیلوهای سیمان
۹۸	۴-فصل چهارم: نصب دمپرفرش ایر بر روی داکت خروجی از پیش گرمکن

۱-۴	نصب دمپرفرش ایر بر روی داکت خروجی از پیش گرمکن و تبدیل الکتروفیلتر به بک هاووس. ۹۹
۱-۴-۱	طراحی بک هاووس به جای الکتروفیلتر ۱۰۰
۱-۴-۲	رفتار ذرات ۱۰۱
۱-۴-۳	اجزای فیلترهای پارچه ای ۱۰۴
۱-۴-۴	بدنه یا پوسته ۱۰۸
۱-۴-۲	بگ هاوسهای فشار منفی و مثبت ۱۰۹
۱-۴-۳	طرحهای فیلتر کردن ۱۱۱
۱-۴-۳-۱	افت فشار فیلتر پارچه ای (of fabric filter Pressure drop) ۱۱۴
۱-۴-۳-۲	افت فشار کیک غبار (dust cake of Pressure drop) ۱۱۵
۱-۴-۳-۳	افت فشار کل (The Total Pressure drop) ۱۱۶
۱-۴-۳-۴	نمودار فیلتر (A Filter Performance Curve) ۱۱۸
۱-۴-۳-۵	بگ هاوس چند بخشی (Multicomartment Baghouse) ۱۲۰
۱-۴-۳-۶	بگ هاوس جت پالس (Pulse-jet Baghouse) ۱۲۲
۱-۴-۴	عبارت (Air-To-Cloth Ratio) و سرعت فیلتراسیون (Filtration Velocity) ۱۲۳
۱-۴-۴-۱	عبارت air-to-cloth ratio gross ۱۲۴
۱-۴-۴-۲	عبارت air-to-cloth ration net, net ۱۲۴
۱-۴-۵	مقایسه سیستمهای تمیز سازی کیسه (Bag Cleaning Systems Comparisons) ۱۲۵
۱-۴-۶	نوع دیدگاه سازندگان بگهاوس در مورد Can velocity ۱۲۹
۱-۴-۷	نتیجه گیری در مورد فاکتور Can velocity ۱۳۰

۱۳۱	۴-۷-۱ راندمان فیلتراسیون
۱۳۲	۴-۷-۲ افت فشار
۱۳۹	۴-۸ کشش فیلتر
۱۴۱	۴-۹ اعمال سیستم جت پالس به دو روش در تجهیزات غبارگیر
۱۴۲	۴-۱۰ ملاحظات طراحی
۱۴۳	۴-۱۱ نسبت هوا با پارچه (Air to cloth ratio-A/C)
۱۴۷	۴-۱۲ ساختار فیلتر
۱۴۸	۴-۱۲-۱ فیلترهای بافته شده
۱۵۲	۴-۱۳ فیلترهای نمدی
۱۵۳	۴-۱۴ الیاف ها
۱۵۵	۴-۱۵ رفتار پارچه ها (خواص یا ویژگیها)
۱۶۰	۴-۱۶ مکانیسم شکست (خرابی) کیسه
۱۶۱	۴-۱۷ تست کردن کیسه ها
۱۶۲	۴-۱۸ نفوذپذیری
۱۶۳	۴-۱۹ تست MIT Flex
۱۶۳	۴-۱۹-۱ قدرت ترکیدگی Mullen و کشش پذیری
۱۶۴	۴-۲۰ شیوه های پاک کنندگی بگ هاوس
۱۶۶	۴-۲۱ مکانیزم های تمیزسازی کیسه
۱۶۶	۴-۲۱-۱ روش مکانیکی یا لرزاندن (Shaking)

۱۷۱	..... (Reverse Air) ۲-۲۱-۴ هوای معکوس
۱۷۵	..... Pulse Jet ۲۲-۴ روش
۱۸۱	.....pulse-jet ۲۳-۴ Compartment بگ هاوس های
۱۸۳	..... ۲۴-۴ مدل سازی برج خنک کن
۱۹۰	..... ۱-۲۴-۴ الگوریتم ژنتیک
۱۹۳	..... ۲۵-۴ حل مساله
۲۰۲	..... ۲۶-۴ جمع بندی فصل چهارم
۲۰۳	..... ۵-فصل پنجم: نتیجه گیری
۲۰۴	..... ۱-۵ نتایج
۲۰۸	..... ۲-۵ محاسبات حجم گازهای حاصل از احتراق
۲۰۹	..... ۱-۲-۵ گازهای ناشی از کلسیناسیون مواد و واکنش پخت
۲۱۱	..... ۲-۲-۵ محاسبه مقدار کل گازهای خروجی از آگروز اصلی در شرایط استفاده از گاز طبیعی
۲۱۴	..... ۳-۵ نتایج بدست آمده
۲۱۸	..... ۴-۵ نصب یک دستگاه بگ هاوس
۲۲۱	..... ۵-۵ نتیجه گیری

فهرست جداول

جدول	صفحه
جدول (۱-۴) ضرایب مقاومت	۱۲۹
جدول (۲-۴) ضرایب مقاومت فیلتر- گردوغبار برای گردو غبارهای صنعتی	۱۳۶
جدول (۳-۴) مقایسه ضریب مقاومت فیلتر- گرد و غبار محاسبه شده و مشاهده شده	۱۳۷
جدول (۴-۴) اعداد ثابت برای تعیین سطح کلی پارچه	۱۴۶
جدول (۵-۴) تعدادی از ویژگیهای استفاده شده در فیلترها	۱۵۶
جدول (۶-۴) رفتار پارچه براساس نوع پروسه	۱۵۸
جدول (۷-۴) پارامترهای تمیزسازی لرزشی	۱۷۰
جدول (۸-۴) پارامترهای طراحی نمونه ای تمیزسازی هوای معکوس	۱۷۷
جدول (۹-۴) پارامترهای طراحی نمونه ای تمیز کننده های Pluse-jet	۱۸۰
جدول (۱۰-۴) ضرایب موجود در رابطه (۲۲-۴)	۱۸۴
جدول (۱۱-۴) ضرایب معادله (۲۵-۴)	۱۸۵
جدول (۱۲-۴) ضرایب معادله (۲۷-۴)	۱۸۶
جدول (۱۳-۴) تطابق مفاهیم ژنتیکی با مفاهیم بهینه سازی	۱۹۰
جدول (۱۴-۴) مقادیر پارامتر نهایی برای الگوریتم پیشنهاد شده	۱۹۳
جدول (۱-۵) ضریب تبدیل مواد به کلینکر	۲۱۰
جدول (۲-۵) مقایسه الکتروفیلترهای کارخانه های سیمان	۲۱۳

فهرست اشکال

صفحه

شکل

- شکل (۱-۲) توزیع پیش بینی شده در کنار برج برای شرایط خاص از مدل محاسباتی..... ۵۳
- شکل (۲-۲) بهره وری برج به عنوان تابعی از نسبت هوا و جریان توده آب..... ۵۴
- شکل (۳-۲) محاسبات توزیع دمای گاز و ارتفاع قطرات را نشان می‌دهد..... ۵۵
- شکل (۴-۲) مقایسه وسیعی در برابر تنوع در نرخ جریان توده ای از آب و هوا..... ۵۶
- شکل (۵-۲) پیکربندی برج خنک کننده GATTON..... ۵۷
- شکل (۱-۳) شرکت سیمان خاکستری ساوه..... ۶۳
- شکل (۲-۳) سالن خاک..... ۶۹
- شکل (۳-۳) آسیاب مواد ATOX..... ۷۰
- شکل (۴-۳) سیلوی مواد خام..... ۷۴
- شکل (۵-۳) پخت (پیش گرمکن کوره و کولر)..... ۷۵
- شکل (۶-۳) کوره-غلtek-سیستم چرخاننده-داکت جریان هوای ثالثیه..... ۸۰
- شکل (۷-۳) داخل کوره و نسوزکاری آن..... ۸۳
- شکل (۸-۳) مشعل کوره و خروجی کوره..... ۸۵
- شکل (۹-۳) کوتینگ منطقه پخت..... ۸۸
- شکل (۱۰-۳) سیلوی سیمان..... ۹۰
- شکل (۱-۴) غبارها در سطح بیرونی..... ۱۰۷

- شکل (۲-۴) بگ هاووس فشار مثبت ۱۱۰
- شکل (۳-۴) کیسه فیلتر ۱۱۲
- شکل (۴-۴) نحوه عملکرد فیلتر تک کیسه پارچ های ۱۱۹
- شکل (۵-۴) نمودار عملکرد بگ هاوس چندبخشی ۱۲۱
- شکل (۶-۴) نمودار عملکرد تک کیسه یاسیستم جت پاس ۱۲۲
- شکل (۷-۴) مکانیسم جمع آوری ذرات توسط فیلتر ۱۴۴
- شکل (۸-۴) بافت ساده الیاف به روش زیر و رو ۱۴۹
- شکل (۹-۴) بافت الیاف به روش Twill ۱۵۰
- شکل (۱۰-۴) بافت الیاف به روش Stain ۱۵۰
- شکل (۱۱-۴) مرحله غبارگیری به روش الک کردن ۱۵۱
- شکل (۱۲-۴) غبارگیری با استفاده از فیلتر نمدی ۱۵۱
- شکل (۱۳-۴) نمایشی از حرکت لرزشی ۱۶۶
- شکل (۱۴-۴) نمونه ای از یک بگ هاوس لرزاننده ۱۶۸
- شکل (۱۵-۴) نمونه ای از یک بگ هاوس لرزاننده ۱۶۸
- شکل (۱۶-۴) مکانیزم لرزش بگ هاوس لرزاننده ۱۶۹
- شکل (۱۷-۴) نمونه ای از بگ هاوس هوای معکوس ۱۷۲
- شکل (۱۸-۴) شمایی از اتصال کیسه در بگ هاوس هوای معکوس ۱۷۲
- شکل (۱۹-۴) ساختمان کیسه در بگ هاوس هوای معکوس ۱۷۳
- شکل (۲۰-۴) طراحی snap-ring bag برای سیستم pulse-jet ۱۷۶

- شکل (۴-۲۱) نمونه ای از بگ هاوس pulse-Jet ۱۷۶
- شکل (۴-۲۲) تمیزسازی pulse-jet ۱۷۸
- شکل (۴-۲۳) سیستم تمیزسازی Pulse-jet با استفاده از هوای دمشی ۱۷۹
- شکل (۴-۲۴) ونتوری استفاده شده در سیستم ۱۸۰
- شکل (۴-۲۵) Compartment بگ هاوس pulse-jet ۱۸۳
- شکل (۴-۲۶) مراحل عملکرد الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد ۱۹۱
- شکل (۴-۲۷) نمودار برازندگی تابع هدف بهینه سازی انرژی ۱۹۴
- شکل (۴-۲۸) مقدار مورد انتظار برای تابع هدف بهینه سازی انرژی ۱۹۵
- شکل (۴-۲۹) تعادل انرژی ایجاد شده در سیستم ۱۹۶
- شکل (۴-۳۰) تغییرات راندمان بر حسب دما ۱۹۶
- شکل (۴-۳۱) مصرف انرژی سیستم با وجود کولینگ تاور در یک شبانه روز ۱۹۷
- شکل (۴-۳۲) تغییرات انرژی الکتروموتور در یک شبانه روز ۱۹۸
- شکل (۴-۳۳) تغییرات انرژی برج خنک کن در یک شبانه روز ۱۹۹
- شکل (۴-۳۴) تغییرات دما بر حسب تغییر ارتفاع برج خنک کن ۲۰۰
- شکل (۴-۳۵) تغییرات مصرف انرژی برج خنک کن در یک شبانه روز ۲۰۱
- شکل (۵-۱) تغییرات راندمان بر حسب دما ۲۱۰
- شکل (۵-۲) تغییرات راندمان بر حسب دما ۲۱۴
- شکل (۵-۳) مصرف انرژی سیستم با وجود کولینگ تاور در یک شبانه روز ۲۱۵
- شکل (۵-۴) تغییرات انرژی الکتروموتور در یک شبانه روز ۲۱۶

- شکل (۵-۵) تغییرات انرژی برج خنک کن در یک شبانه روز ۲۱۶
- شکل (۶-۵) تغییرات دما بر حسب تغییر ارتفاع برج خنک کن ۲۱۷
- شکل (۷-۵) تغییرات مصرف انرژی برج خنک کن در یک شبانه روز ۲۱۷
- شکل (۸-۵) مقایسه مصرف انرژی ۲۱۸

فهرست علائم :

➤ فهرست علائم و اختصارات

m : سرعت جرم جریان ، kg/s

T : دما، درجه سانتی گراد

c_w : گرمای مخصوص آب خنک کاری در فشار ثابت، 4.1868 kJ/(kg.°C)

c_{psta} : گرمای مخصوص تجزیه هوای اشباع شده در فشار ثابت ، kJ/(kg.°C)

H : ماتریس Hessian

P : مصرف انرژی (توان)، kW

Q : نرخ کاهش گرما، kW

h_i : توابع دیفرانسیلی پیوسته، معادله (i)

g_j : توابع دیفرانسیلی پیوسته، معادله (j)

نمادهای یونانی

μ_{cw} : ضریب ویسکوزیته دینامیکی آب در دماهای T_{cw}

μ_o : ضریب ویسکوزیته دینامیکی آب در دمای صفر درجه

α, β : ثابت های مثبت $1 \leq \beta \leq \alpha$

η : کارایی گرمای تولید شده توسط کمپرسور

زیرنویس ها

a : هوا

f : فرش ایر

sw : اسپری آب

cw : کندانسور آب

chw : آب سرد

$comp$: کمپرسور

i : ورودی

o : خروجی

wb : لامپ مرطوب محیط

۱- فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- بیان مساله

صنعت سیمان یکی از مهمترین صنایع انرژی بر در ایران می باشد. مهمترین انرژی هایی

که در صنعت سیمان مصرف می شوند عبارتند از:

۱- انرژی حرارتی: شامل گاز، مازوت، تایرهای فرسوده و انواع زباله. بیشترین انرژی

حرارتی مصرف شده عبارت است از گاز و مازوت. بطور میانگین جهت تولید هر تن سیمان

۱۱۰ متر مکعب گاز یا ۱۱۰ لیتر مازوت مصرف میشود. در بخش انرژی حرارتی در کشور،

ایران ۸۵۰ کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم کلینکر مصرف دارد، اما در فرآیندهای پیشرفته که به

طور معمول در کشورهای توسعه یافته انجام می شود ۶۷۰ کیلوکالری مورد مصرف قرار

می گیرد. که تفاوت آنها در عدد ۲۱ درصد خود را نشان می دهد. یعنی می توان در بخش انرژی

حرارتی با استفاده از راهکارهای مناسب، ۲۱ درصد صرفه جویی انرژی به عمل

آورد. راهکارهایی مانند آب بندی مناسب کوره، آنالیز مداوم کیفی مواد ورودی به کوره، بهبود

فرایند احتراق و تجهیزات مشعل، نسوز کاری مناسب کوره، نصب سیستم آنالیزر

گازهای حاصل از احتراق، استفاده از سوخت های جایگزین و...

۲- انرژی الکتریکی: که به ازای تولید هر تن سیمان ۱۰۵ کیلو وات ساعت بر تن انرژی

الکتریکی مصرف میشود در صورتی که این رقم در کشورهای توسعه یافته ۸۰ کیلو وات

ساعت بر تن میباشد. راهکارهای زیادی برای کاهش مصرف انرژی الکتریکی وجود دارد از

جمله استفاده از فن های با دور متغیر، استفاده از الواتور بجای ایرلیفت، استفاده از مواد کمکی برای بالا بردن قابلیت خردایش در آسیابها و رعایت زمان پیک مصرف و ...

۳- انرژی آب: یکی از مهمترین انرژی های مصرفی در صنعت سیمان ، انرژی آب میباشد. از آب جهت خنک کردن گازهای خروجی از کوره در داخل کولینگ تاور، خنک کاری یاتاقان ها و سایر سیستمهای خنک کن استفاده میشود. برای تولید یک تن سیمان به روش خشک ۴-۳۶ متر مکعب آب نیاز است. این رقم در روش تر ۴/۱ متر مکعب به ازای هر تن سیمان تولیدی میباشد. برای خنک کردن یک متر مکعب نرمال گازهای خروجی از کوره های سیمان بمیزان یک درجه سانتی گراد به ۵/۱ گرم آب نیاز میباشد. بطور کلی در یک واحد ۳۰۰۰ تنی سیمان حدود ۱۲۰ متر مکعب در ساعت آب در یاتاقان ها و سیستمهای خنک کن در گردش است. حدود ۱۰٪ از این آب (۱۲ متر مکعب در ساعت) بصورت نشت و ریزش تلف شده و حدود ۲۸ متر مکعب نیز بصورت تبخیر تلف میشود لذا باید در هر ساعت ۴۰ متر مکعب آب به سیستم تزریق نمود. آب مصرفی در بخشهای مسکونی و بهداشتی نیز حدود ۵ متر مکعب در ساعت بوده و لذا مجموع آب مصرفی سیستم معادل ۴۵ متر مکعب در ساعت میباشد بطور استثنای مصرف آب در بخش کوئچینگ تولید سیمان سفید بسیار بالا میباشد. بطوریکه برای خنک کردن هر تن کلینکر سفید در داخل کوئچینگ حدود ۸۰۰ لیتر آب مصرف میشود. یعنی در کارخانه ای که روزانه ۱۰۰۰ تن کلینکر سیمان سفید تولید میشود فقط و فقط در بخش کوئچینگ آن روزانه ۸۰۰۰۰۰ لیتر یا ۸۰۰ متر مکعب آب مصرف

میشود. بدلیل اینکه کلینکر سیمان سفید در کوتاهترین زمان ممکن باید خنک شود تا از اکسید شدن آن جلوگیری شود و با افت سفیدی و تغییر رنگ مواجه نشود. در گذشته ای نه چندان دور که تعداد کارخانه های سیمان در ایران محدود بود و رشد جمعیت و صنعت و کشاورزی به این حد نرسیده بود مقدار مصرف آب چندان قابل توجه نمینمود. لکن در حال حاضر تولید سیمان در ایران از مرز ۸۰ میلیون تن گذشته است. مصرف آب رشد بی حد و حصری را تجربه میکند. روند خشکسالی های مداوم، برداشت بی رویه آب از سفره های زیر زمینی، کاهش نزولات جوی و الوده شدن سفره های زیر زمینی کشور را با یک بحران بزرگ مواجه ساخته است. یکی از مهمترین مصارف آب در صنعت سیمان خنک کردن گازهای حاصل از احتراق داخل کوره است که وارد بخش کولینگ تاور میشود کولینگ تاور در واقع بخشی از دیارتمان آسیاب مواد است که در آن گازهای حاصل از فرایند احتراق خنک میشود. این خنک کردن عموماً به دو علت صورت میگیرد:

اول: کاهش حجم گازهای ورودی به الکترو فیلتر.

دوم: کاهش دمای گازهای ورودی به الکترو فیلتر جهت بالا بردن راندمان الکترو فیلتر. راندمان یک الکترو فیلتر ارتباط مستقیم با دمای گازهای ورودی به الکترو فیلتر دارد.

در کارخانه سیمان خاکستری ساوه دو کولینگ تاور وجود دارد که مقدار مصرف آب در هریک از آنها در دو حالت متفاوت به شرح ذیل میباشد:

الف: زمانی که آسیاب مواد خام کار میکند مصرف آب کولینگ تاور در هر ساعت ۱۲ متر مکعب.

ب: زمانی که آسیاب مواد خام متوقف است مصرف آب کولینگ تاور در هر ساعت ۲۰ متر مکعب.

علت این اختلاف در این امر است که زمانی که آسیاب کار میکند بخشی از گازهای خروجی از کوره در مسیر ورودی به کولینگ تاور، جهت خشک کردن رطوبت مواد خام و بالا بردن دمای داخل آسیاب جهت بهبود فرایند خردایش وارد آسیاب میشود و در واقع از حجم نهایی گازهای وارده به داخل کولینگ تاور کاسته میشود .

فرض را بر این بگذاریم که آسیاب در حین کارکرد کوره اصلا متوقف نمیشود که چنین فرضی محال است، چون حتما در طول شیفت ۲۴ ساعته بدلیل رعایت زمان پیک برق و یا پر شدن سیلوهای ذخیره مواد خام با توجه به نوع شرایط آسیاب حداقل ۸ الی ۱۰ ساعت بدلیل موارد مذکور یا مشکلات فنی متوقف میشود. حال اگر با توجه به اینکه فرض مذکور را صادق در نظر بگیریم یعنی اصلا آسیاب متوقف نمیشود مصرف آب در ۲۴ ساعت در جفت کولینگ تاورهای این کارخانه برابر با ۵۷۶ متر مکعب خواهد بود.

- آیا میتوان جایگزینی برای آب در کولینگ تاور پیدا کرد؟

- آیا میتوان با حذف آب از کولینگ تاور در مصرف آب صرفه جویی کرد؟

- آیا میتوان آب مصرف شده در کولینگ تاور را در بخشهای دیگری مانند کشاورزی مصرف کرد؟

خوشبختانه جواب تمام موارد فوق مثبت است.

یکی از سیالاتی که جهت خنک کاری گازهای کولینگ تاور میتواند جایگزین آب شود سیال هوا است. میتوان با جایگزینی هوا بجای آب هم در مصرف آب صرفه جویی کرد و هم کیفیت فیلتراسیون را افزایش داد. اصولاً با توجه به اینکه طراحی اولیه تمام کارخانجات سیمان ایران در اروپا انجام شده است و اروپا مشکل جدی در زمینه آب ندارد، آنها توجه چندانی برای جایگزینی آب نکرده اند. میتوان با استفاده از هوا عمل خنک کاری در کولینگ تاور را انجام داد.

بطور خلاصه روند تغییرات در این فرایند به شرح ذیل خواهد بود:

۱- حذف آب در فرایند خنک کاری کولینگ تاور. حداقل ۵۷۶ متر مکعب در شبانه روز.

۲- حذف چهار دستگاه پمپ کولینگ تاور که با توجه به توان مصرفی الکتریکی بالای

ان مقدار قابل توجهی مصرف انرژی الکتریکی کاسته خواهد شد.

۳- حذف نازل‌های کولینگ تاور در برج خنک کن.

۴- اضافه شدن سیال هوا بجای آب در کولینگ تاور.

۵- حذف الکترو فیلتر و تبدیل شدن آن به بگ هاوس.

الکترو فیلتر دستگاهی است که کار آن فیلتراسیون گازهای ورودی از کولینگ تاور و

اسیاب مواد خام میباشد. ساختار آن تشکیل شده است از:

۱- صفحات اند و کاتد در داخل الکترو فیلتر.

۲- لینک ضربه زن در انتهای صفحات اند و کاتد.

۳- چکشهای ضربه زن در سر لینک ضربه زن.

۴- ترانس های HV

۵- مارپیچ انتقال دهنده مواد جذب شده در داخل الکترو فیلتر.

۶- روتاری فیدر انتقال دهنده مواد در سر مارپیچ.

۱-۲ روش کار الکترو فیلتر:

هنگامی که ترانس های HV ولتاژ را به سر صفحات اند و کاتد القا میکنند در بین صفحات میدان مغناطیسی بوجود می آید. هنگامی که گازهای حامل گرد و غبار وارد این میدان میشوند ذرات موجود در آن باردار شده و جذب صفحات اند و کاتد میگردند. در فواصل زمانی معین چکشهای ضربه زن توسط لینک ضربه زن ضرباتی را به این صفحات اعمال کرده و موجب ریزش ذرات به محفظه پایین الکترو فیلتر شده و از آنجا توسط ماریپچ خارج می شود.

با توجه به وجود میدان مغناطیسی در داخل الکترو فیلتر حتما مقدار گاز CO ورودی به داخل الکترو فیلتر باید در محدوده معین و مجاز باشد. حداکثر ۶٪. چون در غیر این صورت خطر انفجار در داخل الکتروفیلتر وجود دارد که این مشکل با تبدیل الکترو فیلتر به بک هاوس دیگر وجود نخواهد داشت. یکی دیگر از مهمترین پارامترهای راندمان الکترو فیلتر دمای ورودی به الکترو فیلتر میباشد. هر چقدر دمای ورودی کاهش یابد راندمان الکترو فیلتر افزایش میابد. لکن محدودیتی نیز وجود دارد چون با افزایش مقدار اسپری آب و افزایش رطوبت ورودی به الکتروفیلتر امکان تشکیل نقطه شبنم و خوردگی صفحات وجود دارد که این مشکل با تبدیل الکترو فیلتر به بگ هاوس مرتفع می شود. تا اواخر دهه ۱۹۹۰، جهت غبارزدائی گازهای ناشی از احتراق در کوره های سیمان از الکتروفیلترها استفاده می شد. روش کار الکتروفیلترها استفاده از میدان الکتریکی جهت جداسازی ذرات غبار معلق در گاز می باشد. تحت تأثیر میدان الکتریکی ذرات غبار جذب الکترو جمع کننده (Collecting) می شوند.

آهنگ جذب ذرات توسط الکتروود جمع کننده به میزان اختلاف پتانسیل بین الکتروودهای جمع کننده والکتروودهای تخلیه (Discharge یا گسیل کننده الکترون) بستگی دارد. ذرات جذب شده توسط الکتروود جمع کننده به میزان کمتری توسط الکتروود تخلیه توسط تجهیزات مکانیکی (چکشهای ضربه زن) از الکتروودها جدا شده و توسط سیستم های انتقال مثل نوارهای نقاله و سیستم های مارپیچ و ... که در پائین الکتروفیلتر تعبیه شده اند به بیرون هدایت میشوند. در سیستم قدیمی تر الکتروود تخلیه یا کرونا به شکل سیمی به قطر ۲ تا ۴ میلیمتر و الکتروود جمع کننده به شکل لوله ای یا صفحه ای ساخته می شدند، که یکی از عیوب آن تغییر شکل و خمیدگی الکتروود تخلیه یا کرونا به سمت الکتروود جمع کننده بود.

در طراحی های اخیر الکتروود تخلیه به صورت نواری محکم و صلب والکتروود جمع کننده به صورت صفحه فولادی چین دار ساخته می شوند. از مزایای این روش عدم پیچش الکتروود تخلیه به سمت الکتروود جمع کننده (به دلیل ساختار صلب و محکم آن) و ایجاد کرونای یکنواخت در کل طول الکتروود تخلیه می باشد. یکی از مشخصه های اساسی الکتروفیلترها میزان اختلاف پتانسیل بین الکتروودهای آنها است.

■ یکی از عوامل مؤثر بر کارایی الکتروفیلترها، سیستم ضربه زن می باشد، که شامل موارد

زیر است :

- سیکل زمانی چکش های ضربه زن

- شدت ضربات چکش ها

معمولاً سیکل زمان چکش ها در دوره و راه اندازی برای بیشترین بار ورودی به الکتروفیلتر تنظیم می گردد. بررسی ها نشان داده اند که تنظیم سیکل زنی ضربه زن ها با توجه به میزان غبار ورودی تأثیر مثبتی روی افزایش بازده الکتروفیلترها دارد. افزایش بیش از حد سیکل زمانی، مانع تشکیل لایه غبار روی صفحات شده، لذا شدت جرقه (Sparking) را تشدید نموده و این پدیده علاوه بر کاهش ولتاژ و کاهش بازده غبارگیری، کاهش عمر الکترودها را نیز به همراه دارد. ضمن اینکه فرصت به هم چسبیدن مواد را که خاصیت چسبندگی دارند، جهت جلوگیری از برگشت ذرات به جریان گاز، رعایت نکرده ایم. کم بودن سیکل زمان ضربه زن ها، باعث افزایش ضخامت بستر صفحات می گردد. در صورتی که ضخامت بستر مواد از ۱۰ mm بیشتر گردد، اشکالاتی را پدید میآورد :

افزایش بیش از حد لایه مواد روی صفحات، منجر به کاهش فاصله بین الکترودها شده که باعث ایجاد جرقه در الکتروفیلتر می گردد. سیستم کنترل در پاسخ به چنین شرایطی، ولتاژ و در نتیجه جریان را کاهش می دهد، که کاهش میزان باردار شدن ذرات و نیز کمتر شدن نیروی اعمال شده به ذرات در حرکت به سمت صفحه جمع کننده را به دنبال خواهد داشت و با توجه به اینکه بازده الکتروفیلتر مستقیماً به سرعت جذب ذرات بستگی دارد، لذا باعث کاهش بازده الکتروفیلتر می گردد. افزایش بیش از حد لایه مواد، کم شدن حجم مفید جریان گاز و افزایش سرعت جریان گاز را به همراه دارد که این پدیده منجر به بازگشت مجدد مواد به جریان گاز (Rc-entrainment) می گردد.

جمع شدن مواد روی الکترودها تخلیه باعث افزایش ولتاژ برای یک جریان کار مشخص می گردد. تأثیر تجمع مواد معادل اثر افزایش قطرالکتروود تخلیه می باشد و چون ولتاژ کرونا تابعی از قطر سیم تخلیه است، این ولتاژافزایش یافته و کارایی الکتروفیلتر کاهش می یابد .

طراحان، سیکل زمانی ضربه هارا بر مبنای ضخامت حداکثر 10mm لایه غبار روی صفحات تنظیم می کنند. بنابراین با درنظر گرفتن عواملی چون غلظت غبار در گاز، دبی گاز ورودی، شدت جذب غبار در هر میدان وضخامت لایه غبار روی الکترودهای مثبت، سیکل زمان ضربه زن ها تنظیم می گردد. با توجه به موارد فوق نتیجه می گیریم، جهت حذف اثرات منفی افزایش یا کاهش بیش از حد سیکل زمان ضربه زن ها بر کارایی الکتروفیلترها، لازم است سیکل زمان ضربه زن ها را از حالت ثابت خارج و تابع شرایط مختلف بهره برداری نمائیم.

علاوه بر سیکل زمانی ضربه زن ها، شدت ضربات نیز بر کارایی الکتروفیلتر تأثیر دارد. چنانچه ضربات بیشتر از حد طراحی شده سیستم باشد، باعث تخلیه کامل مواد از سطح الکترودها شده، لذا احتمال برخورد مستقیم الکترون ها به صفحات راتشدید می کند که در اثر تخلیه الکتریکی، ولتاژ و میلی آمپر کاهش یافته و باعث کاهش بازده فیلتر می گردد. علاوه بر آن وارد آوردن ضربات قوی تر، امکان برگشت مجدد ذرات به جریان گاز را تشدید می کند.

چنانچه مقره و سیستم نگهدارنده صفحات، برای ضربات قوی تر پیش بینی نشده باشد، اعمال ضربات می تواند منجر به ایجاد ترک در مقره گردند که نشتی الکتریکی و در نهایت کاهش جریان را در پی خواهد داشت.

عواملی چون سایش و لهیدگی سندان ها، از محور خارج شدن سندان ها باعث خارج شدن چکش ها از حالت تنظیم و تأثیر در شدت ضربات مستقیم آنها می گردد. تأثیر توزیع گاز یا به عبارتی پروفیل سرعت گاز در حوزه های الکترواستاتیک در بازده الکتروفیلتر در رابطه مشهور دویچ (Deutsch Anderson) که معرف بازده الکتروفیلتر است، به شرح زیر آمده است.

$$-AW/V \quad (1-1)$$

$$n = I - e \quad (2-1)$$

$n =$ بازده غبارگیری الکتروفیلتر به %

$A =$ سطح الکترودهای جاذب غبار (الکتروده جمع کننده)

$W =$ سرعت جذب ذرات توسط صفحات

$V =$ دبی گاز

سطح مؤثر صفحات جاذب، طبق رابطه دویچ، یکی از متغیرهای مهم در بازده الکتروفیلتر است. بنابراین یکی از شیوه های افزایش بازده الکتروفیلترهای واحدهای در حال کار، افزایش سطح مؤثر جذب صفحات است. که از طریق افزایش حوزه های الکترواستاتیک انجام می

گیرد. یکی دیگر از پارامترهای مؤثر بر بازده الکتروفیلتر تغییر توزیع دانه بندی است که در اثر تغییرات فرآیند و پارامترهای آن الکترواستاتیک با دو مکانیزم زیر انجام می گیرد :

-باردار شدن از طریق میدان الکتریکی (Field charging)

-باردار شدن از طریق نفوذ (Diffusion charging)

باردار شدن ذرات بزرگتر از 0.5 m با مکانیزم اول و باردار شدن ذرات کوچکتر از 0.2 m با مکانیزم دوم انجام می گیرد. لذا باردار شدن ذاتی که در محدوده 0.2 m و 0.5 m هستند، به سختی انجام می گیرد. به همین دلیل بازده الکتروفیلتر جهت جذب ذرات این محدوده به شدت کاهش می یابد. به عبارت دیگر اندازه ذرات خروجی ازدودکش ها در این محدوده می باشد.

برای ذرات در محدوده فوق بازده غبارگیری معادل 80% و بازده برای ذرات بزرگتر و کوچکتر از این محدوده به مراتب بیشتر است. حدود 90% ذرات بالای 10 m در 20% طول ابتدای الکتروفیلتر جدا می شوند. ولی تا انتها آن فقط 80% ذرات بین 0.3 m تا 0.6 m جدا می شوند. بنابراین افزایش ابعاد ذرات باعث افزایش سرعت مهاجرت آنها به سمت صفحات جاذب می گردد، که این عامل نیز افزایش بازده فیلتر را به همراه دارد. یکی دیگر از پارامترهای مؤثر بر بازده الکتروفیلتر، درجه حرارت و رطوبت گاز است. به طوری که عملکرد آن در محدوده باریکی از درجه حرارت و رطوبت گاز بهینه است. افزایش درجه حرارت گاز مستقیماً، افزایش سرعت گاز در حوزه الکترواستاتیک را دربردارد. افزایش

سرعت گاز باعث کاهش سرعت مهاجرت ذرات به طرف صفحات و کاهش زمان ماند ذره در حوزه الکترواستاتیک می گردد.

افزایش درجه حرارت و کاهش رطوبت گاز، افزایش مقاومت ذره را به همراه دارد. زیرا عملکرد الکتروفیلتر در محدوده باریکی از مقاومت الکتریکی ذره، بهینه است. تنظیم نبودن فاصله الکترودها، یکی از مؤثرترین متغیرها، بر کاهش بازده الکتروفیلترها است. سازندگان، برای الکتروفیلترهایی که فاصله الکترودهای مثبت آن ۳۰ سانتی متر است. تلرانس مجاز را ۱/۵ میلی متر و حداکثر آن را ۲٪ توصیه می کنند. یکی از اثرات تنظیم نبودن فاصله الکترودها، کاهش ولتاژ و جریان می باشد. درحوزه های الکترواستاتیکی، حداکثر جریان و ولتاژ بین الکترودها بر مبنای کوتاهترین مسیر با حداقل مقاومت تنظیم می گردد. بنابراین در نقطه ای که کوتاهترین فاصله را دارد، کنترل جریان و ولتاژ انجام خواهد شد. بنابراین در نقطه ای که فاصله الکترودها کم باشد پدیده جرقه اتفاق می افتد. لذا انرژی الکتریکی که از شبکه گرفته می شود، به محل جرقه هدایت می شود، که این مقدار انرژی برای ذوب شدن مقدار کمی از الکتروود در محل جرقه کافی می باشد، که نهایتاً پارگی الکتروود را در پی دارد. اگرچه فرسایش مکانیکی^۱، خمیدگی^۲ و خوردگی شیمیایی^۳ یا ترکیبی از آنها در نازک شدن الکترودها

¹ Errosion

² Crimping

³ Corosion

و نهایتاً پارگی آنها تأثیر زیادی دارند. معمولاً، به هم خوردن فاصله استاندارد الکترودها نقش به سزائی در این امر دارد.

۱-۳ معایب الکترو فیلترها:

- هزینه بالای خرید، نصب و راه اندازی آنها.
 - هزینه بالای کاربری سیستم از لحاظ مصرف انرژی
 - ضرورت خارج کردن سیستم از مدار به دلیل مواردی مثل بالا رفتن CO در فرآیند تولید که با قطع ولتاژ آن عملیات غبارگیری متوقف می شود.
 - دارای بازدهی کم نسبت به میزان انرژی مصرفی و هزینه های نگهداری و تعمیرات.
- دو مورد آخر ایجاب می کند تا جستجو جهت راهکارهای جدید انجام گردد. همچنین قوانین زیست محیطی جدید که طبق استانداردهای کشورهای اروپائی تدوین شده است لزوم توجه به این امر را بیشتر می کند.

۱-۴ بگ هاوس (Baghouse)

یکی دیگر از سیستم های غبارگیر، فیلترهای بگ هاوس می باشند. در این نوع از فیلترها نیز از کیسه ها جهت عملیات غبارگیری استفاده می شود. در این سیستم جهت غبارتکانی از کیسه ها و روش های مختلفی وجود دارد که عبارتند از :

- روش تزریق پالس هوای فشرده در برخی دستگاه ها برخلاف بگ فیلترها که اعمال پالس طبق برنامه زمین مشخصی انجام می گیرد، پالس هوا به صورت هوشمند و با در نظر گرفتن اختلاف فشار موجود در فیلتر اعمال می شود.

- تکان دادن فیزیکی کیسه ها توسط سیستم ها تکاننده مکانیکی جهت جدا شدن لایه (کیک) غباری که روی آنها نشسته است.

- سیستم هوای معکوس، در این روش به صورت مکانیکی با اعمال هوای فشرده لایه کیک غبار روی کیسه ها برش داده شده و از آنها جدا می گردد.

۲- فصل دوم: مبانی تحقیق

۱-۲ چگونگی افزایش راندمان الکتروفیلتر و کاهش الودگی های

زیست محیطی در صنعت سیمان

از انجایی که وظیفه اصلی کولینگ تاور اسپری نمودن آب به منظور افزایش میزان تبادل حرارت و کنترل دمای ورودی به الکتروفیلتر می باشد هر عاملی که اسپری آب مناسب در کولینگ تاور را تحت تاثیر قرار دهد میتواند دمای ورودی به الکتروفیلتر را افزایش و راندمان الکتروفیلتر را کاهش دهد؛ عواملی از جمله معیوب شدن نازل های اسپری آب، جرم گرفتن نازل های اسپری آب ناشی از عدم فیلتراسیون مناسب یا جدا شدن جرم از بدنه لوله و پمپ های مسیر انتقال آب می تواند راندمان و کیفیت اسپری آب در کولینگ تاور و همچنین راندمان الکتروفیلتر بدلیل افزایش دمای ورودی به آن را کاهش دهد از طرفی هر چقدر تبادل حرارت در کولینگ تاور افزایش یابد میزان کاهش دما و راندمان کولینگ تاور افزایش خواهد یافت که این امر منجر به کاهش حجم گاز های حاصل از احتراق و نهایتا کاهش کیلووات مصرفی ID Fan و ESP Fan خواهد گردید این پژوهش به تشریح چگونگی ساخت و نصب سیستم فیلتراسیون سیلکونی روی نازل های کولینگ تاور و همچنین چگونگی افزایش

راندمان کولینگ تاور الکتروفیلتر و کاهش آلودگی های زیست محیطی می پردازد (استرن^۱،

۱۹۹۷).

۲-۱-۱ بررسی عملکرد بگ فیلتر و الکترو فیلتر در کنترل ذرات سیلیس

هوای محیط های صنعتی در سال ۱۳۸۹

آلودگی هوا تنها بصورت یک مشکل منطقه ای مطرح نیست به همین دلیل کاهش اثرات جهانی آلودگی هوا در تعهد همه کشور ها قرار دارد. گرد و غبار به عنوان یک خطر عمده شغلی در صنایع و معادن مطرح بوده از جمله مهم ترین صناعی که کارگران در آن به دلیل ماهیت کاری در مواجهه با گرد و غبار سمی حاوی سیلیس آزاد قرار دارند کارخانه های سیمان می باشند که این گرد و غبار عامل اصلی بیماری های ریوی شغلی در دنیا محسوب می شود. این مطالعه با هدف ارزیابی عملکرد بگ فیلتر و الکتروفیلتر در کنترل ذرات سیلیس هوای محیط های صنعتی در سال ۱۳۸۹ در کارخانه سیمان سپاهان اصفهان انجام گرفت (مک کنا و تامر^۲، ۱۹۸۹).

¹ Stern, A. C.

² McKenna, J. D., & Turner, J. H

۲-۱-۲ ارائه راهکارهای مدیریتی برای کنترل آلاینده های موجود در

کارخانه سیمان با در نظر گرفتن فرایندهای اجرایی در کارخانه

صنعت سیمان به عنوانی یکی از صنایع با میزان آلودگی بسیار بالا به حساب می آید. در ایران در سال ۱۳۱۲ نخستین کارخانه تولید سیمان به ظرفیت ۱۰۰ تن در روز در جنوب شرقی تهران به عنوان سیمان ری آغاز به کار کرد. در حال حاضر ایران به عنوان یکی از بزرگترین تولید کنندگان سیمان در جهان به حساب می آید، لذا اهمیت بررسی میزان اثرات زیست محیطی این صنعت از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هدف این مقاله بررسی فرایندها و آلاینده های تولیدی و نحوه مدیریت و راهکارهای پیشنهادی جهت مدیریت و کنترل آنها، می باشد بررسی ها نشان می دهد که آلاینده های اصلی تولیدی غبار ناشی از پخت مواد از کوره ها، غبار ناشی از فرایند ریزش مواد و آسیاب آنها و گازهای خروجی از الکتروفیلترها می باشد. راهکارهای پیشنهادی برای کنترل و کاهش آلاینده ها، ایجاد یک محیط کاملا سرپوشیده و مجهز به فیلترغبار گیر برای واحد بسته بندی، افزایش و بهبود عملکرد فیلترهای غبارگیر، توجه به بازیابی و باز چرخش و استفاده مجدد از مواد (به ویژه پسماند)، اصلاح آسیاب های سیمان و مواد خام برای کاهش مصرف انرژی الکتریکی، حذف انبار ذخیره کلینکر به منظور کاهش مصرف انرژی و گرد غبار می باشند (فردریچ^۱، ۱۹۹۹).

¹ Frederic E. R.,

۲-۱-۳ ارزیابی و مدیریت ذرات معلق خروجی از دودکش ها در در

کارخانه سیمان کاوان بوکان

در دهه اخیر مسائل زیست محیطی و نحوه مقابله با آنها به یکی از چالش های اصلی انسان تبدیل شده است. صنایع سیمان همواره به عنوان یکی از مهمترین آلوده کننده های محیط زیست مطرح هستند. به همین دلیل پایش و کنترل آلودگی های زیست محیطی در این صنعت از اهمیت خاصی برخوردار است. در شرکت سیمان کاوان بوکان به منظور شناسایی و تعیین میزان ذرات معلق خروجی از دودکش ها، کنترل و پایش ذرات معلق، شناسایی منابع آن و در نهایت مقایسه نتایج به دست آمده با حدود مجاز استانداردهای زیست محیطی، طی دوره ای یکساله میزان ذرات معلق خروجی از دودکش ها اندازه گیری شد. این ذرات در دو حالت خشک و مرطوب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان می دهد که با توجه به پایش و کنترل منظم کلیه آلاینده ها از جمله ذرات معلق، در اکثریت قریب به اتفاق موارد، میزان ذرات در دیپارتمانهای مختلف (شامل بگ فیلتر سنگ شکن، بگ هاوس پری هیتر، الکتروفیلتر گریت کولر، بگ فیلتر شماره یک و شماره دو آسیاب سیمان) کمتر از مقادیر استاندارد می باشد. در موارد نادر هم چنانچه غلظت ذرات معلق یک دودکش در زمان اندازه گیری بالاتر از حدود استاندارد بوده است،

با استفاده از اقدامات اصلاحی، کاهش یافته و در محدوده استاندارد قرار گرفته است (بیچلر و جانک^۱، ۱۹۸۱).

۴-۱-۲ ارزیابی و مدیریت ریسک جنبه های زیست محیطی شرکت

سیمان لارستان (از نظر آلودگی هوا) با استفاده از روش های WILLIAM

TOPSIS و FINE

فرایند تولید در کارخانه سیمان همانند سایر محیط های صنعتی به دلیل ماهیت و نوع فعالیت با مخاطرات مختلفی از نظر ایمنی، سلامت، بهداشت و محیط زیست همراه می باشد، در نتیجه امکان آسیب به انسان، تجهیزات و محیط زیست در صورت وقوع حادثه وجود دارد. در فرضیات مقاله پیش بینی می شود، غالب ریسک های زیست محیطی ناشی از فعالیت در کارخانه سیمان لارستان در زمره ریسک های بالا تلقی می شوند که با استفاده از یک برنامه مدیریت و پایش ریسک زیست محیطی منسجم می توان نسبت به کاهش مخاطرات زیست محیطی و بهبود شاخص های زیست محیطی، در محدوده های تحت تاثیر کارخانه سیمان لارستان اقدام نمود. از این رو مطالعه کنونی در زمینه ارزیابی و مدیریت ریسک جنبه های زیست محیطی شرکت سیمان لارستان در زمینه آلودگی هوا با هدف شناسایی قسمتهایی از خط تولید که تولید آلودگی بیشتری دارند، تخمین میزان خطر، کنترل و کاهش سطح خطر در راستای حفظ سلامت پرسنل،

¹ Beachler, D. S., & Jahnke, J. A.

تجهیزات ، سرمایه و محیط زیست تحت تاثیر، به انجام رسید . در گام نخست تحقیق جهت تشخیص منبع آلاینده تاثیرگذار از روش های مصاحبه مستقیم ، بررسی سوابق ، مستندات و نمونه برداری های گذشته ، استفاده گردید.

سپس فعالیت ها و فرآیندهای کارخانه مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از نتایج اندازه گیری انجام شده از شرکت سیمان لارستان از کلیه منابع آلاینده هوا که حدود ۲۰۰ ایستگاه بوده است ، میانگین آلودگی در هر منبع محاسبه شده و بر اساس آن ، تعداد ۱۰ منبع که از نظر ذرات معلق و گاز و بخار منتشره ، طبق استاندارد ، بیش از حد می باشند و نیاز به کنترل دارند مشخص گردیده است . در این مقاله از روش ویلیام فاین که از فنون سازمان یافته و نظام مند ارزیابی خطر در شناسایی خطرات بالقوه و برآورد سطح خطر است ، در راستای مدیریت خطر و کاهش آن به سطحی قابل قبول ، استفاده شد. به این منظور با توجه به شدت اثر ، احتمال وقوع و پیامدهای احتمالی مواجهه آن با انسان و محیط زیست توسط ۲۰ کارشناس خبره ، نمره دهی صورت پذیرفته و از طریق تحلیل نتایج بدست آمده ارزیابی و طبقه بندی خطرات و میانگین نمره خطر ، رتبه بندی منابع آلاینده و اولویت بندی ریسک انجام شد. بر این اساس ۱۰ منبع آلاینده با سطح ریسک بالا مشخص گردید. در مرحله بعد پرسشنامه هایی بین ۱۵ کارشناس توزیع شد که در نهایت ۳۵ مورد کنترلی پیشنهادی از کارشناسان اخذ گردید ، سپس توسط فرمهای نظرسنجی که به روش مقیاس لیکرت تنظیم شده ، نظرسنجی صورت پذیرفته و در نهایت ۶ روش کنترل آلودگی هوا در کارخانه سیمان لارستان انتخاب گردید. همچنین برای تعیین معیارها نیز به همین روش از ۱۵

معیار ۱۳ معیار که متناسب با تمامی روشهای ما است مشخص شد. در مرحله پایانی از طریق روش تاپسیس که در آن مقایسه معیارها با روشهای کنترلی و وزن دهی معیارها با تکنیک آنتروپی شانون اعمال گردید مناسب ترین روش کنترل و کاهش آلودگی هوا در کارخانه سیمان بر اساس اولویت بندی از نظر کلیه جنبه های اقتصادی ، فنی ، مهندسی و محیط زیستی که شامل جایگزین کردن سوخت های گازی با سوخت های فسیلی با نزدیکی نسبی ۶۶۶/، استفاده از فیلترهای هیبرید (الکتروفیلتر و بک فیلترها با هم) برای بالابردن راندمان ۶۴۰/، مدرنیزه کردن سیستم بارگیری سیمان ۶۳۲/، تعمیر و نگهداری اساسی و بموقع از کلیه سیستم های غبارگیر ۶۲۵/، محصور کردن محوطه سنگ شکن ۵۷۱/، توزیع لوازم حفاظت فردی (انواع ماسک تنفسی) به- ترتیب ذکر شده در شرکت سیمان لارستان پیشنهاد شدند (استرن^۱ و همکاران، ۲۰۱۷).

۲-۱-۵ بررسی آثار و تبعات سوء زیست محیطی صنعت سیمان در کشور

و نگرشی بر استانداردهای آن

صنعت سیمان یکی از صنایع بزرگ و استراتژیک کشور محسوب میشود که باتوسعه فعالیت های عمرانی و اقتصادی همسو می باشد بطوریکه در حال حاضر با تولید سالیانه قریب به ۸۰ میلیون تن در مقام سوم جهان قرار داریم علیرغم این اهمیت مسائل زیست محیطی این صنعت متأسفانه از سوی مسئولین محترم چندان مورد توجه قرار نگرفته است. اگرچه صنعت سیمان غالباً از اثرات و

¹ Stern,A.C

پیامدهای ناسازگار زیست محیطی برخورداری می باشد ولیکن با اقداماتی می توان تبعات سوء زیست محیطی ناشی از آن را کنترل کرد. استمرار انتشار مواد الاینده خروجی این صنعت به اتمسفر شامل ذرات معلق گرد و غبار ترکیبات کربن دار اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای ازت و الودگی اب های زیرزمینی منطقه میتواند باعث بروز خسارات زیست محیطی و ازبین رفتن پوشش گیاهی و اجتماعات جانوری شود و به تبع آن میتواند سلامت انسان را هم مورد تهدیدی جدی قراردهد در طی مراحل مختلف تولید سیمان انتشارگرد و غبار به هوا بارزترین عامل الودگی می باشد که درمعدن انبارها آسیاب ها کوره های پخت و ... بوجود می اید. با بکارگیری یکسری تجهیزات کنترلی درجهت کاهش بارالودگی نصب الکتروفیلتر سیستم جت پالس و کیشه غبارگیر قراردادن تجهیزات اختلاط درمحیط های بسته استفاده از پاشنده های آب کف سازها و مواد شیمیای کم ضرر جایگزین و بهینه سازی شرایط غربال ها می توان آسیب های زیست محیطی ناشی از آن ها را به حداقل استاندارد های اروپا ۳۰ میلی گرم برترمکعب هوا رساند تا درکشور این صنعت سبز به یک صنعت الوده کننده مبدل نگردد (روناک^۱، ۱۹۸۹).

^۱ Reanoke, VA

۲-۱-۶ بررسی آلاینده های صنعت سیمان و مدیریت و کنترل آن

(مطالعه موردی کارخانه سیمان تهران)

عمده ترین آلاینده ناشی از کارخانه های سیمان گرد و غبار، ترکیبات کربن دار و اکسیدهای گوگرد و ازت می باشند که از این بین ذرات گرد و غبار به دلیل تولید و انتشار بیشتر در محیط زیست اهمیت بیشتری دارند. هدف از این پژوهش بررسی فرآیندها و آلاینده های تولیدی کارخانه سیمان تهران و شبیه سازی انتشار آلاینده های این کارخانه از دودکش شماره هشت و در نهایت تهیه فهرست و مقادیر انتشار آلاینده های تولیدی این کارخانه می باشد. کارخانه تولید سیمان تهران در حال حاضر به طور متوسط دارای ظرفیت تولید ۱۲۳۰۰ تن سیمان در روز می باشد. مواد اولیه اصلی مورد استفاده کارخانه سیمان تهران سنگ آهک و خاک رس و محصولات تولیدی هفت نوع می باشند. بررسی ها نشان داد که آلاینده های اصلی تولیدی در این کارخانه شامل: غبار ناشی از پیش گرمکن ها و فرایند پخت مواد در کوره ها، غبار ناشی از فرایند ریزش مواد و آسیاب آنها، گازهای خروجی از الکتروفیلترها و آجرهای نسوز مستعمل به جای مانده از کوره می باشند. براساس نتایج به دست آمده از شبیه سازی آلاینده های خروجی با مدل Screen View V.3.5.0 مشخص شد که بیشترین غلظت آلاینده ها در فاصله ۱۰۰ متری از دودکش شماره ۸

رخ می دهد که جهت کنترل این آلاینده ها انجام اقدامات پیشگیرانه ضروری است (فریدریچ^۱، ۱۹۷۴).

۲-۱-۷ بررسی آلاینده های تولید شده توسط واحدهای تولید سیمان

وراهکارهای کنترل آنها

در دو قرن گذشته و با گسترش دامنه علم بشر، صنعت ساخت و ساز وارد عصر جدیدی شد. با رشد روزافزون ساخت و ساز نیاز به مواد اولیه ای مانند سیمان افزایش چشمگیری یافت. با افزایش تعداد واحدهای تولید سیمان مشکلات زیست محیطی بسیاری به وجود آمد که یکی از این مشکلات، آلودگی شدید هوا بر اثر فعالیت این واحدهای صنعتی می باشد. از مهمترین آلاینده هایی که توسط کارخانجات تولید سیمان انتشار می یابند می توان به ذرات معلق، گازهای غیر قابل احتراق (اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد)، انتشار عناصر سنگین موجود در مواد آهکی و رسی اشاره نمود. یکی از بهترین روشها به منظور کنترل ذرات آلاینده تولید شده توسط این واحدهای صنعتی استفاده از دستگاه های کنترل ذرات آلاینده می باشد که در میان آنها، فیلترهای پارچه ای و الکتروفیلترها از جمله دستگاه هایی هستند که می توانند (به دلیل داشتن راندمان بالا) اهداف آیین نامه ها را به راحتی برآورده سازند. این مقاله به معرفی آلاینده های

¹ Frederick, E. R.

منتشر شده توسط واحدهای تولید سیمان و نحوه کنترل این آلاینده ها توسط دستگاه های کنترل ذرات آلاینده می پردازد (بیلینگز و وایلدرا^۱، ۱۹۷۰).

۲-۱-۸ بررسی ریسک و مخاطرات در معرض قرار گرفتن ذرات معلق

در ابعاد میکرومتر و نانومتر

مخاطرات و خسارت های ناشی از ذرات معلق به پارامترهای زیادی بستگی دارد. صنعت سیمان یکی از ۱۷ صنعت آلوده کننده است که در لیست مرکز کنترل آلاینده ها (CPCB) قرار گرفته است. ذرات سیمانی حاوی آلاینده هایی نظیر فلزات سنگین مانند نیکل، کبالت و سرب است که برای ادامه حیات در محیط زیست مخاطره آمیز است. یک تخمین برای تولید نانومواد در سال 2004 برابر ۲۰۰۰ تن بوده و پیش بینی می شود که در سال ۲۰۲۰ به رقم ۵۸۰۰۰ تن برسد. این رقم بالا که در پیش بینی ها ذکر گردیده است، زنگ خطری است به این جهت که با افزایش تولیدات نانوذرات میزان تماس این مواد با محیط زیست و انسان ها نیز رو به افزایش خواهد گذاشت. همچنین این احتمال وجود دارد نانوذرات وارد سیستم عصبی انسان شوند و از این طریق موجب خطرات گوناگونی برای انسان بر حسب نوع و خاصیت شیمیایی و میکروبیولوژی خود شوند. انتخاب صحیح مشخصات الیاف های فیلتر می تواند سبب جذب و افزایش کارایی فیلترها برای نانوذرات گردد. در این مقاله به بررسی اثرات و مخاطراتی که از جانب ریزگرد ها و

¹ Billings, C. E., & Wilder, J.

نانوذرات به انسان و محیط زیست وارد می شود مستقل از اینکه حاوی چه عناصری ویژه ای هستند پرداخته شده است. نتیجه سنجش خروجی آلاینده ذرات معلق که از یکی از کارخانجات سیمان در شهر تهران مورد استفاده قرار گرفته است، که نشان دهنده ی آن است که با وجود اینکه غلظت ذرات معلق خروجی آنها بر ای الکتروفیلتر و گریت کولر به ترتیب در محدوده ۲۴۰-۴۴۰ و ۱۳۵-۳۹۰ میکروگرم بر متر مکعب در گزارش به ثبت رسیده ولی همین مقادیر نیز برای کارکنان و افرادی که در مجاورت این مکان ها ساکن هستند خطرات زیادی را به بار می آورد (استرن^۱، ۱۹۹۷).

۹-۱-۲ بررسی عملکرد بگ فیلتر و الکتروفیلتر در کنترل ذرات سیلیس

هوای محیط های صنعتی در سال ۱۳۸۹ (مطالعه موردی کارخانه سیمان

سپاهان اصفهان)

آلودگی هوا تنها بصورت یک مشکل منطقه ای مطرح نیست به همین دلیل کاهش اثرات جهانی آلودگی هوا در تعهد همه کشور ها قرار دارد. گرد و غبار به عنوان یک خطر عمده شغلی در صنایع و معادن مطرح بوده از جمله مهم ترین صناعی که کارگران در آن به دلیل ماهیت کاری در مواجهه با گرد و غبار سمی حاوی سیلیس آزاد قرار دارند کارخانه های سیمان می باشند که این گرد و غبار عامل اصلی بیماری های ریوی شغلی در دنیا محسوب

^۱ Stern, A. C.

می شود. این مطالعه با هدف ارزیابی عملکرد بگ فیلتر و الکتروفیلتر در کنترل ذرات سیلیس هوای محیط های صنعتی در سال ۱۳۸۹ در کارخانه سیمان سپاهان اصفهان انجام گرفت (روناک^۱، ۱۹۸۹).

۲-۱-۱۰ بررسی فرآیندها و آلاینده های صنعت سیمان و مدیریت و

کنترل آن (مطالعه موردی کارخانه سیمان اصفهان)

صنعت سیمان ایران با ۷۵ سال سابقه به دلیل بیشترین رشد و تاثیر گذاری کافی در اقتصاد کشور توانسته است جایگاه ویژه ای در صنعت کشور داشته باشد. در ایران در سال ۱۳۱۲ نخستین کارخانه تولید سیمان به ظرفیت ۱۰۰ تن در روز در جنوب شرقی تهران به عنوان سیمان ری آغاز به کار کرد. در حال حاضر ایران بزرگترین تولید کننده سیمان خاورمیانه می باشد و رتبه پانزدهم رادر بین تولیدکنندگان سیمان جهان دارد. شرکت سهامی سیمان اصفهان از نخستین واحدهای تولید سیمان در کشور است که در سال ۱۳۳۴ تاسیس و هم اکنون با ظرفیت ۳۲۰۰ تن در روز به فعالیت خود ادامه می دهد. هدف این مقاله بررسی فرآیندها و آلاینده های تولیدی و نحوه مدیریت و راهکارهای پیشنهادی جهت مدیریت و کنترل آن ها، می باشد. مواد اولیه اصلی مورد استفاده کارخانه سیمان اصفهان، سنگ آهک و خاک رس و محصولات تولیدی سه نوع سیمان تیپ ۱، تیپ ۲ و تیپ ۵ می باشد. بررسی های نشان داد آلاینده های اصلی تولیدی غبار ناشی از

¹ Reanoke, VA

پخت مواد ازکوره ها، غبار ناشی از فرایند ریزش مواد و آسیاب آن ها و گازهای خروجی از الکتروفیلترها می باشد. راه کارهای پیشنهادی برای کنترل و کاهش آلاینده ها، ایجاد یک محیط کاملاً سرپوشیده و مجهز به فیلتر غبار گیر برای واحد بسته بندی، افزایش و بهبود عملکرد فیلترهای غبارگیر ، توجه به بازیابی و بازچرخش واستفاده مجدد از مواد (به ویژه پسماند) ، اصلاح آسیاب های سیمان و مواد خام برای کاهش مصرف انرژی الکتریکی، حذف انبار ذخیره کلینکر به منظور کاهش مصرف انرژی و گرد غبار می باشند (فردریچ^۱، ۱۹۹۹).

۲-۱-۱۱ بررسی نقش صنایع در آلودگی هوا به منظور ارایه الگوی

مدیریتی کنترل و حذف ذرات سیلیس آزاد مطالعه موردی کارخانه سیمان

سپاهان اصفهان

آلودگی هوا ناشی از ذرات معلق PM یکی از مشکلات بزرگ زیست محیطی است که درکشورهای توسعه یافته و درحال توسعه مطرح می باشد ترکیبات سیلیس از عوامل سرطان زای شناخته شده در انسان و عامل اصلی بیماری های ریوی شغلی در دنیا محسوب می شود که عمدتاً از طریق کارخانه های سیمان انسان و محیط زیست در مواجهه با گردوغبار سمی حاوی سیلیس آزاد قرار می گیرند با توجه به اینکه تعیین غلظت این عنصر درهوا ازجنبه های مختلف بهداشتی کنترلی و قانونی حائز اهمیت است این مطالعه با هدف بررسی نقش صنایع در آلودگی هوا به

^۱ Frederic E. R.,

منظور ارایه الگوهای مدیریتی کنترل و حذف ذرات سیلیس آزاد در سال ۱۳۸۹ در کارخانه سپاهان اصفهان انجام گرفته است. این تحقیق از نوع مطالعات تجربی کاربردی است که با استفاده از روش نمونه گیری تصادفی گردوغبار قبل و بعد از وسایل غبارگیر براساس روش شماره ۵ سازمان EPA در ۲۱ ایستگاه در مدت زمان ۶ ماه انجام گرفت برای طراحی سیستم های تهویه موضعی از روش تعادل از طریق طراحی استفاده شد نمونه برداری بر مبنای توزیع اندازه ذرات نیز با استفاده از دستگاه DIGITAL BALANCE مدل HR200 و شماره سریال 12312373 ساخت کشور ژاپن انجام گرفت در این مطالعه از بگ فیلترها و الکتروفیلترها و هود خیمه ای یا سایبانی براساس VS-99-03 هود اتاقکی براساس VS-85-01 استاندارد تهویه صنعتی ACGIH استفاده گردید و داده های خاص از اندازه گیری ها با استفاده از نرم افزار SPSS16 و آزمون های آماری T- test و Way Anova- one مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. (استرن^۱، ۱۹۹۷).

¹ Stern, A. C.

۲-۲ صنعت سیمان و راهکارهایی جهت کاهش آلودگی آن

صنعت سیمان دارای آسیب های زیست محیطی اجتناب ناپذیر می باشد. آلاینده های ناشی از صنعت سیمان غبار، دی اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن، نسوز و عایق و آلودگی صوتی می باشد. در این مقاله به توضیح این آلاینده ها و ارائه راهکارهایی برای رفع آن ها، مانند بهبود فرآیند غبارگیری، استفاده از سوخت های جایگزین و نیز راهکارهایی برای رفع آلودگی ناشی از اکسیدهای نیتروژن، آلودگی ناشی از نسوز و عایق و آلودگی صوتی پرداخته می شود (بیچلر و جانک^۱، ۱۹۸۱).

۲-۲-۱ HSE آلودگی های صنعت سیمان و راهکارهای مدیریت

مدیریت HSE تلاشی بر ارائه راهکارهایی به منظور افزایش ایمنی و بهداشت در سازمان ها دارد که با تلفیق منابع انسانی و تجهیزات بر حمایت از یکدیگر برای تامین سلامت و محیطی عاری از حادثه و آسیب بکار رفته است. در این مقاله، خطرات استفاده از سیمان ذکر شده تا با رعایت نکات ایمنی، بهداشت و زیست محیطی برای تمام کسانی که با سیمان در ارتباط هستند

¹ Beachler, D. S., & Jahnke, J. A.

، تشریح نماید. هر چند سیمان از جوانب اقتصادی حائز اهمیت بوده و همین موضوع دلیل رو به رشد بودن این صنعت را توجیه می کند اما آسیب های زیست محیطی و بهداشتی و ایمنی ناشی از فعالیت این صنعت از جمله آلودگی هوا و آلودگی صوتی ، آب های زیر زمینی و پوشش های گیاهی اجتناب ناپذیر است که برای رفع آن باید تمهیداتی لحاظ شود که کمک بسزایی به این موضوع خواهد داشت (چوی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷).

۲-۲-۲ آلودگی هوا در صنعت سیمان

از آنجا که سیمان در بخش های مختلف بکار رفته و در صنایع بسیاری نقشی کلیدی ایفا می کند. صنعت آن از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار می باشد. اما فرایند تولید این ماده بنحوی است که در مراحل مختلف آن از آلودگی های زیادی در محیط منتشر می گردد. در این راستا، آلودگی هوا از مهمترین مسائل زیست محیطی این صنعت بشمار می رود. گرد و غبار عمدتاً در مراحلی مانند استخراج، حمل و نقل، انبار و آسیاب کردن مواد اولیه و محصول تولید می گردد. برای مهار کردن آن می توان از روش های متعددی مانند استفاده از انواع مختلف فیلترها، محبوس کردن تجهیزات، استفاده از اسپری های آبی با یا بدون سورفکتانت ، کف کننده ها، جایگزین کننده های شیمیایی و آلك های بادی بهره گرفت. مهمترین آلاینده های صنعت سیمان و آلاینده های دیگر شامل مواد NO_2 , SO_2 , CO , CO_2 که دارای دو منشا اصلی یعنی واکنش های شیمیایی مواد

¹ Cui, H., Etal.

اولیه در اثر حرارت و سوخت مصرفی کارخانه می‌باشند. کنترل انتشار هر کدام از این آلاینده ها از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و در تحقیقات علمی زیادی مورد بحث قرار گرفته است. بطور خلاصه می توان گفت که استفاده از مواد اولیه و سوختی که حاوی مقادیر کمتری از ترکیبات نیتروژن و گوگرد باشند، به همراه بکارگیری سیستم های عملیاتی حرارتی مدرن با طراحی اصولی تر می تواند اثر زیادی در کاهش میزان انتشار این آلاینده ها داشته باشد (ژاو^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

۲-۲-۳ امکان سنجی استفاده از پساب تصفیه خانه های آب در صنعت

سیمان

این مقاله به مطالعه امکان سنجی استفاده مجدد از لجن حاصل از مراحل مختلف تصفیه خانه های آب یعنی انعقاد - لخته سازی - فیلتراسیون در صنعت سیمان می پردازد. همچنین بررسی هایی در مورد مشکلات مرتبط با استفاده از این پساب برای مقاصد کشاورزی و یا مسائل زیست محیطی مربوط به دفع این پساب در رودخانه ها یا دفع در زمین اشاره شده است (ساین وداس^۲، ۲۰۱۶).

¹ Zhao, S. A., etal.

² Singh, K., & Das, R.

۲-۲-۴ ارائه راهکارهای مدیریتی برای کنترل آلاینده‌های موجود در

کارخانه سیمان با در نظر گرفتن فرایندهای اجرایی در کارخانه

صنعت سیمان به عنوان یکی از صنایع با میزان آلودگی بسیار بالا به حساب می آید. در ایران در سال ۱۳۱۲ نخستین کارخانه تولید سیمان به ظرفیت ۱۰۰ تن در روز در جنوب شرقی تهران به عنوان سیمان ری آغاز به کار کرد. در حال حاضر ایران به عنوان یکی از بزرگترین تولید کنندگان سیمان در جهان به حساب می آید، لذا اهمیت بررسی میزان اثرات زیست محیطی این صنعت از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هدف این مقاله بررسی فرایندها و آلاینده های تولیدی و نحوه مدیریت و راه کارهای پیشنهادی جهت مدیریت و کنترل آنها، می باشد. بررسی ها نشان می دهد که آلاینده های اصلی تولیدی غبار ناشی از پخت مواد از کوره ها ، غبار ناشی از فرایند ریزش مواد و آسیاب آنها و گازهای خروجی از الکتروفیلترها می باشد. راهکارهای پیشنهادی برای کنترل و کاهش آلاینده ها، ایجاد یک محیط کاملا سرپوشیده و مجهز به فیلترغبار گیر برای واحد بسته بندی ، افزایش و بهبود عملکرد فیلترهای غبارگیر ، توجه به بازیابی و بازچرخش و استفاده مجدد از مواد به ویژه پسماند، اصلاح آسیاب های سیمان و مواد خام برای کاهش مصرف انرژی الکتریکی، حذف انبار ذخیره کلینکر به منظور کاهش مصرف انرژی و گرد غبار می باشند (لی^۱ و همکاران، ۲۰۱۶).

^۱ Li, X., et al

۲-۵ ارائه فرصت‌های صرفه‌جویی انرژی و برآورد کاهش مصرف

انرژی در صنعت سیمان کشور

در این مقاله تلاش شده است پس از ارائه خلاصه ای از وضعیت سیمان کشور از نظر تولید، انرژی مصرفی و سهم آن نسبت به کل انرژی مصرفی بخش صنعت و کشور و همچنین شاخص های انرژی در مقایسه با وضعیت جهانی پتانسیل صرفه جویی مصرف انرژی در کشور برآورد شود. بدین منظور پس از پایش وضعیت کارخانه های کشور با توجه به اطلاعات جمع آوری شده و تحلیل وضعیت موجود و پارامترهای موثر برمیزان بهره وری انرژی از نظر نوع تکنولوژی به کار رفته هردپارتمان در خطوط تولید کشور، عمر تجهیزات و خطوط تولید و ظرفیت تولید و ... میزان اجرایی بودن هر راهکار با برآورد پتانسیل صرفه جویی انرژی و هزینه سرمایه گذاری مورد نیاز در کل کارخانه های کشور بررسی شده است. در ادامه خلاصه راهکارهای کاهش مصرف انرژی فرآیندی در سه قالب تغییر تکنولوژی، تغییر مواد اولیه به کار رفته و ارتقای کارایی تجهیزات، ارائه شده است. از جمله راهکارهای ارائه شده می توان به تبدیل سیستم انتقال مواد از پنوماتیک به مکانیکی، استفاده از نوار نقاله و الواتور به جای سیستم حمل با هوا، تعویض آسیاب گلوله ای با آسیاب های غلطکی رانده مان بالا، تبدیل سیستم هموژنیزاسیون سیلو به سیستم ثقلی، استفاده از مواد کمک ذوب، جایگزینی کولر سیاره ای با کولرهای نسل جدید، استفاده از سرباره و اشاره کرد. در پایان پتانسیل صرفه جویی مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه-های کشور با استفاده از

مقایسه متوسط شاخص مصرف انرژی الکتریکی در ایران با چند کشور پیشرو ارائه شده است (رام‌کومار و راگوپاتی^۱، ۲۰۱۵).

۲-۲-۶ ارائه‌ی الگوریتمی جهت تعیین مقدار بهینه هزینه انرژی

الکتریکی مصرفی در کارخانجات سیمان

با توجه به رشد روزافزون صنایع و داشتن محدودیت در مصرف انرژی، از جمله انرژی الکتریکی، ضرورت بیش از پیش اعمال مدیریت مصرف برق در صنایع بزرگ از جمله سیمان را می‌طلبد. مدیریت بار، کاهش توقفات ناخواسته تجهیزات، داشتن برنامه تعمیر و نگهداری منظم از جمله عواملی هستند که در بهره‌برداری اصولی از انرژی موثر هستند. از آنجایی که در حال حاضر شاخص‌ها و استانداردهای تعریف شده در صنعت سیمان، جهت آشکار سازی تاثیر این عوامل ناکافی هستند این مقاله به ارائه الگوریتمی جهت تعیین مقدار بهینه هزینه انرژی الکتریکی مصرفی در کارخانجات سیمان پرداخته است. از جمله ویژگی‌های این الگوریتم، تعیین وضعیت بهینه هر کارخانه و مقایسه آن با وضعیت فعلی مربوط به همان کارخانه با تفکیک بخش‌های مختلف بار می‌باشد که در واقع به طور غیر مستقیم میزان تاثیر برنامه ریزی جهت بهره‌برداری از تجهیزات

¹ Ramkumar, R., & Ragupathy, A.

در ساعات مختلف بار طی ماه، توقفات ناخواسته و... را آشکار می سازد (وانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۴).

۲-۳ ارزیابی بازیافت انرژی کوره

صنعت سیمان نیز که بعنوان یکی از مصرف کننده های عمده انرژی محسوب می شود هزینه های زیادی در آن صرف تامین انرژی می شود سیمان در جهت مصرف بهینه منابع همه را مجاب و وادار میکند که در رابطه با مصارف ویژه این محصول استراتژیک تجدید نظر و کالبد شکافی مصرف آن را در برنامه های خود قرار دهند در صنعت سیمان در حد توان تلاش در کاهش مصرف حامل های انرژی است (لواسانی^۲ و همکاران، ۲۰۱۴)

۲-۳-۱ ارزیابی ریسک زیست محیطی کارخانه سیمان دورود با

استفاده از روش EFMEA

پیشرفت روزافزون صنایع و تکنولوژی صنعتی سبب افزایش خطرهای گوناگون و ناشناخته در محیط زیست گردیده است. هدف از این مقاله به شناسایی و رتبه بندی پیامدهای ناشی از این ریسک ها بر روی محیط زیست، پرسنل در حال کار و سایرین می باشد. آلاینده های تولیدی در بخش های مختلف کارخانه تولید سیمان به طور کلی شامل آلاینده های هواد، گردوغبار، آلاینده

¹ Wang, J. G.,etal.

² Lavasani, A.etal

های صوتی و پساب می باشد. در طی ارزیابی ریسک زیست محیطی کارخانه سیمان دورود، برای طبقه بندی ریسک ها در سطوح (L.M.H) کم، متوسط و بالا با روش کمی EFMEA صورت گرفت. اطلاعات مورد نیاز با استفاده از مطالعات کتابخانه ای، اسنادی، مطالعه میدانی و مصاحبه با کارشناسان به دست آمد و همچنین تعیین ریسک های زیست محیطی مولد کارخانه از قبیل خروجی های هوا، با اندازه گیری به عمل آمده (توسط آزمایشگاه معتمد محیط زیست) انجام شده است. در ارزیابی ریسک زیست محیطی به روش EFMEA از ۵۰ جنبه مورد بررسی ریسک های پائین ۲۶ درصد، ریسک های متوسط ۲۴ درصد، ریسک های بالا ۱۸ درصد و ریسک های خیلی بالا ۳۲ درصد را به خود اختصاص داده اند. برای جذب یا کاهش سطح ریسک هر کدام از این خطرات، راه حل های کنترلی چون تغییر نوع سوخت مصرفی کارخانه پیشنهاد شد (وانگ و همکاران^۱، ۲۰۱۴).

۲-۳-۲ ارزیابی ریسک محیط زیستی کارخانه سیمان اذر ابادگان

خوی با استفاده از روش تلفیقی PHA و WILLIAM FINE

مقدمه و اهمیت موضوع : هدف از تشکیل سیستم مدیریت HSE حفظ نیروی انسانی، تجهیزات و سرمایه های ملی از طریق نگرشی عمیق، علمی و مرتبط با عوامل مختلف بهداشت، ایمنی و محیط زیست می باشد. در جهانی که هم اکنون به سوی صنعتی شدن هرچه بیشتر گام بر

¹ Wang, J. G.,etal.

می دارد، سلامت زیستن در دنیای علم و تکنولوژی از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و امروزه شعار « انسان سالم در محیط کار سالم » سرلوحه بسیاری از صنایع قرار گرفته است. مواد و روش ها: با توجه به بازدیدهای میدانی، و بررسی وضع موجود و با مطالعه اطلاعات پایه مربوط به کارخانه، ریسک های موجود در منطقه مورد مطالعه شناسایی و طبقه بندی گردید. نتایج اندازه گیری های صورت گرفته در خصوص آلاینده های گازی منواکسیدکربن با ۱۰۰، اکسیدهای نیتروژن با ۹۵۰، دی اکسید گوگرد با ۵۶/۰ و ذرات معلق ۹۵ با استفاده از دستگاه سنجش گازهای خروجی Testo-350- XL بدست آمده است. در خصوص اندازه گیری های بدست آمده شدت صوت در ۶ ایستگاه کوره، آسیاب مواد، بارگیرخانه، آسیاب سیمان، سنگ شکن، پری هیتر الکتروموتورها نتایج به ترتیب با ۸۱، ۸۷، ۶۸، ۹۲، ۹۰، ۸۴ دسی بل بدست آمده است. شناسایی ریسک های شغلی در واحدهای مختلف کاری استفاده از روش کیفی PHA و طبقه بندی ریسک ها از لحاظ شدت و اولویت بندی آنها، و ارزیابی با روش کمی William fine در سطوح کم، متوسط و بالا انجام می گیرد تا رتبه بندی شدت اثر، رتبه بندی احتمال وقوع خطر و رتبه بندی میزان تماس هر یک از فعالیت ها و جنبه های آن مطابق با جداول مربوطه روش مزبور استخراج گردد. از اهداف این روش، تصمیم گیری درباره لزوم اجرای به موقع برنامه های کنترل خطرات می باشد. از مهمترین مزایای این روش، ارائه روشی ساده برای ارزیابی انواع خطرات و کنترل ها جهت بررسی و تصمیم گیری است درصدد تشخیص و طبقه بندی ریسک های مورد نظر و ارائه راه کارهای مدیریتی مناسب جهت کاهش ریسک به سطح قابل قبول می باشد.

نتایج و بحث: فعالیت های آسیاب سیمان، سنگ شکن، آسیاب مواد و بارگیرخانه برای آلودگی صوتی به ترتیب ۵۰۰، ۹۰۰ و بارگیرخانه با آلودگی ذرات با ۹۰۰ واحد بیشترین خطر و واحد برق و مکانیک با ۷۲ و ۱۲۰ دارای کمترین سطح خطر می باشد. نتایج آلاینده های گازی در خصوص منواکسید کربن با ۱۰۰، اکسیدهای نیتروژن با ۹۵۰ ppm و ذرات معلق با ۹۵ میلی گرم بر متر مکعب بالاتر از حد مجاز در محدوده بلافصل کارخانه و در خصوص آلاینده دی اکسید گوگرد در کمی بیشتر از حد استاندارد می باشد. علت چنین پیامدهای به دلیل نبود تجهیزات ایمنی فردی و آموزش های لازم و پایش آلاینده های باشد. لازم به ذکر است در تمامی موارد مزبور، مهم ترین عامل در وقوع خطرهای بی توجهی پرسنل و عدم پایش مستمر تشخیص داده شد. آلاینده های تولیدی در بخش پساب فاضلاب در حد استاندارد می باشد. نتیجه گیری: طبق رتبه بندی انجام گرفته، ۱۰ درصد از جنبه ها در سطح ریسک پایین، ۵۵ درصد از جنبه ها در سطح ریسک متوسط، ۲۰ درصد از جنبه ها در سطح ریسک بالا و ۱۵ درصد از جنبه ها در سطح ریسک خیلی بالا قرار گرفتند. ازجمله راه کارهای مدیریتی برای کنترل و کاهش آلاینده ها و ریسک های شغلی بسته بندی سیمان در یک محیط بسته و مجهز به فیلترهای غبار گیر، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی استفاده از سوخت های جایگزین جهت کاهش مصرف انرژی و آلودگی را می توان نام برد (ژانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۳).

^۱ Zhang, W., et al

۲-۳-۳ ارزیابی ظرفیت کاهش آثار خارجی زیست محیطی به وسیله

بهینه سازی مصرف انرژی در صنعت سیمان ایران

صنعت سیمان به شدت مصرف کننده انرژی است (۴ گیگاژول به ازای هرتن). این صنعت هم از طریق فرآیند تولید و هم مصرف انرژی سبب آلودگی شده بطوریکه به ازای تولید هر تن سیمان ۶۵۰ تا ۹۲۰ کیلوگرم CO₂ تولید که نیمی از آن از محل مصرف انرژی است. لذا صرفه جویی در مصرف انرژی از دو جنبه حائز اهمیت است؛ نخست اینکه سوخت های فسیلی که منبع اصلی انرژی در این صنعت می باشند روبه زوال اند و دوم آلودگی های حاصل از مصرف این حامل هاست که سلامت انسان و سایر موجودات زنده را به خطر می اندازد. بررسی این مقاله نشان می دهد در سه افق کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت امکان کاهش شاخص مصرف انرژی و کاهش گازهای آلاینده در این صنعت به میزان بالایی وجود دارد و هزینه های خارجی ناشی از اقدامات بهینه سازی مصرف انرژی نیز قابل کاهش خواهد بود و اگر آثار خارجی مثبت بهینه سازی مصرف انرژی در این صنعت در نظر گرفته نشود انگیزه کافی برای اجرای طرح های بهینه سازی ایجاد نخواهد شد (زو^۱ و همکاران، ۲۰۱۳).

¹ Zou, Z., et al.

۲-۳-۴ استفاده از سازو کار توسعه پاک جهت کاهش انتشار گازهای

گلخانه ای در صنعت سیمان تهران

هدف پروتکل کیوتو کاهش تولید گازهای گلخانه ای است. این موضوع باعث گرم شدن کره زمین تا سال ۲۰۵۰ می شود اما این گازها اثرات مخرب دیگری نظیر تهدید جان انسانها، بروز توفان های سهمگین سال و جاری شدن سیل را به دنبال دارند. تحقیقات ۱۰۰۰ دانشمند طی ۴ سال در رابطه با تغییر اقلیم، نشان دهنده کاهش لایه ازن، بالا آمدن سطح آب دریاها، کاهش پوشش جنگلی و از بین رفتن گونه های گیاهی و جانوری است. در صورت ادامه وضعیت موجود، خطر غیر قابل سکونت شدن بخش بزرگی از کره زمین وجود خواهد داشت بدین منظور از آنجا که بیشترین مصرف برق در بخش آسیاب مواد صورت می پذیرد، با توجه به نوع تکنولوژی های مربوطه، کارخانه سیمان تهران با طول عمرهای متفاوت و نوع فرآیند مورد سنجش قرار گرفت. ضرایب انتشار گازهای گلخانه ای در این صنعت نشان می دهد که استفاده از آسیاب های گلوله ای موجب هدرروی انرژی به میزان دو برابر نسبت به آسیابهای غلطکی است. همچنین با بکار گیری نرم افزار پروفورم فن آوری آسیابهای لوله ای و غلطکی از لحاظ تولید انتشار گازهای گلخانه ای و مصرف انرژی مورد آنالیزهای اقتصادی قرار گرفت و درمجموع نه سناریو با متغیرهای قیمت برق و قیمت فروش کربن تنظیم شد. نتایج تحقیق نشان می دهد که در صورت

حذف یارانه ها و هدفمندسازی آن، بهره گیری از منابع مالی مکانیسم توسعه پاک اشتباه بوده و دولت می تواند با سرمایه گذاری ۱/۹ میلیون دلاری جهت بکارگیری آسیاب های غلطکی، گازهای گلخانه ای را تا حد ۴۲ هزار تن در سال کاهش دهد. به عبارت دیگر برای حذف هرتن گاز گلخانه ای حدود ۱۸ دلار سرمایه گذاری نیاز است. در صورت تحقق این امر دولت می تواند نسبت به آزاد سازی کربن خود اقدام و آن را به مبلغ ۳۵ دلار به ازای تن در بازار آزاد به فروش برساند. مدت زمان بازگشت سرمایه حدود دو سال برآورد شده است که کاملاً حاکی از اقتصادی بودن نوع فعالیت است. نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که بهترین استراتژی برای صنعت سیمان کشور بکارگیری اقدامات بهینه سازی است (گولولو^۱، ۲۰۱۱).

۲-۴ امکان سنجی فنی اقتصادی فناوری های کاهش مصرف انرژی در

صنعت سیمان: مطالعه موردی

انرژی یکی از اساسی ترین موضوعات جهان امروز است، اهمیت انرژی در عصر حاضر و تاثیر آن بر اقتصاد جهانی برهیچکس پوشیده نیست و هر گونه تصمیم گیری در سطح ملی و جهانی به شدت متأثر از حوزه های تصمیم ساز در این سطوح می باشد. انرژی به عنوان یکی از نهاده های اولیه در تولید سیمان از اهمیت بالایی در این صنعت برخوردار است، مصرف انرژی در صنعت سیمان حدود ۲۱٪ کل مصارف انرژی صنایع را شامل شده و این صنعت را به یکی از

¹ Gololo, K. V.

صنایع - انرژی بر تبدیل کرده است، هم چنین هزینه انرژی در این صنعت ۴۰ درصد کل هزینه های تولید را در برمی گیرد، که بعد از اجرای طرح هدفمندی یارانه ها که منجر به واقعی تر شدن قیمت انرژی خواهد شد، هزینه های انرژی افزایش یافته، به این ترتیب مدیریت و بهینه کردن مصرف انرژی، با اتکاء به تکنولوژی های نوین، اولویت اول صنعت سیمان خواهد بود.

درابتدای این مقاله با مروری بر مصرف انرژی در صنایع سیمان به تشریح چهار فناوری بازیابی حرارت تلف شده، سوخت های جایگزین، فن های با راندمان بالا و تبدیل سیستم های ایرلیفت به الواتور پرداخته می شود و سپس امکان سنجی اقتصادی این فناوری ها در یک کارخانه نمونه سیمان ارائه می شود و مزیت آن برای صنعت سیمان از دید ملی و بنگاه اقتصادی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با توجه به نتیجه مقاله می توان گفت که استفاده از این فناوری ها کاملاً موجه بوده و علاوه بر مزیت اقتصادی که برای دولت و کارخانه در بردارد در کاهش آلاینده های زیست محیطی هم نقش مهمی را ایفا می کند (ماهنامه سیمان، سیدی و نجات الهی، ۱۳۹۴).

۲-۴-۱ اولویت بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی و کاهش

آلاینده ها در صنعت سیمان

امروزه، افزایش بهای حامل های انرژی، تدوین استاندارد معیار مصرف انرژی در صنعت سیمان و الزامات زیست محیطی، بیش از پیش نگاه دست اندرکاران صنعت سیمان را به مقوله کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار آلاینده ها معطوف نموده است. از آن جا که ویژگی های

فنی، توان مالی، توانمندی نیروی انسانی و شرایط اقلیمی کارخانه های سیمان درایران بسیار متفاوت می باشند و مدیران ارشد شرکت های تولید کننده سیمان، استراتژی های متفاوتی برای پیشبرد اهداف خود دارند، بنابراین تعیین چارچوبی برای گزینش و پیاده سازی راهکارهای کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده های زیست محیطی اهمیت بسیار یافته است. در این پژوهش با معرفی عوامل تاثیرگذار بر مصرف انرژی، این امکان فراهم می آید تا کارخانه های سیمان، جایگاه خود را از دیدگاه مصرف انرژی با شرایط ایده آل مقایسه نمایند و به شناسایی فرصت های موجود برای بهینه سازی مصرف انرژی بپردازند. پس از آن، هشت معیار اقتصادی و فنی برای گزینش راه کارهای کاهش مصرف انرژی معرفی می گردند. سپس بر پایه معیارهای تعیین شده، تمامی راه کارهای شناخته شده برای کاهش مصرف انرژی اولویت بندی می گردند. افزون بر ارزیابی راهکار ها از دیدگاه کاهش مصرف انرژی، این روش ها و فناوری ها از دیدگاه کمک به کاهش انتشار آلاینده ها نیز بررسی و اولویت بندی می گردند(وانگ و همکاران^۱، ۲۰۰۹).

۲-۴-۲ اولویت بندی راهکارهای کاهش مصرف انرژی در بخش پخت

کلینکر صنعت سیمان با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها

استفاده از سیمان در صنعت ساخت و ساز روز به روز در حال افزایش بوده و فناوری ها و دانش مرتبط با تولید آن نیز در حال بهبود و گسترش می باشد. تولید سیمان ماهیتاً نیازمند صرف مقادیر قابل توجهی از انرژی های الکتریکی و حرارتی است. به همین منظور تا کنون تحقیقات

^۱ Wang, J. G.,etal.

گسترده‌ای با هدف توسعه راهکارهای بهبود کارایی انرژی در این صنعت انرژی بر انجام گرفته است. اولویت بندی این راهکارها با توجه به معیارهای متضاد و چندانگی یکی از چالش‌های این حوزه تحقیقاتی می باشد که به طور سیستماتیک و تحلیلی چندان مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مقاله، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها، به عنوان رویکردی تحلیلی و سیستماتیک، راه کارهای بهبود کارایی انرژی در بیمارستان کلینیک اولویت بندی شده است. این بخش از صنعت سیمان با مصرف حدود ۰۹٪ انرژی کل، بارزترین مصرف کننده انرژی در کارخانه به شمار می آید. در استفاده از روش تحلیل پوششی داده ها هر دو رویکرد ورودی و خروجی مجاز به کارگرفته شده است. در پایان نتایج مربوط به مطالعه موردی کارخانه سیمانی با ظرفیت حدود ۳۰ میلیون تن در سال ارائه شده است.

۲-۴-۳ فیلتراسیون در صنعت سیمان

در فرایند تولید سیمان؛ یکی از چالش‌های بزرگ و پیچیده؛ بکارگیری تکنولوژی برای جمع آوری گرد و غبار و فیلتراسیون این صنعت است. سیستم های دونالدسون با تجهیزاتی همراه است که برای حذف گرد و غبار برای استفاده تولید کنندگان و کارخانه های سیمان بسیار کارآمد و مقرون به صرفه است. سیستم های تصفیه و فیلتر این روش به این صورت هست که برای مراحل مختلف تولید سیمان در کارخانجات از فرآیندهایی در درون جریان تولید و روند کار بهره می برند که برای مثال می توان ماشینکاری، استفاده از تسمه نقاله و آسانسور و همچنین سنگ زنی و برای خرد کردن را اشاره نمود (مجله تحقیقاتی دونالدسون؛ ۲۰۱۰).

۲-۵ بهینه سازی انرژی در صنعت سیمان

۲-۵-۱ توسعه روش حفاظت از انرژی

حفاظت از انرژی در بخش های صنعت سیمان از حیطه نرم افزاری شروع می شود: از جمله کنترل عملیات و کنترل فرآیند، و سپس به زمینه سخت افزار از جمله گسترش و بهبود تجهیزات و بهبود فرایند ختم می گردد. به طور کلی، تلاش های حفاظت از انرژی در صنعت سیمان را می توان به موارد سه مرحله ای طبقه بندی کرد که یکی از آنها روش بهبود فرآیند است. نیازی به گفتن نیست؛ این روش برای کاهش مصرف انرژی توسط اصلاح قابل توجهی از تولید در نظر گرفته شده است که خود را با توسعه فن آوری پردازش، سرمایه گذاری در تجهیزات، نوسازی فرایند با هدف حفاظت انرژی در صنعت سیمان با کیفیت بالا، بهبود عملکرد محصول و صرفه جویی در انرژی انسان همراه کرده است (اورلاندو؛ ۲۰۰۸).

۲-۵-۲ الکترو فیلتر در صنعت سیمان

با استفاده از مکانیزم فیلتر در عملیات تصفیه سازی و برای جلوگیری از انتشار گرد و غبار؛ می توان عملیات خرد کردن سنگ سیمان را با موفقیت و توان بیشتر عملیاتی با استفاده از سیستم ساده تحت نظارت فیلترینگ دستگاه های شکست و یا کالیبراسیون و سیستم های پیشرفته

حسگرهای قوی بسته به شرایط محلی انجام داد. سیستم های الکترو فیلترینگ سیستم های الکترومغناطیسی هستند که بهترین نظارت مناسب را بر این پشته کوچک و کم قطر که با بارهای گرد و غبار کم به طور معمول $3 \text{ mg} / \text{m}^3$ باشد و یا کمتر؛ انجام می دهند. تعمیر و نگهداری این سیستم ها واقعاً مقرون به صرفه‌اند و نیاز به انجام خدمات اضافی نیاز ندارند مانند هوا تصفیه (ژورنال علمی pcme، ۲۰۰۹).

۲-۵-۳ بهینه سازی انرژی مصرفی در صنعت سیمان

در کارخانجات سیمان در ایالات متحده این فرصت حاصل شده است تا ضمن حفظ و بهره وری به منظور بهبود بهره وری انرژی مصرفی در صنعت سیمان اقداماتی صورت گیرد. بهینه‌سازی مصرف انرژی در کارخانه سیمان باید از چند جهت صورت گیرد. از جمله، استفاده بهینه از انرژی برای راه اندازی تجهیزات از قبیل موتور، پمپ، و کمپرسور. یک عنصر حیاتی مدیریت انرژی این هست که قطعات مهم کارخانه جهت کار بهینه و عدم استفاده بی رویه از انرژی مصرفی؛ نیاز به تعمیر و نگهداری منظم، عمل خوب و در صورت لزوم نیاز به جایگزینی دارند تا با کنترل موثر تجهیزات برای برش متقاطع که قدرت فرایند تولید یک کارخانه است، فرایند کاهش انرژی را رقم زند. بنابراین برای تحقق صرفه جویی انرژی در عملیات یک کارخانه پروسه بهینه سازی و اطمینان از کارآمد ترین فن آوری است حائز اهمیت است (مجله صنعت سیمان بنگلادش، ۱۹۹۴).

۲-۵-۴ نظارت بهره‌وری الکترو فیلتر

برای درک بهینه‌سازی عملکرد الکتروفیلتر در صنایع سیمان و بتن، به طور کامل فهم چگونگی عملکرد ذرات فیلتر جریان گاز برای از بین بردن تعلقات، مهم است. سیستم منحصر به فرد PCME توانایی ارائه یک سیستم نظارت تک ترکیب بر روی دو سنسور جداگانه را فراهم می‌کند. بکارگیری این روش فیلترینگ اجازه می‌دهد تا استفاده از فناوری نوری تا برای اعمال فیلتر الکترومغناطیسی و بهره‌وری الکترو فیلتر مهیا شود و بدین سبب کاربران در اندازه‌گیریها به موفقیت بهتری برسند. به عنوان بهترین پیشنهاد نظارت بر حل مشکل تجمع گرد و غبار و الکتروفیلترینگ تکنیک نظارتی به صورت مکمل جهت فیلتراسیون استفاده می‌شود (جین^۱ و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۵-۵ برج‌های خنک کننده

برج‌های خنک کننده به طور گسترده‌ای در صنعت استفاده می‌شوند که می‌توان به صنایع متالورژی، صنایع شیمیایی، نفت و دیگر بخش‌های صنعتی اشاره کرد. ثبات ساختار میله‌ها

¹ Jin, G. Y.,etal

یکی از مطالب بسیار مهم در طراحی این تجهیزات می باشد. برج خنک کننده تصویب پیشرفته طراحی و تولید فن آوری، یک مدل بالغ تر می باشد (حسن و قان^۱، ۲۰۰۲).

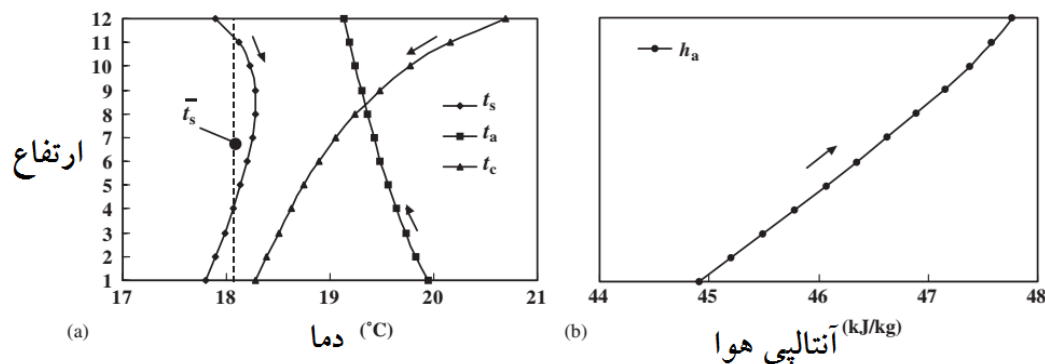
برج خنک کننده یک دستگاه جریان ثابت می باشد که با استفاده از ترکیبی از انتقال جرم و انرژی عمل خنک سازی آب را در یک سطح گسترده انجام می دهد. سطح آب توسط پر شدن افزایش می یابد که موجب تشکیل یک فیلم سطحی یا قطرات می گردد. جریان هوا در این دستگاه ها ممکن است یک جریان متقاطع و یا جریان مقابله باشد. جریان هوا با استفاده از وسایل مکانیکی، انتقال یا توسط باد طبیعی تأمین می شود (وانگ و همکاران^۲، ۲۰۰۹).

نرخ عبور گرما در یک برج خنک کننده خشک بستگی به درجه حرارت ورودی و سرعت جریان توده هوای محیط دارد، همانطور که قبلاً هم گفته شد جریان هوا در سیستم های خنک کننده خشک را می توان بوسیله فن یا پیش بین های طبیعی تأمین کرد (فردریچ^۳، ۱۹۹۹). برج های خنک کننده، جعبه های محصور هستند که برای خنک کردن بخار آب از تماس مستقیم با هوا استفاده می کنند. این عملیات در برج های خنک کننده از طریق تبادل گرمای نهان تبخیر آب و تا حدی توسط انتقال حرارت محسوس انجام می شود (زو و همکاران، ۲۰۱۳).

¹ Hasan, A., & Gan, G.

² Wang, J. G., et al.

³ Frederic E. R.,



شکل (۱-۲) توزیع پیش بینی شده در کنار برج برای شرایط خاص از مدل محاسباتی در تحقیق حسن و همکاران (زو و همکاران، ۲۰۱۳)

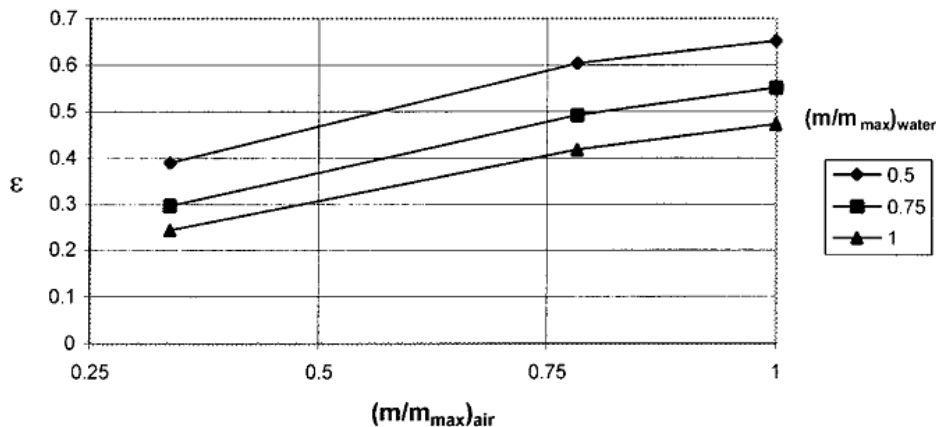
در شکل ۱-۲، t_s دمای اسپری آب، t_a دمای حباب هوا، t_c دمای آب خنک کننده و h_a آنتالپی هوا در شکل b می باشد. شکل ۱-۲ نشان می دهد که درجه حرارت آب اسپری شده در طول مسیر جریان ابتدا در ردیف های بالا افزایش می یابد و سپس در ردیف های پایین کاهش می یابد (زو و همکاران، ۲۰۱۳).

به طور معمول دو نوع برج خنک کننده وجود دارد. عبارتند از: برج های خشک و برج های خنک کننده تر. در برج های خنک کننده خشک، آب و هوا جدا هستند و در برج خنک کننده مرطوب، آب گرم در تماس مستقیم با هوای خنک تر است. در برج خنک کننده خشک، تبادل حرارت در تبادل هوا و آب عبارت است از:

$$(۳-۲) \quad Q_{water} = C_w m_w (T_{w1} - T_{w2})$$

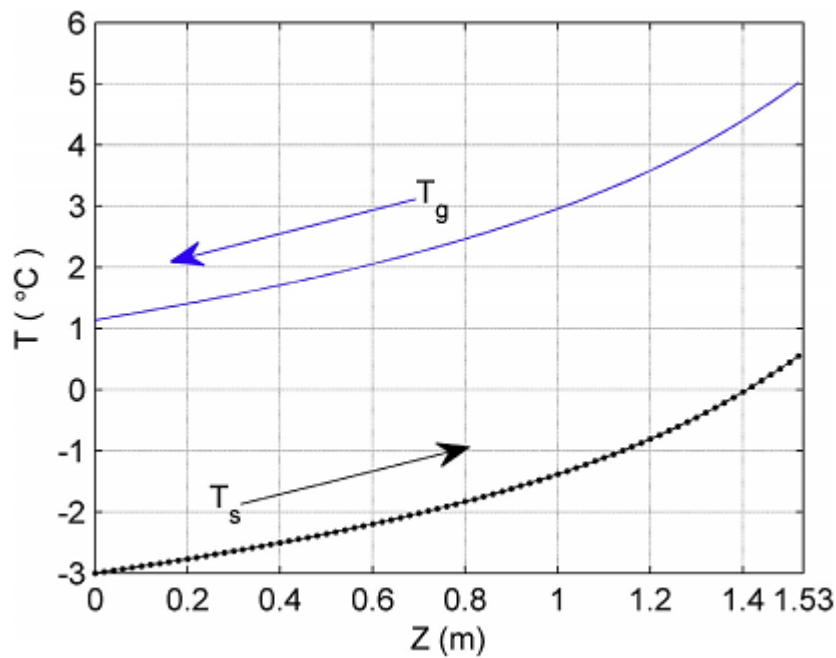
$$(۴-۲) \quad Q_{air} = \alpha (\bar{T} - T) A$$

که در آن Q_{water} و Q_{air} انرژی حرارتی آب و هوا، C_w گرمای نهان آب، m_w نرخ جریان توده آب، T_{w1} و T_{w2} به ترتیب دمای ورودی و خروجی آب، α ضریب انتقال حرارت و A مساحت سطح مبدل حرارتی می باشد (اورلاندو؛ ۲۰۰۸). اگر نرخ اسپری نزدیک به حداکثر یا مقدار بهینه نگهداشته شود، بهره‌وری برج تابعی از سه متغیر می باشد که عبارتند از: نرخ جریان هوا، نرخ جریان آب خنک کننده و دمای حباب مرطوب. (شکل ۲-۲) ارزش بازده اندازه‌گیری برای نرخ هوا و جریان آب‌های مختلف در دمای حباب مرطوب ثابت را نشان می‌دهد (سیدی و نجات‌اللهی، ۲۰۱۱).



شکل (۲-۲) بهره‌وری برج به عنوان تابعی از نسبت هوا و جریان توده آب برای یک دمای حباب مرطوب $[(m_{\text{max}})_{\text{air}}: 1/7 \text{ kg/s}, (m_{\text{max}})_{\text{water}}: 0/8 \text{ kg/s}, 15/8 \text{ C}]$ (کریستین^۱، ۲۰۱۲).

¹ Kuritsyn, V. A.,

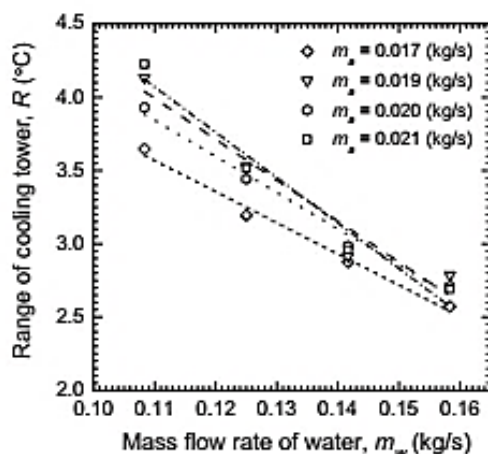


شکل (۳-۲) توزیع دمای گاز و قطره در ارتفاع برج $(u_g=3 \text{ m/s}, T_{s0} = -3 \text{ C}, u_{d0} = 6 \text{ m/s}, d_0 = 0.8 \text{ mm}, T_{g0} = 5 \text{ C}, y_0 = 0.0052 \text{ kg/kg}, Q_s = 0.6 \text{ kg/s}, G_y \frac{1}{4} 1.08 \text{ kg/s})$ (کریستین^۱، ۲۰۱۲).

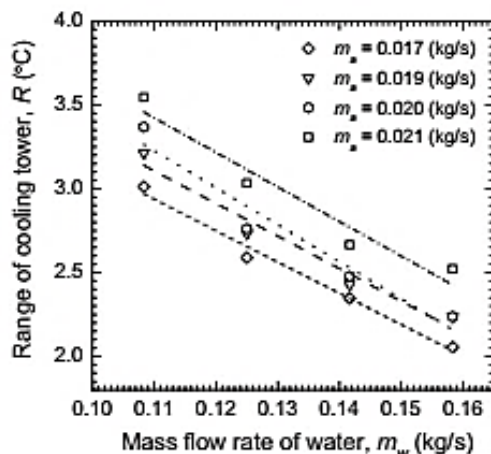
شکل (۳-۲) محاسبات توزیع دمای گاز و ارتفاع قطرات را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، درجه حرارت قطره با افزایش (Z) افزایش می‌یابد، از طرفی دمای گاز نیز کاهش می‌یابد (کریستین، ۲۰۱۲).

یک سیستم استاندارد برای گردش آب خنک کننده شامل یک بخش پمپاژ و یک گروه پیش بین برج‌های خنک کننده که در آن تبادل حرارتی بین آب و هوا صورت می‌گیرد. میزان کلی جریان آب در گردش از گروه برج به دریافت کننده ها ثابت نگه داشته شود.

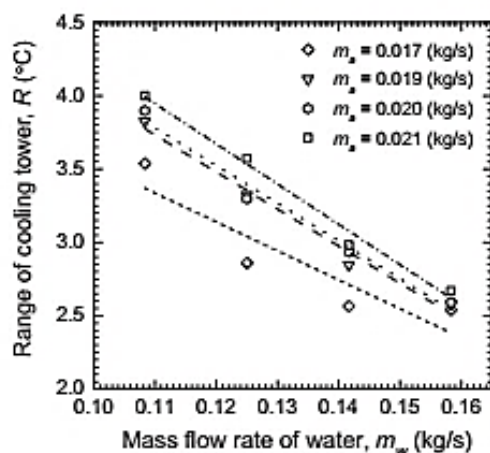
¹ Kuritsyn, V. A.,



(a)



(b)



(c)

محدوده دمایی برج خنک کننده $R(^{\circ}\text{C})$

مقدار جریان هوا در آب $m_w (\text{kg/s})$

شکل (۲-۴) مقایسه وسیعی در برابر تنوع در نرخ جریان توده ای از آب و هوا برای پر شدن های مختلف

(a) مش سیم (b) لانه زنبوری و (c) چلپ چلپ های چوبی (بیچلر و جانک^۱، ۱۹۸۱).

در شکل (۲-۴) تنوع طیف وسیعی از برج کننده را نشان می دهد. R برای پر شدن های

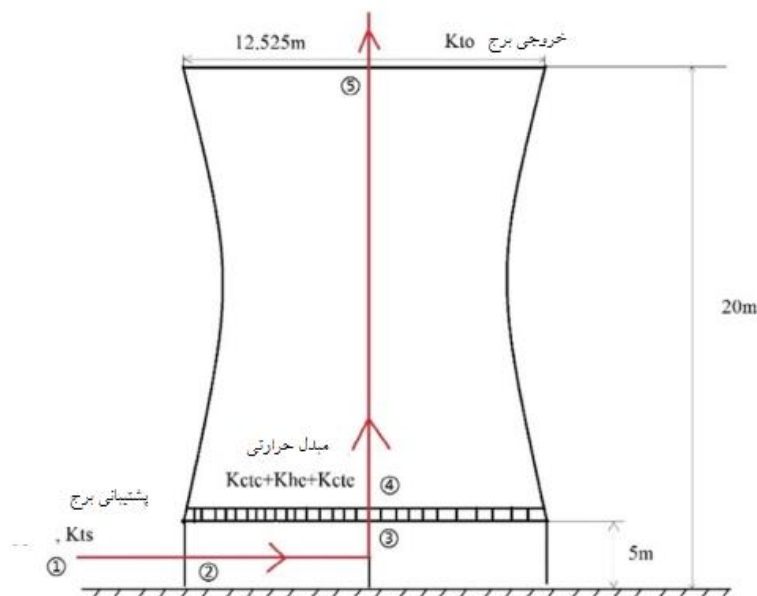
مختلف در برابر تغییر در میزان دبی جرمی آب، m_w دبی جرمی هوا. با توجه به این شکل محدوده

R_a معکوس متناسب به m_w و به طور مستقیم متناسب است به m_a (بیچلر و جانک، ۱۹۸۱).

¹ Beachler, D. S., & Jahnke, J. A.

دمای ورودی بالاتر را می‌توان تا زمانی که رویکرد ΔT_{\min} قابل قبول باشد، مناسب دانست. اگر دمای خروجی از آب خنک کننده از یک مبدل حرارتی که دارای ΔT_{\min} کمتر از دمای فرآیند در هر مبدل حرارتی باشد، می‌تواند مجدداً مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین با استفاده از مخلوطی از دو یا چند خنک کننده می‌تواند به این فرآیند کمک کند. (بیچلر و جانک، ۱۹۸۱).

در شکل ۵-۲ برج خنک کننده طراحی شده به شکل هذلولی، با ارتفاع ۲۰ متر و قطر پایه ۱۲ متر را نشان می‌دهد. این مبدل دارای ۱۸ دسته مبدل حرارتی به صورت افقی در بالاتر از سطح مقطع ورودی برج قرار دارد (لواسانی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل (۵-۲) پیکربندی برج خنک کننده GATTON (لواسانی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

^۱ Lavasani, A.etal

در پژوهش وانگ و همکارانش یک رویکرد سنسور تطبیقی داده محور به منظور بررسی عملکرد و بهره‌برداری بهینه از برج خنک کننده برای حفاظت از انرژی شده است.

در پژوهش ایشان فرآیند برج خنک کننده توسط حسگر نرم انطباقی با جریان بند غیر منفی (NNG)، روش انتخاب متغیر مشخص می‌شود. بر اساس نتیجه آمار NNG انتخاب متغیر، اثر درجه حرارت محیط و رطوبت در ظرفیت خنک کننده‌های تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (PCA) مورد بررسی قرار گرفت (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). شکل ۲-۵ یک برج خنک کننده جریان متقابل را نشان می‌دهد. برای محاسبه تعادل انرژی بین هوا و آب در یک خنک کننده تجربی، فرض کنید که برج خنک کننده کاملاً عایق شده و استفاده از اصل حفاظت از انرژی، میزان حرارت تبادل شده در جریان گردش آب، به حرارت جذب شده توسط هوا برابر است با:

$$Q_a = Q_w \quad (5-2)$$

$$Q_w = Q_{cv} + Q_{ev} \quad (6-2)$$

$$(L_1 T_{w1} - L_2 T_{w2}) C_{pw} = G (H_1 - H_2) \quad (7-2)$$

که در نهایت:

$$L_2 = L_1 - M_{ev} \quad (8-2)$$

¹ Lavasani, A.etal

برای برج های خنک کننده با آب سرد، از دست دادن فشار هوا، قدرت اسپری آب کاهش می یابد. اما با این حال بایستی فشار آب سرد بایستی در نظر گرفته شود. در رابطه با فشار هوا در پیش بین های برج، روابط زیر ارائه شده است: (لواسانی و همکاران، ۲۰۱۴).

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \left(\frac{A_0}{A_1}\right) \quad (9-2)$$

$$\xi_1 = (1 - 3.47\alpha + 3.65\alpha^2)(85 + 2.51\xi_3 - 0.206\xi_3^2 - 0.00962\xi_3^3) \quad (10-2)$$

$$\xi_2 = 6.72 + 0.654D + 3.5q + 1.43v_f - 60.61\alpha - 0.036v_f D \quad (11-2)$$

$$\xi_3 = \xi_f + \xi_e + \xi_w \quad (12-2)$$

وانگ و همکاران یک راه حل بهینه سازی شده برای بار برج خنک کننده با استفاده از روش پیمایش نقطه‌ای ایستایی ارائه دادند و نتایج را مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند. نتایج ایشان نشان می‌دهد که روش پیمایش نقطه رکود می‌تواند برای راه حل بهینه از فرمول شاخص استفاده شود (وانگ و همکاران^۱، ۲۰۰۷).

¹ Wang, J. G., et al.

جین^۱ و همکاران در پژوهش خود یک مدل برج خنک کننده مکانیکی ساده در عین حال دقیق برای حفاظت و مدیریت انرژی پیشنهاد می‌کند. بر اساس نظریه مرکب و روش مدل NTU، با تعادل انرژی و گرما، تجزیه و تحلیل انتقال جرم توسعه یافته است. مدل‌سازی ایشان بر اساس سه پارامتر مهم روش لونبرگ می‌باشد. این مدل می‌تواند به سادگی مورد استفاده قرار گیرد و با دقت پیش‌بین و عملکرد واقعی‌تر را ارائه می‌دهد.

صیادی و همکاران در پژوهش خود به بهینه سازی چند هدفه بخار برج خنک کننده به کمک سیستم تبرید فشرده سازی پرداختند. دو تابع هدف از جمله نابودی کامل اکسرژی از سیستم (به عنوان یک معیار ترمودینامیکی) و هزینه کل محصول از سیستم (به عنوان یک معیار اقتصادی)، به طور همزمان در نظر گرفته شده است. مدل ترمودینامیکی در پژوهش ایشان بر اساس انرژی اکسرژی تجزیه و تحلیل و یک مدل اقتصادی با توجه به روش در آمد کل مورد نیاز (TRR) توسعه یافته است (فردریچ^۲، ۱۹۹۹).

¹Jin

² Frederic E. R.,

۳- فصل سوم: معرفی شرکت سیمان خاکستری ساوه

۳-۱ شرکت سیمان خاکستری ساوه

این کارخانه عظیم و پیشرفته با سرمایه گذاری حدود ۲۴۰۰ میلیارد ریال از بسیاری جهات در سطح خاورمیانه و ایران منحصر به فرد می باشد. شماری از این خصوصیات عبارتند از:

- ظرفیت تولید ۷۲۰۰ تن کلینکر از دو کوره در روز معادل ۲,۵ میلیون تن در سال

- این کارخانه قادر به تولید سیمان در انواع تیپ ها و همچنین سیمان های پوزولانی میباشد.

- مدرن ترین و پیشرفته ترین صاحب تکنولوژی و تجهیزات سیمان در دنیا شرکت

FLSMIDTH دانمارک است، که طراح و سازنده شرکت سیمان خاکستری ساوه می باشد.

- تجهیزات مدرن الکتروفیلتر و سامانه غبار گیری برای به حد اقل رساندن گرد و غبار خط

تولید جهت حفظ و رعایت اصول زیست محیطی

- سیستم بارگیر خانه مدرن با تکنولوژی H&B آلمان با ۳ دستگاه پاکت زنی هر کدام به

ظرفیت ۱۲۰ تن در ساعت که در مجموع می تواند ۷۲۰۰ پاکت در ساعت بسته بندی نماید.

- با نصب تجهیزات لازم در زیر سیلو های سیمان امکان بارگیری به صورت همزمان برای ۸

بونکر حمل سیمان فراهم آمده است.

- مواد معدنی مورد نیاز برای تولید سیمان در این شرکت عبارتند از آهک و مارل (خاک رس) که از معادن شرکت در نزدیکی محل کارخانه استخراج و حمل می گردد. مقداری هم گچ، سیلیس، سنگ آهن و سنگ کائولن نیز در مراحل مختلف تولید استفاده می گردد.

- ساختمان کنترل مرکزی یکی از کلیدی ترین بخش های کارخانه می باشد. در این ساختمان واحد کنترل خطوط تولید آزمایشگاه شیمی و فیزیک و... می باشد.

- یکی از منحصر به فردترین تجهیزات کارخانه، دستگاه Online analyzer است که مواد خام را به صورت پیوسته آنالیز می کند.



شکل (۳-۱) شرکت سیمان خاکستری ساوه

۳-۲ سیمان

کلمه سیمان Cement یعنی چسب و منظور از سیمان در مصالح ساختمانی چسبی است که در اثر ترکیب با آب قادر به چسباندن ذرات شن و ماسه (سنگدانه) است و پس از سفت و سخت شدن، در آب حل نمی شود. به همین خاطر به این نوع سیمان، سیمان هیدرولیک گفته می شود و

اساساً از اکسید کلسیم تشکیل شده است این اکسید با اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیوم و آهن ترکیب می‌شود و ترکیبات مینرالی یا فازهائی با خاصیت سیمانی را بوجود می‌آورد.

کلمه پرتلند Portland که بدنبال نام سیمان مصرفی در کارهای ساختمانی بکار می‌رود، نام محلی است در جنوب انگلستان، علت این نامگذاری اینست که در سال ۱۸۲۴ یک نفر بنای انگلیسی بنام اسپدین موفق به پختن مخلوطی از سنگ آهک و خاک رس شد که بتن حاصل از آن ضمن داشتن خواص جالب، دارای رنگی شبیه به سنگ آهک‌های جزیره پرتلند بود. از اینرو این بنا با همین نام فراورده خود را به ثبت رسانید. مواد اولیه سیمان پرتلند اصولاً مشتکل از سنگ آهک (Lime stone) یا برخی مواد حاوی آهک نظیر مارل (Marl)، الوویم (Alluvium)، سنگ نرم (chalk)، شل‌ها (shells)، همچنین خاک رس (Clay)، شیل (Shale) و یا دیگر مواد رسی (Argillaceous) نظیر خاکسترها و روباره می‌باشند. ترکیب مواد اولیه و نسبت اختلاط آنها با هم باید آنچنان باشد که ترکیباتی نظیر اکسید کلسیم، سیلیس، آلومین و اکسید آهن در محدوده معینی باشند و سایر اجزای تشکیل دهنده نظیر اکسید منیزیم و قلیائی از مقادیر معینی کمتر باشند، وجود این محدودیت‌ها باعث می‌شود علاوه بر استفاده از مواد اولیه اصلی، ضرورتاً از برخی مواد تصحیح کننده نظیر سنگ آهک خالص، ماسه سنگ و یا سنگ آهن نیز استفاده شود.

در ابتدا مواد اولیه از معادن مربوط استخراج می‌گردند و سپس با توجه به موقعیت معادن بطرق مختلف راهی کارخانه شده و در سنگ شکن‌های مناسب خرد می‌شوند، مواد خرد شده در سالن اختلاط انباشته و مخلوط می‌گردند، مواد مخلوط شده در سالن راهی آسیاب مواد شده و در

این قسمت ضمن خشک شدن پودر هم می‌شوند. بعد از آسیاب شدن در سیلوهای بتنی (سیلوهای مواد) که نقش همگن سازی و ذخیره سازی مواد پودر شده را دارند انبار می‌شوند. در تمام این مراحل آزمایشگاه کنترل کیفی نظارت مستمر دارد و نمونه برداری های لازم را انجام می‌دهد. در نتیجه آنچه که در سیلوهای مواد ذخیره می‌شود آماده تغذیه به کوره است (خوراک کوره).

سیستم پخت متشکل از یک سری سیکلون (پیش گرمکن) ، دستگاه تبدیل سنگ آهک به آهک (کلساینر)، یک استوانه دوار (کوره) و دستگاه بازیابی حرارت (خنک کن) از محصول خروجی کوره یعنی کلینکر^۱ است. خوراک کوره از بالای سیکلون‌ها وارد سیستم پخت شده و از طرف دیگر شعله و گازهای داغ جاری در کوره بسوی پیش گرمکن مکیده می‌شود. در نهایت خوراک کوره پخت شده بصورت دانه‌های تیره رنگ کلینکر از سیستم پخت خارج می‌شود.

کلینکر خارج شده از سیستم پخت راهی انبار کلینکر شده و سپس به آسیاب سیمان فرستاده می‌شود. در این قسمت همراه با حدود ۴ درصد سنگ گچ پودر می‌شود و بصورت سیمان در می‌آید که پس از ذخیره در سیلوهای سیمان در بارگیرخانه بصورت فله یا کیسه بارگیری و از کارخانه خارج می‌شود. اگر در مرحله آسیاب کردن کلینکر، علاوه بر کلینکر و سنگ گچ حدود ۱۰ تا ۴۰ درصد از ماده دیگر هم اضافه شود، سیمان حاصله موسوم به سیمان مخلوط (Blended Cement) است. این مواد ترکیباتی طبیعی یا مصنوعی هستند که در حضور یک ماده فعال کننده

¹ Clinker

خاصیت سیمانی خواهند داشت. از جمله این مواد می توان روباره، پوزولان، خاکستر ذغال سنگ و امثالهم را نام برد. اینگونه مواد موسوم به مواد افزاینده (Additive) هستند.

۳-۲-۱ روش های تولید سیمان

اصولاً چهار روش برای تولید سیمان وجود دارد:

۱- روش تر

۲- روش نیمه تر

۳- روش نیمه خشک

۴- روش خشک

در روش تر و نیمه تر خاک رس مصرفی در دستگاه دوغاب ساز (Mill Wash) ، تبدیل به دوغاب می گردد. سپس دوغاب خاک رس به همراه سنگ آهک در آسیاب مواد خام مخلوط و نرم گشته و تبدیل به دوغاب با غلظت بیشتری می شود. پس از تنظیمات لازم توسط آزمایشگاه، بعنوان خوراک کوره مورد مصرف قرار می گیرد. در روش نیمه تر، مواد خروجی از آسیاب مواد بصورت دوغاب است و قبل از ورود به کوره بوسیله فیلترپرس آب آن گرفته می شود و بصورت کیک یا حبه به کوره تغذیه می گردد. در روش نیمه خشک مواد اولیه بصورت خشک با یکدیگر مخلوط و به آسیاب مواد خام تغذیه می گردند. مواد خروجی از آسیاب مواد بصورت پودر است. قبل از تغذیه

این پودر به کوره، در دستگاه حبه ساز که در واقع نوعی بشقاب شیب دار و گردان است، حدود ۱۲ درصد آب روی آن پاشیده می شود و مواد بصورت حبه در می آید. حبه ها بعنوان خوراک کوره به کوره تغذیه می شود. در روش خشک مواد اولیه خشک وارد آسیاب می شود، پودر خروجی از آسیاب مواد که از لحاظ آنالیز دقیقاً مشابه خوراک کوره است، بعنوان خوراک کوره مصرف می گردد.

۳-۲-۲ مواد اولیه سیمان پرتلند

مواد اولیه سیمان پرتلند اساساً شامل مواد آهکی و رسی است. بدین معنی که در تهیه سیمان پرتلند از مواد خاص استفاده می شود که حاوی کربنات کلسیم و ترکیبات آلومینوسیلیکات ها باشند. سنگ آهک (کربنات کلسیم) قسمت عمده مواد خام سیمان را تشکیل می دهد. پس از سنگ آهک، خاک رس (خاک معمولی)، دومین جسم تشکیل دهنده مواد خام سیمان است که تامین کننده آلومین، سیلیس و دیگر اکسیدهای مورد نیاز در ترکیب سیمان می باشد این دو مواد را آنچنان با یکدیگر مخلوط می نمایند که درصد کربنات کلسیم در مخلوط حاصله در فاصله ۷۶-۷۸ درصد باشد. در مواردی زیادی عمل مخلوط کردن این دو ماده بوسیله طبیعت انجام شده است و حتی مواردی وجود دارد که نسبت مخلوط دقیقاً معادل نسبت مطلوب می باشد. مخلوط طبیعی سنگ آهک و خاک رس را مارل (Marl) می نامند. در برخی کشورهای صنعتی، بجای یکی از این دو ماده از ضایعات صنعتی سایر صنایع نیز استفاده می شود.

در تهیه انواع مختلف سیمان، نیاز به استفاده از مواد معدنی دیگر نظیر سنگ آهن، سیلیس و بوکسیت نیز وجود دارد که مقدار آنها جزئی و در حد چند درصد است. منظور از اضافه کردن آنها رسیدن به ترکیب مطلوب مینرال‌های موجود در کلینکر و در نتیجه خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز در سیمان می‌باشد. پس از پختن کلینکر، در حدود ۴ درصد سنگ گچ نیز بعنوان متعادل‌کننده گیرش، در موقع آسیاب کردن کلینکر در آسیاب سیمان، مصرف می‌گردد.

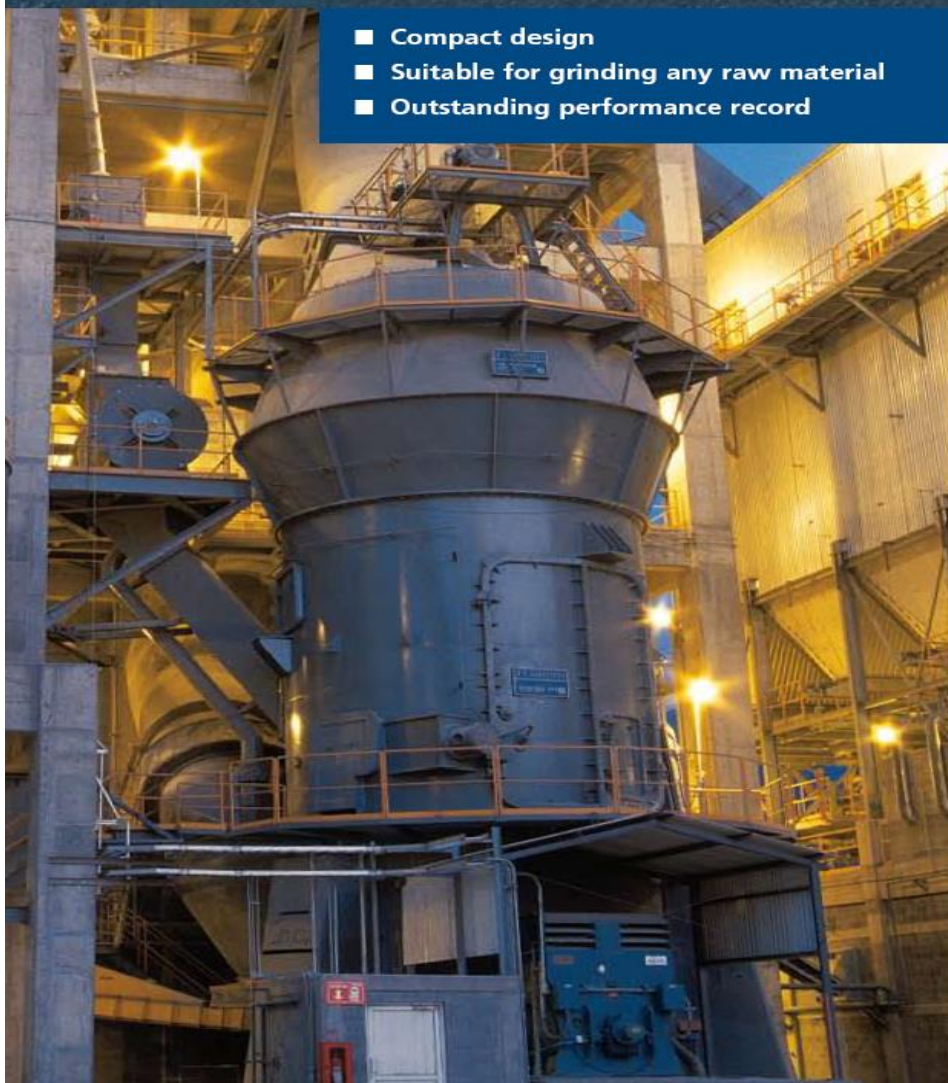
برای انبار کردن مواد اولیه خیلی نامتناجس و همچنین برای دستیابی به مواد اولیه یکنواخت به هنگام برداشت لازم است که مواد اولیه با تعداد لایه‌های بیشتری انباشته شوند. معمولاً در روش شورون و ویندور به کار می‌رود.



شکل (۲-۳) سالن خاک (دستگاه ریکلاپمر و استاکر)

ATOX Raw Mill

- Compact design
- Suitable for grinding any raw material
- Outstanding performance record



شکل (۳-۳) آسیاب مواد ATOX

آسیاب خام آسیاب

طراحی فشرده

مناسب برای سنگ زنی مواد اولیه

۳-۳ آسیاب مواد Atox

طراحی فشرده مناسب برای آسیاب هر نوع مواد خام ثبت کارایی‌های برجسته آسیاب‌های غلطکی عمودی به دلیل دارا بودن سطح کارایی بسیار خوب، در بسیاری از موارد مورد قبول واقع می‌شوند. در واقع در آماده کردن خوراک کوره برای تولید کلینکر مورد نیاز سیمان، آنها توانایی تهیه خوراک کوره در محدوده وسیعی از بلین‌های مورد نیاز در پروسس راندمان انرژی را دارا می‌باشند.

اگر چه مواد خام سیمان دارای فاکتورهای بسیار متنوع از قبیل ، توانایی خردایش، خشک شوندگی مورد نیاز و سایش می‌باشد اما آسیاب غلطکی برای تطبیق دادن این اختلافات و پراکندگی‌ها، به خوبی ویژگی‌های مورد نیاز دیگر، دارای حالت انعطاف‌پذیری است، شرکت F.L.S توسعه ساخت آسیاب مواد غلطکی را حدود سال ۱۹۸۰ آغاز کرد. بهبود مستمر آسیاب مواد اتوکس، سرانجام به صورت ترکیب فشرده امروزی درآمد که یک طراحی بی نظیر به مفهوم در برگیرنده تعدادی از مزیت‌های است که بالا بردن ضریب اطمینان و سطح کارایی آسیاب مواد خام Atox کمک می‌کند.

۳-۳-۱ اصول کلی کار

آسیاب مواد آتوکس برای خرد کردن مواد خام، از فشار و ایجاد ترک در موادی که بین غلطک‌ها و سینی در حال چرخش قرار دارند، استفاده می‌کند، مواد خام از طریق داکت شیب‌دار ورودی به آسیاب (ناودان ورودی به آسیاب) به طور مستقیم بر روی سینی سایش سقوط می‌کند. چرخش سینی سایش، مواد را به سرعت به جلو می‌برد و برای آسیاب شدن، آنها را به زیر غلطک‌ها منتقل می‌کند. مقداری از مواد هم به طرف دیگر دم رینگ منتقل می‌شوند و سینی سایش را حاطه می‌کنند و به سمت سیلان گاز داغی که از سوی نازل رینگ وارد می‌شود، هجوم می‌آورند.

رطوبت مواد همواره زود بخار می‌شود در حالی که قسمت نرم شده مواد بوسیله بخار گاز به سپراتور منتقل می‌شود و قسمت زمخت و زیر بی‌درنگ به پشت سینی سایش می‌ریزد. زمانی که مواد، آسیاب را ترک می‌کنند، سپراتور این فرصت را به آنها می‌دهد که به بلین‌های مورد نیاز برسند، در حالی که مواد دانه درشت را برای آسیاب شدن مجدد، برگشت می‌دهد و به پشت سینی سایش می‌ریزد. بخشی از مواد دانه درشت و زمختی که به طرف دیگر دم رینگ فرو می‌ریزند، ممکن است به وسط نازل رینگ سقوط کنند و به وسیله سیستم برگرداننده مکانیکی (تجهیزات برگشتی آسیاب مواد) برای استفاده دوباره به عنوان خوراک به عقب منتقل شوند.

۳-۳-۲ توانایی انطباق

آسیاب مواد ATOX برای آسیاب کردن عمودی همه نوع مواد خام، مناسب به نظر می‌رسد، در مورد قابلیت‌های این آسیاب می‌تان به موارد زیر اشاره نمود:

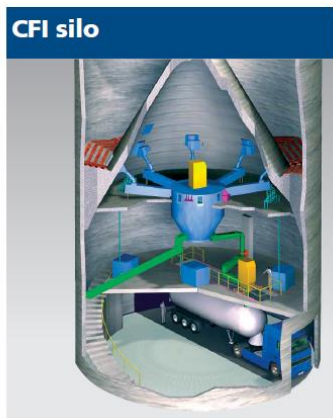
- توانایی آسیاب‌کنندگی متفاوت از بسیار آسان گرفته تا بسیار سخت که از کمترین میزان کلیوات مصرفی برای راه‌اندازی موتور آسیاب تا بیشترین مقدار آن یعنی از 3 kwh/t تا 11 kwh/t امکان پذیر می‌باشد.

- رطوبت خوراک ورودی به آسیاب از بسیار کمتر از ۱٪ تا بسیار بیشتر از ۲۰٪ میسر است.

- تفاوت زیاد مواد ورودی به آسیاب از مواد غیر قابل سایش گرفته تا مواد بسیار سایا.

- تنوع خوراک ورودی به آسیاب از این جهت که در پاره‌ای از مواد بسیار چسبنده و در پاره‌ای موارد اصلاً چسبنده نیست.

جهت اطلاع باید گفت، مواد خام به دلایلی به آسانی آسیاب می‌شوند. این دلایل عبارتند از: یا اندازه و سائز آسیاب شرایط ویژه‌ای دارد و دارای حجم بالایی است، یا این که درصد رطوبت مواد بالا است که در این حالت ممکن است افزایش جریان هوای داخل آسیاب ضرورت یابد. درچنین شرایطی آسیاب مواد آتوکس برای آماده نمودن خوراک مورد نیاز کوره با بزرگتر کردن اندازه نازل رینگ و سپراتور، همه مسایل و شرایط را بر هم منطبق می‌نماید.



شکل (۳-۴) سیلوی مواد خام

در هر کارخانه چند سیلوی تنظیم و ذخیره مواد خام وجود دارد که انواع و طرح‌های متفاوتی دارند. مواد خام از بالا وارد سیلو می‌شود و پس از تنظیمات لازم، از پائین سیلو تخلیه و به کوره تغذیه می‌گردد. ظرفیت سیلوها معمولاً معادل ۵ روز مصرف کوره می‌باشد.

پس از هر دوره تعمیرات اساسی در سیستم پخت که آسیاب مواد نیز متوقف شده و تعمیرات دوره‌ای روی آن انجام می‌گردد، قبل از راه اندازی بهتر است بار درون سیلو در مسیرهای انتقال به سمت خوراک کوره به صورت چرخه‌ای انتقال یابد تا با این سیر کوله مواد هم از سلامت مسیرهای انتقال مطمئن شویم و هم بار درون سیلو گرم شده و عمل هموژنیزاسیون بهتری روی آنها صورت پذیرد.

مواد خام سیمان، متشکل از کربنات‌ها و سیلیکات‌ها است. می‌بایستی این مواد پخته شوند و بصورت اکسیدهای عناصر تشکیل دهنده مواد خام و همچنین فازهای (مینرال‌های) متشکل از این اکسیدها، درآیند. برای این منظور، عمل پختن و تشکیل فازها در چهار قسمت صورت می‌گیرد: ۱- پیش گرم کن Preheater ۲- کلساینر Calciner ۳- کوره Kiln ۴- خنک کن Cooler



شکل (۳-۵) پخت (پیش گرمکن کوره و کولر)

وظیفه پیش گرم کن گرفتن رطوبت سطحی باقیمانده در مواد خام، تبخیر آب تبلور، تجزیه مقدماتی سیلیکات‌ها و همچنین کلسینه کردن (تبدیل به آهک کردن) بخشی از کربنات‌های موجود در مواد خام می‌باشد. پیش گرم کن‌های سیکلونی معمولاً متشکل از پنج طبقه سیکلون هستند که مواد خام از طبقه یکی به آخر وارد آنها می‌گردد. از پایین‌ترین قسمت پیش گرم کن، گازهای گرم

خروجی از کوره وارد کلساینر می‌شود. طرح سیکلون‌ها و نحوه جریان گاز و پودر مواد طوریست که ایجاد محیط گردباری و شناور می‌شود. به دلیل ایجاد این محیط شدت تبادل حرارت بین گاز و مواد صورت می‌گیرد. پایین سیکلون‌ها قیفی شکل است و باعث جدا شدن ذرات جامد داغ شده از فاز گازی می‌شوند.

در پائین‌ترین قسمت پیشگرم‌کن، محفظه‌ای بنام دستگاه تکلیس یا کلساینر، قرار داده شده است. این محفظه که مجهز به یک یا چند مشعل است. باعث می‌گردد درصد بیشتری CO_2 از کربنات‌ها آزاد شود. در نتیجه، مواد پخته‌تر وارد کوره می‌شود و بار حرارتی کوره کاهش می‌یابد. مخلوط گاز و مواد خروجی از کلساینر وارد پائین‌ترین سیکلون می‌شود. گازهای خروجی از این سیکلون به سیکلون قبل هدایت می‌شود و مواد تکلیس شده خروجی از آن به کانال متصل به کوره موسوم به (Riser Pipe) وارد واز آنجا داخل کوره می‌شود. سیکلون‌ها بوسیله کانال‌هایی به یکدیگر وصل شده‌اند هر سیکلون همراه با کانال انتقال گاز را یک مرحله می‌گویند و از بالا به پایین دارای شماره یک تا چهار می‌باشند.

انتهای قیف سیکلون‌ها متصل به لوله انتقال مواد است که از هر سیکلون به کانال گاز سیکلون زیر متصل شده است. لوله مواد مربوط به سیکلون چهارم به ورودی کوره وارد می‌شود.

رمز اصلی وجود سیکلون‌ها، ایجاد محیط گردباری جهت انتقال سریع حرارت بین گاز و جامد است که نهایتاً پس از تبادل حرارت بدلیل فرم قیفی شکل ته سیکلون مواد جامد از گاز جدا شده و از ته سیکلون خارج می‌شود. گاز جدا شده از مواد، از بالای سیکلون خارج می‌گردد.

در مورد گرم شدن و جدا شدن ذرات مواد از فاز گازی و موارد زیر قابل ذکر است:

۱- هر چقدر اندازه ذرات کوچکتر و ریزتر باشد انتقال حرارت سریعتر صورت می‌گیرد.

۲- جنس ذرات در سرعت گرم شدن آنها موثر است بعنوان مثال در فاصله زمانی ۰/۱ ثانیه

یک ذره سنگ آهک بقطر ۰/۱ میلیمتر تا ۵۵۰ درجه سانتی گراد گرم می‌شود. و در همین فاصله

زمانی یک ذره سنگ سیلیس بقطر ۰/۱ میلیمتر تا ۶۵۰ سانتی گراد گرم می‌شود.

۳- با توجه به اینکه سرعت جدا شدن ذره از گاز متناسب با مجذور قطر آن می‌باشد میتوان

نتیجه گرفت که ذرات درشت فرصت لازم برای انتقال حرارت کافی را ندارند از اینروست که با

قرار دادن چند سیکلون بدنبال یکدیگر و فراهم آوردن فرصت کافی، نهایتاً مواد خروجی از آخرین

سیکلون تقریباً دارای درجه حرارتی برابر درجه حرارت گاز خروجی از کوره می‌شوند.

نام گذاری سیستم‌های پیش گرم کن مواد براساس موقعیت و شکل و تعداد کلسانی‌های

موجود در آن می‌باشد همانگونه که قبلاً ذکر شد کلسانیر محفظه‌ای برای تکمیل واکنش

کلسیناسیون می‌باشد. شرایط این واکنش دمایی در حدود 920°C می‌باشد. چون حجم هوای

خروجی از کوره و شرایط دمایی آن طوری نیست که تقریباً تمامی خوراک کوره را کلسینه نماید

پس از این محفظه (راکتور) با تعبیه ۳ مشعل استفاده کرده و تا ۹۰٪ این واکنش در این محفظه

صورت می‌پذیرد.

سوالی که اینجا مطرح می‌شود این است که اکسیژن مورد نیاز برای احتراق این ۳ مشعل از کجا تأمین می‌گردد؟ قبل از پاسخ دادن به این سوال ذکر این نکته ضروری است که بیش از ۶۰٪ سوخت مصرفی در کلساینر و تنها ۴۰ درصد سوخت مصرفی در کوره مصرف می‌گردد.

همچنین گازهایی که از کوره خارج می‌گردند به دلیل اینکه در ابتدای کوره مشعل وجود دارد و شعله حاصله تقریباً اکسیژن را مصرف کرده است عاری از اکسیژن شده است همین گازها از کلساینر عبور کرده و از سیستم پیش گرم کن عبور می‌نمایند

حال برای روشن تر شدن مسئله به این نکته اشاره می‌کنیم که هوای مصرفی برای احتراق گرم کردن مواد در سیستم پخت سیمان از ۳ قسمت تأمین می‌گردد و با توجه به شرایط پخت ۳ نام متفاوت می‌گیرد:

۱- هوای اولیه (Primary Air): حجم این هوا کم بوده و فقط برای مشتعل شدن اولیه شعله مورد نیاز است. ضمناً تمام اکسیژن مورد نیاز برای احتراق کامل و به اضافه حجم هوای اضافی نمی‌تواند از این حجم هوا تأمین گردد. دلیل استفاده از این هوا راه اندازی اولیه مشعل و همچنین خنک کردن لوله مشعل است. چون مشعل به شکل یک لوله وارد هود کوره و خود کوره می‌شود و تحت تنش‌های حرارتی بالا قرار می‌گیرد در ابتدا دور لوله مشعل توسط بتن نسوز، نسوز کاری می‌گردد. ولی برای جلوگیری از داغ شدن و تغییر فرم لوله مشعل با عبور دادن هوا از جداره داخلی مشعل هم جداره مشعل خنک می‌شود و هم اکسیژن مورد نیاز برای راه اندازی اولیه مشعل تأمین می‌گردد.

۲- هوای ثانویه (Secondary Air) : کلینکر داغ خروجی از کوره وارد کولر مشبک از نوع SF میگردد. همانطور که قبلاً ذکر شد کلینکر باید سریع خنک گردد. برای خنک کردن کلینکر داغ از دمیدن هوای خنک به کلینکر، درون کولر استفاده می‌کنیم. هوای محیط که خنک می‌باشد کلینکر داغ با دمای 1100°C را به کلینکر خنک با دمای 100°C تبدیل می‌گردد. برای ذخیره انرژی از این هوای داغ که مملو از اکسیژن است جهت تأمین اکسیژن مورد نیاز مشعل استفاده می‌کنیم پس این هوای داغ از هود کوره (درب کوره) وارد کوره شد و مابقی اکسیژن مورد نیاز اشتعال شعله را تأمین می‌کند. این هوا در صنعت سیمان به هوای ثانویه مشهور است.

۳- هوای ثالثیه (Tertiary Air) همانگونه که مطرح شد هوای خروجی از کوره و ورودی به کلسانیز عاری از اکسیژن است و همچنین برای احتراق نیاز به اکسیژن در کلسانیز داریم پس از درب کوره یک مسیر جدا کرده و مقداری از هوای گرمی که از کولر خارج می‌گردد را که مملو از اکسیژن است وارد کلسانیز می‌کنیم. به این هوا، هوای ثالثیه گفته می‌شود. مسیر این هوا به مسیر Tertiary Air duet مشهور است.

حال که مفهوم احتراق در سیستم پخت را به خوبی درک کردیم نوبت به تفهیم سیستم پیش گرم کن و انواع آن می‌رسد.

۳-۳-۳ انواع سیستم پیش گرم کن

SP : suspension Preheater Kiln (۱)

ILC-E: In- line calciner using Excess Air (۲)

ILCTM : In- line calciner (۳)

SLC-D : Separate – line calciner – Downdraft (۴)

SLC : Separate – line calciner (۵)

SLC- ITM : Separate – line calciner with In- line calciner (۶)

سیستم پیش گرم کن شرکت از نوع ILCTM می باشد. محل کلسانیز در امتداد کوره قرار گرفته

است محل کلسانیز و مسیر هوای ثالثیه در شکل به خوبی مشخص است.

ضمناً مقدار هوایی که برای خنک کردن کلینکر مورد نیاز است بیشتر از مقدار هوای لازم

(اکسیژن) برای احتراق در مشعل ها می باشد. پس این مقدار هوای اضافی باید از سیستم خارج

گردد. این هوا از طریق یک داکت از کولر جدا گشته و وارد یک الکتروفیلتر جهت زدودن غبار

می شود و سپس این هوا توسط یک آگروز به محیط بیرون vent می گردد. چون هوا توسط یک فن

به نام فن الکتروفیلتر از سیستم خارج می گردد و نباید دمایی بیشتر از 300c داشته باشد پس در

مسیر این داکت و درون کولر اسپری آب تعبیه شده است که با اسپری آب دمای هوای ورودی به

الکتروفیلتر کنترل گردد.



شکل (۳-۶) کوره-غلtek-سیستم چرخاننده-داکت جریان هوای ثالثیه و کولر شرکت سیمان خاکستری

ساوه

۳-۴ اجزای سیستم پخت

۳-۴-۱ کولینگ تاور

Cooling Tower دو نقش اساسی در سیستم پخت دارد. به عبارتی فلسفه وجودی آن یکی خنک کردن جریان هوای خروجی از preheater و دیگری غبارگیری از این جریان است. دمای خروجی از preheater در حدود 300C بوده و با توجه به نیاز آسیاب مواد، توسط این تجهیز این دما به حدود 200-240C می‌رسد. دمای ورودی به آسیاب مواد، پارامتر مهم در طراحی و قرارگیری Cooling Tower در انتهای سیستم پخت نمی‌باشد. بلکه مهمترین پارامتر در طراحی Cooling Tower، دمای ورودی به الکتروفیلتر می‌باشد.

مهمترین فاکتور در جذب غبار در الکتروفیلترها و راندمان آنها، ضریب مقاومت الکتریکی ذرات (با واحد Ohm-cm) می‌باشد. محدوده بهینه این عدد $10^4 - 10^6 (ohm - cm)$ است. افزایش دما ضریب مقاومت الکتریکی ذرات غبار را افزایش داده و از محدوده مجاز این عدد فراتر می‌رود که این باعث می‌شود راندمان الکتروفیلتر و جذب غبار به شدت کاهش یابد. سپس به همین علت، استفاده از Cooling Tower اجتناب‌ناپذیر می‌شود. سپس یک برج خنک کننده وظیفه کاهش دمای ذرات غبار جهت کاهش ضریب مقاومت الکتریکی ذرات را بر عهده دارد.

در سیستم هیبریدی (الکتروفیلتر) که جهت کاهش آلودگی‌های زیست محیطی در شرکت‌های سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، کنترل پارامتر دما، کلیدی‌ترین پارامتر در راهبری آن می‌باشد. سیستم هیبریدی شامل یک الکتروفیلتر و یک bag house می‌باشد که در امتداد یکدیگر قرار گرفته‌اند. کاهش دمای هوای ورودی به الکتروفیلتر، راندمان الکتروفیلتر را افزایش داده، همچنین از بروز خسارت (سوختگی) به کیسه‌های bag house جلوگیری می‌نماید. برای این کار در سیستم هیبریدی از مدول‌هایی جهت کنترل دمای درون سیستم استفاده می‌شود. این مدول‌ها در اصل نوعی heat exchanger می‌باشند که شبیه رادیاتور سیستم گرمایش خانه عمل می‌کنند. با عبور هوای خنک محیط از داخل این مدول‌ها هوای گرم اطراف آن (داخل سیستم هیبرید) خنک می‌شود.

وظیفه دوم برج خنک کن همانطور که قبلاً اشاره شد، غبارگیری می‌باشد. به دلیل طراحی ساختمان آن سطح مقطع برج خنک کن نسبت به داکت ورودی و خروجی از آن بیشتر می‌باشد. سپس به علت افت فشار و کاهش سرعت ذرات و وجود رطوبتی که توسط سیستم اسپری آب وارد سیستم می‌شود، همچنین به علت وجود تیغه‌های جهت دهنده جریان یک جریان گردابی درون برج خنک کن به وجود می‌آید که نهایتاً ذرات درون برج خنک کن تمایل به ریزش درون قیف زیرین آن را پیدا می‌کنند. همچنین در محل اتصال داکت خروجی از cooling tower به بدنه آن از سمت داخل قطعه‌ای شبیه نقاب کلاه وجود دارد که از خروج و فرار غبار در حال ته نشینی درون برج خنک کن جلوگیری می‌کند. پائین‌تر از داکت قیفی وجود دارد که در مرکز آن

یک screw غبار ته نشین شده که در حدود ۳۵٪ کل غبار عبوری از آن می‌باشد را از cooling tower جدا و خارج می‌کند.



شکل (۷-۳) داخل کوره و نسوزکاری آن

۳-۴-۲ نسوز کاری سیستم پخت سیمان

اعمال خشک کردن، گرم (داغ) کردن و بخشی از عمل تکلیس در قسمت پیش گرمکن (Preheater Zone) که متشکل از یک سری سیکلون حرارتی است صورت می‌گیرد. در انتهای این قسمت از سیستم (قبل از کوره) درجه حرارت مواد به حدود ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در پیش گرمکن‌های دارای پریکلساینر (Precalciner) درصد کلسیناسیون بیش از ۹۰

درصد می‌باشد. درجه حرارت گاز خروجی از بالای پیش گرمکن تا حدود ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تنزل می‌یابد و سپس از طریق برج خنک کن راهی آسیاب مواد یا دودکش می‌شود.

در پیش گرمکن از آجرهای آلومین-سیلیسی (شاموتی) که درصد اکسید آلومینیم آن از بالای پیش گرمکن تا پایین افزایش می‌یابد و در حدود ۲۰-۴۰ درصد اکسید آلومینیم دارد. استفاده می‌شود. برای جلوگیری از اتلاف حرارت دولایه آزیست و یا فیبرهای سرامیکی و آجر پوک در زیر آجرهای این قسمت بعنوان عایق کار گذاشته می‌شود. تکلیس (Calcination) عبارتست از جدا شدن CO_2 از کربنات کلسیم و تبدیل سنگ آهک به آهک، این قسمت از کوره که طول آن حدوداً بین ۲ تا ۳ برابر قطر کوره می‌باشد، از ابتدای ورودی کوره شروع می‌شود.

در این قسمت از کوره از آجرهای آلومین - سیلیسی با ۵۰-۴۰ درصد اکسید آلومینیم استفاده می‌شود.



شکل (۸-۳) مشعل کوره و خروجی کوره

بعد از منطقه تکلیس و قبل از پشت منطقه پخت منطقه‌ای وجود دارد بنام منطقه ایمنی (Safety Zone). این منطقه بیشتر برای کوره‌هایی که دارای مکنده‌های قوی هستند و مکش ایجاد شده در داخل کوره بالا می‌باشد، در نظر گرفته می‌شود. علت این نامگذاری اینست که آجری انتخاب می‌شود که در صورت لزوم بتواند در مقابل شرایط متغیری که گاهی نزدیک به شرایط پشت منطقه پخت است و گاهی نزدیک به شرایط منطقه تکلیس است ایمن و سالم باقی (Safe/Secure) بماند طول این منطقه حدوداً ۲ تا ۳ برابر قطر کوره است. در این قسمت از آجرهای آلومینی دارای حدود ۶۰-۷۰ درصد اکسید آلومینم استفاده می‌گردد. درجه حرارت منطقه ایمنی حدوداً ۱۲۰۰ - ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

عمل پختن در دو منطقه ۱- پشت منطقه پخت ۲- منطقه پخت، صورت می گیرد:

پشت منطقه پخت یا منطقه برزخ (Transtition Zone) منطقه ای است که در آن نوسان درجه حرارت زیاد می باشد. بدلیل شروع پخت و تشکیل فازهای کلینکر در این منطقه انواع فشارهای حرارتی، شیمیائی و مکانیکی روی آجر وجود دارد. مشخصه دیگر این منطقه اینست که اصولاً تشکیل پوشش (Coating) چندان با ثبات و پایدار نمی باشد و طول این قسمت معادل ۳ تا ۴ برابر قطر کوره در نظر گرفته می شود.

بدلیل وجود شرایط فوق و بدلیل تجارب حاصله از کار گذاشتن انواع آجرها در حال حاضر برای نسوزکاری پشت منطقه پخت از آجرهای منیزیت- کرومیت که حدوداً ۷۰-۸۰ درصد اکسید منیزیم و مقدار نسبتاً بالائی کرومیت دارند و آجرهای اسپینلی استفاده می شود.

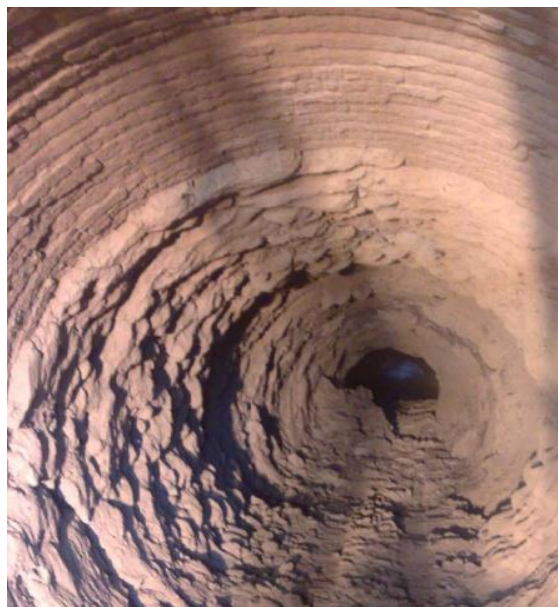
منطقه پخت (Burning Zone) گرمترین منطقه در کوره سیمان می باشد که تماماً در مجاورت شعله قرار دارد، در این منطقه اکسید عناصر موجود در مواد اولیه با یکدیگر ترکیب شده و تشکیل کلینکر می دهند. طول منطقه پخت حدود ۳ تا ۲ برابر قطر کوره و درجه حرارت آن ۱۵۰۰-۱۳۰۰ درجه سانتی گراد می باشد. در این قسمت از آجرهای دولومیتی یا آجرهای منیزیتی و یا آجرهای اسپینلی استفاده می شود.

عموماً آجرهای مورد استفاده در این قسمت حدود ۷۵-۸۵ درصد اکسید منیزیتی دارند و از مقاومت شیمیائی، نسوزندگی و مقاومت مکانیکی فوق العاده ای برخوردار می باشد. این نوع آجرها

در مقایسه با آجر آلومینی دارای هدایت حرارتی بالاتری هستند، در نتیجه در شروع گرم کردن کوره اتلاف حرارت بالا باشد ولی بدلیل میل ترکیبی شدید این نوع آجرها با فاز مایع حاصله در منطقه قشری از کلینکر بنام کوتینگ روی آجر می چسبد. وجود کوتینگ روی آجر منیزیتی عملاً باعث افزایش ضخامت آن و در نتیجه کاهش سرعت سایش انتقال حرارت می گردد. مضافاً اینکه وجود کوتینگ باعث کاهش اثرات منفی مجاورت با شعله، نقصان قدرت نفوذ سیلیکات ها و قلیایی ها در آجر، کاهش شوک حرارتی و تشعشع حرارتی به بیرون کوره می شود.

سرد کردن کلینکر در دو قسمت انجام می شود یک قسمت در داخل کوره و بلافاصله بعد از خروج کلینکر از منطقه پخت (Cooling Zone)، قسمت دیگر در داخل خنک کن.

هدف اصلی از سرد کردن کلینکر بازیابی حرارت موجود در کلینکر می باشد. در ضمن عمل سرد کردن در کوره های سیمان نسبتاً سریع است و بهمین خاطر فرصت بازگشت اثرات مثبتی روی کیفیت سیمان حاصله دارد. بخشی از منطقه پخت که بازگشت اثرات مثبتی روی کیفیت سیمان حاصله دارد. بخشی از منطقه پخت که بلافاصله در پایین شعله قرار دارد موسوم به پایین منطقه پخت یا Tranzition Zone و یا Cooling Zone می باشد.



شکل (۳-۹) کوتینگ منطقه پخت

دلیل جریان کلینکر در این قسمت‌ها و بدلیل جریان مداوم و غیریکنواخت هوای ثانویه این قسمت‌ها همواره در معرض سایش و شوک حرارتی می‌باشند. از اینرو می‌بایستی از آجرهایی جهت این منطقه استفاده می‌شود که مقاومت لازم در مقابل سایش مکانیکی و شوک حرارتی را دار باشند. در سالهای اخیر بدلیل پیش آمدن شرایط یوتکتیک در این بخش از کوره‌های دارای کلسایر، بجای آجر آلومینی از آجرهای اسپینلی استفاده می‌شود.

ناگفته نماند که در کوره‌های جدید کل قسمتی از کوره، که کوتینگ شروع به تشکیل شدن میکند تا لبه کوره را بعنوان منطقه پخت (Burning Zone) در نظر می‌گیرند. وسط این منطقه که بالا ترین درجه حرارت را دارد و بخشی از مواد بصورت مذاب درآمده است را بنام وسط منطقه پخت یا منطقه زیتنر (Zintering Zone) می‌نامند. بخشی بالائی این منطقه موسوم به بالای منطقه پخت (Upper Burning Zone) است. پائین منطقه پخت را که در آن مواد شعله را

پشت سر گذاشته است و عمل سرد شدن دانه‌های کلینکر صورت می‌گیرد به عنوان پایین منطقه پخت یا منطقه خنک کن (Cooling Zone/Lower Tranzition Zone) نامیده می‌شود. طول کل منطقه پخت کوره‌های جدید ۵-۶ برابر قطر کوره است و تمام منطقه پخت را یا با آجر اسپینلی نسور کاری می‌کنند و یا وسط منطقه پخت را آجر منیزیت - کرمیتی می‌چینند و برای بالا و پایین آن از آجر اسپینلی می‌شود.

در خنک کن از آجرهای شاموتی استفاده می‌شود در قسمت‌های از سیستم پخت از سایر مواد نسوز نظیر بتن نسوز نیز استفاده می‌شود.

۳-۵ سیلوهای سیمان

سیلوهای سیمان سیمان برای ذخیره سازی سیمان تولیدی توسط آسیاب سیمان است. معمولاً ظرفیت تولید آسیاب سیمان طوری در نظر گرفته می‌شود که با ۱۸ ساعت کار شبانه روزی جوابگوی تولید کوره می‌باشد. سیستم بارگیری یا فله آنچنان ظرفیتی دارد که معمولاً در روز بارگیری انجام می‌شود. بدلیل فوق و همچنین توقف‌های احتمالی آسیاب سیمان و خنک تر شدن سیمان ضرورت وجود سیلوی سیمان حتمی است.

سیلوهای سیمان بتونی است. که کف آنها بوسیله ایراسلاید مفروش است و متناوباً از طریق این ایراسلاید هوای محیط به داخل سیمان دمیده می‌شود. هدف از دمیدن هوا خنک‌تر کردن

سیمان و پیش گیری از فشرده و کلوخه شدن سیمان در سیلوها می باشد. سیمان توسط ایراسلاید از کف سیلو به سمت بارگیرخانه هدایت می شود.



شکل (۳-۱۰) سیلوی سیمان

با توجه به کمبود آب و نیاز افزایش مصرف آب در صنعت سیمان، در این پایان نامه راهکاری ارائه می گردد برای کاهش مصرف آب در کارخانه سیمان خاکستری ساوه که البته این راهکار موجب افزایش راندمان فیلتراسیون و غبارگیری نیز می شود. طبق اطلاعات موجود، در هرکدام از کولینگ تاورهای این کارخانه در این کارخانه (دو خط تولید و دو کولینگ تاور دارد) در زمانی که آسیاب مواد خام کار نمی کند، در هر ساعت ۲۰ متر مکعب و زمانی که آسیاب کار می کند، در هر ساعت ۱۲ متر مکعب) آب مصرف می شود. علت این اختلاف امر در این است که زمانی که آسیاب کار می کند بخشی از گازهای خروجی از کولر، در مسیر ورودی به کولینگ تاور

جهت خشک کردن رطوبت مواد خام و بالا بردن دمای داخل آسیاب جهت بهبود فرایند خردایش وارد آسیاب می شود و در واقع از حجم نهایی گازهای وارده به داخل کولینگ تاور، کاسته می شود.

فرض را بر این بگذاریم که آسیاب در حین کارکرد کوره اصلاً متوقف نمی شود که چنین فرضی محال است. چون حتماً در طول شیفت ۲۴ ساعته بدلیل رعایت زمان پیک برق و یا پر شدن شیوه های ذخیره مواد خام با توجه به نوع شرایط آسیاب حداقل ۸ الی ۱۰ ساعت بدلیل موارد مذکور یا مشکلات فنی متوقف می شود. حال اگر با توجه به اینکه فرض مذکور را صادق در نظر بگیریم، یعنی اصلاً آسیاب متوقف نشود، مصرف آب در جهت کولینگ تاورهای این کارخانه برابر ۵۷۶ متر مکعب خواهد بود.

هدف این است که راهکاری ارائه شود تا این آب مصرف نشود تا در شرایط بحرانی و کمبود منابع آب، کارخانه متوقف نشود. ایده ای که به نظر می رسد، این است که سیالی برای جایگزینی آب پیدا شود تا هم بتوان بوسیله آن گاز خروجی از پیش گرم کن را خنک کرد و هم بتوان کیفیت فیلتراسیون را افزایش داد.

برای همین منظور اقدامات اساسی ذیل لازم است:

۱- حذف کولینگ تاور

۲- نصیب دمپر فرش ایر بر روی داکت خروجی از پیش گرم کن جهت استفاده و از هوای

محیط برای خنک کردن خانه های خروجی از پیش گرم کن

با توجه به دمای خروجی از پیش گرم‌کن که حدود ۳۰۰ الی ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد می‌توان تا حدودی مقدار این دما را کاهش داده و به دمای ۲۴۰ الی ۲۵۰ درجه رساند اما در این دما راندمان الکتروفیلتر خیلی کم می‌شود و عملیات غبارگیری کاهش می‌یابد. چون راندمان الکتروفیلتر و غبارگیری رابطه مستقیم با دمای ورودی به الکترو فیلتر دارد و هر چه قدر دما کاهش یابد، راندمان الکتروفیلتر افزایش می‌یابد.

بناچار باید به فکر تبدیل الکتروفیلتر به بگ هاوس باشیم:

در این پروژه با توجه به شرایط موجود، دو اتفاق خیلی مهم و مثبت انجام می‌گیرد: (۱) حذف کولینگ‌تاور و قطعات آن و مهم‌تر از همه عدم مصرف آب در کولینگ تاور

(۲) تبدیل الکتروفیلتر به بگ هاوس و افزایش راندمان غبارگیری

- روش کار: روش کار عبارت است از نصب دمپر فرش ایر بر روی داکت خروجی از پری هیتر جهت استفاده کردن از هوای محیط به جای آب برای خنک کردن گازهای خروجی از پیش گرم‌کن و حذف کولینگ تاور و متعلقات آن و تبدیل الکتروفیلتر به بگ هاوس.

- مشکلات موجود:

الف: کولینگ تاور:

همانطور که می‌دانیم وظیفه کولینگ‌تاور، خنک کردن گازهای خروجی از کوره و پیش‌گرم‌کن می‌باشد. این مهم به دو جهت صورت می‌گیرد: (۱) کاهش حجم گازهای خروجی از کوره و پیش-

گرم کن ۲) کاهش دمای گاز ورودی به الکترو فیلتر کولینگ تاور یک برج استوانه‌ای است که در بالای آن تعداد ۱۶ عدد نازل وجود دارد این نازلها توسط پمپاژ دو دستگاه الکترو پمپ که یکی در حال کار و دیگری در حال stand by است تغذیه می‌شود. اگر به هر دلیل ممکن آب ورودی به این پمپها قطع شود، کار خنک کردن، با مشکل مواجه می‌شود. اگر نازلهای کولینگ تاور مشکل داشته باشند و یا خروجی آنها دچار گرفتگی شود، آب به جای اسپری شدن، شره می‌کند و خروجی کولینگ تاور گل می‌شود که این امر موجب گرفتگی می‌شود. اگر زاویه اسپری کردن نازلها مشکل داشته باشد، آب بر روی بدنه کولینگ تاور می‌پاشد و باعث خوردگی بدنه می‌شود. اگر شیرهای برقی و سروو موتوری که بر روی ورودی نازلها برای کنترل دبی تعبیه شده است مشکل داشته باشد عملیات خنک کردن مختل می‌شود. اگر اسکرو (مارپیچ) تعبیه شده در زیر کولینگ تاور مشکل مکانیکی داشته باشد یا بریده شود، خود معضل بزرگی است که باید در کوتاهترین زمان ممکن حل شود. اگر بدنه کولینگ تاور دچار خوردگی شود، الزاما باید کوره متوقف شود تا کار ترمیم و تعمیرات بر روی آن شروع شود. در هر حال اگر کوچکترین مشکلی برای کولینگ تاور، رخ دهد، و موجب اختلال در دمای ورودی به الکترو فیلتر شود عملیات غبارگیری در الکتروفیلتر دچار مشکل خواهد شد.

در این پروژه با حذف کولینگ تاور و استفاده از هوای محیط بجای آب چندین اقدام مثبت صرفا در بخش کولینگ تاور اتفاق می‌افتد:

۱) عدم مصرف روزانه آب به مقدار ۵۷۶ متر مکعب

۲) عدم نیاز به دو دستگاه الکتروپمپ که هرکدام از آنها در حال کار، 100kw در ساعت انرژی الکتریکی استفاده می‌کند.

۳) عدم وجود مشکلات بهره‌برداری مانند، گل کردن کولینگ تاور و یا افزایش دمای خروجی از کولینگ تاور و اختلال در الکتروفیلتر

۴) عدم نیاز به تعمیرات دوره‌ای نازلها، الکتروپمپها، شیر برقی ها و سروو موتورها

۵) عدم نیاز به تعمیرات بدنه بخاطر خوردگی و ایجاد نشتی.

ب: الکتروفیلتر:

دستگاهی است که وظیفه آن غبارگیری و فیلتراسیون غبار خروجی از کوره و پیش‌گرم‌کن می‌باشد.

اجزای تشکیل دهنده، الکترو فیلتر:

۱- دو دستگاه ترانس HV برای اعمال ولتاژ بر روی صفحات کاتد و آنود

۲- صفحات کاتدو آنود در داخل الکترو فیلتر

۳- مارپیچ زیر الکتروفیلتر که وظیفه آن انتقال غبار جذب شده در داخل الکتروفیلتر به مسیر برگشتی مواد می‌باشد.

۴- چکش‌های ضربه‌زن که کار آنها، اعمال ضربه بر روی صفحات کاتد و آند جهت ریزش غبار می‌باشد.

۵- روتاری فیدر انتهای ماریچ

-روش کار الکتروفیلتر: با استارت ترانسها HV ولتاژ بالا به صفحات کاتد و آند اعمال می‌شود و در بین صفحات آند و کاتد، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. هنگامی که گاز حامل غبار وارد این میزان شد، غبار گاز توسط میدان مغناطیسی جذب می‌شود و به روی صفحات کاتد و آند می‌نشیند.

سپس در فواصل زمانی معین چکش‌های ضربه‌زدن به قسمت انتهایی این صفحات ضربه وارد می‌کنند و غبار از روی صفحات جدا شده و به قسمت پایین الکتروفیلتر می‌ریزند ، چند پارامتر باید در شرایط مناسب باشند تا عملکرد الکتروفیلتر ایده‌آل شود.

۱- دمای ورودی به الکتروفیلتر: مهمترین پارامتر محسوب می‌شود و باید در محدوده مناسب باشد . این دما بین ۹۰ تا ۱۱۰ سانتی‌گراد باید باشد.

اگر دمای مذکور از محدوده معین بالاتر رود باعث کاهش میزان مغناطیس و تضعیف غبارگیری می‌شود. بنابراین لازمه این کار این است که در کولینگ تاور به اندازه مناسب و در شرایط مناسب، آب اسپری شود تا دمای ورودی به الکترومغناطیس از محدوده مجاز، بالاتر نرود و راندمان فیلتراسیون کاهش نیابد. اگر دمای مذکور از محدوده معین پایین‌تر رود، در داخل کولینگ-

تاور بخاطر رطوبت گازهای ورودی، سطح صفحات کاتد و آند، کوتینگ ایجاد می شود و صفحات قدرت جذب خود را از دست می دهند یا ممکن است باعث ایجاد نقطه شبنم خوردگی صفحات شود.

۲- میزان گاز Co:

Co : گازی است که از احتراق ناقص بوجود می آید. اگر در داخل الکتروفیلتر میزان Co، از حد مجاز بالاتر رود، با توجه به وجود میدان مغناطیسی و ولتاژ بالا، امکان انفجار بسیار بالاست. وجود Co، نشانه عدم وجود شرایط مناسب پخت به دلایلی مثل، تنظیم نبودن مشعل و شعله، کمبود اکسیژن، کمبود فشار بر روی فن پرایمری که در کنار مشعل قرار دارد و یا کمبود هوای ثانویه که اکسیژن فرایند پخت را تامین می کند.

بدلیل کنترل شرایط و جلوگیری از انفجار، در قسمت پیش گرم کن کوره، دستگاه آنالیز، گاز تعبیه شده است که بصورت مداوم مقدار Co را کنترل می کند و کالیبراسیون آن از دقت بالایی برخوردار است. هرگاه میزان Co از ۰/۶٪ بالاتر رود بصورت اتوماتیک الکتروفیلتر متوقف می شود تا احتمال انفجار از بین برود و هرگاه میزان Co تا ۰/۳٪ نشود، اجازه الکتروفیلتر در برنامه PLC، صادر نخواهد شد. میزان Co پارامتر مهمی است در عملکرد الکتروفیلتر، که اگر مقدار آن نوسان داشته باشد، مدام الکتروفیلتر از مدار خارج می شود تا شرایط مناسب گردد که این اتفاق به لحاظ بهره برداری و فیلتراسیون وضعیت نامناسبی محسوب می شود. اگر به هر دلیل Co بالا برود یا دستگاه آنالایزر، مشکل داشته باشد و میزان Co را پایین تر از حد واقعی خود نشان دهد، هر

لحظه امکان انفجار وجود دارد که متأسفانه این امر در کارخانه سیمان آبیک و چندین مورد دیگر اتفاق افتاده و تلفات جانی و مالی بسیاری بدنبال دارد که گاهی موجب توقف سه ماهه کارخانه نیز شده است.

استارت اولیه: مشعل نیز به همین دلیل اقتضا می‌کند که موجب استارت مشعل، حتماً و الزاماً الکتروفیلتر متوقف باشد تا مشعل استارت شود و دستگاه آنالایزر میزان Co موجود را قرائت کند آنگاه الکتروفیلتر استارت شود.

شرایط مکانیکی قطعات موجود در الکتروفیلتر مانند فاصله بین صفحات کاتد و آنود، عدم وجود نشی در بدنه الکتروفیلتر و عملکرد مناسب چکش‌های ضربه‌زن در ستون مناسب، پارامترهای مهمی است که باعث افزایش یا کاهش راندمان فیلتراسیون در الکتروفیلتر می‌شود.

در این پروژه با حذف الکتروفیلتر و تبدیل آن به بگ هاوس به این مشکلات برطرف شده و نیز با نصب بگ هاوس به راندمان فیلتراسیون به مقدار قابل توجه‌ای افزایش پیدا می‌کند.

۴- فصل چهارم

نصب دمپرفرش ایر بر روی داکت خروجی از پیش گرم کن

۴-۱ نصب دمپرفرش ایر بر روی داکت خروجی از پیش گرم کن و

تبدیل الکتروفیلتر به بک هاووس.

با توجه به حذف کولینگ تاور در این پروژه که هدف اصلی آن کاهش مصرف آب در کارخانه می باشد نصب دمپرفرش ایر بر روی داکت خروجی از پری هیتر الزامی می باشد.

ویژگی های این دمپر باید ویژگی تنظیم صفر تا صد توسط یک دستگاه سروو موتور را داشته باشند.

- بعد از آیدی فن و قبل از داکت ورودی به الکترو فیلتر نصب شده باشد.

- امکان عبور دبی هوای مناسب از دریچه آن وجود داشته باشد.

- دستگاه های مورد نیاز برای نصب یک عدد فرش ایر:

(۱) ساخت دمپر متغیر در کارگاه نوسازی

(۲) لینک دمپر به یک دستگاه سروو موتور

(۳) تنظیم صفر تا صد سرو و موتور

(۴) نصب یک عدد ترانسمیتر بر روی سروو موتور جهت کنترل دریچه

(۵) وصل کابل ترانسمیتر به شبکه PLC ورودی مانیتورینگ

۶) تست باز و بسته کردن دریچه از اطاق فرمان و اعمال SET Point های مختلف بر روی

آن جهت تست سروو موتور

۴-۱- طراحی بگ هاوس به جای الکتروفیلتر

امروزه صنایع بسیاری با این مشکل مواجه هستند که گازهای خروجی آن‌ها حاوی ذرات فراوانی است (ذره‌ای شدن ماده). از میان انواع مختلف دستگاه‌های کنترل ذرات و کاهش غبار خروجی، برخی از آن‌ها اولویت‌های ویژه‌ای دارند. فیلترهای پارچه‌ای (fabric filter)، فیلترهای الکترواستاتیک (Electrostatic precipitators, EPS) و Scrubber ها. در این مقاله در ارتباط با استفاده از فیلترهای پارچه‌ای- بگ‌هاوس- برای جمع‌آوری ذرات، مطالبی ارائه خواهد شد. هم‌اکنون بگ‌هاوس‌ها در بسیاری از صنایع (هم‌چون استیل، سیمان، داروسازی، شیمیایی، فلزی، دفع زباله‌ها و ...) به علت جمع شدن ذرات در اندازه‌های گوناگون، مورد استفاده قرار می‌گیرند. تنظیمات و استانداردهای جدید (CAAA-1990) بر جمع کردن ذرات با قطر کمتر از $10\text{ }\mu\text{m}$ ، تأکید بیشتری می‌کنند. فیلترهای پارچه‌ای- بگ‌هاوس‌ها- توجه ویژه‌ای به کنترل ذرات ریز دارند. بگ‌هاوس‌ها براساس این واقعیت که ذرات غبار از مولکول‌های هوا بزرگ‌ترند، عمل می‌کنند. بنابراین هنگامیکه گاز آلوده از کیسه‌ها عبور می‌کند، ذرات غبار جدا شده و گاز تمیز عبور می‌کند. اگر چه ذرات غبار از مولکول‌های گاز بزرگ‌ترند، لیکن در ابعاد، اشکال و ساختارهای گوناگونی ظاهر می‌شوند. فیلترهای پارچه‌ای چنان طراحی شده‌اند تاخواص مشخصی از گاز

خروجی و ذراتی که قرار است فیلترشوند را با یکدیگر تطبیق دهند. فیلترها به شیوه های مختلفی می توانند ساخته شوند.

مواد به کار رفته در این نوع فیلترها بر اساس سازگاری با آن PH فرآیندهای به کار رفته در آنها نظیر دمای گاز و انتخاب می شود. وظیفه بازرسین، اپراتورها یا تعمیرکاران فیلترهای پارچه ای، این است که با توجه به نقشه ها و طراحی فیلترپارچه ای مشخص نمایند که آیا دستگاه غبار را آنچنان که در طراحی مد نظر گرفته شده است، جمع می کند یا نه (بدین معنی که آیا دستگاه عملکرد مطلوبی دارد). (ماهنامه سیمان-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)

۴-۱-۲ رفتار ذرات

همانند هر موجود فیزیکی دیگری، ذرات نیز به گونه های نسبتاً قابل پیش بینی رفتار می کنند که تابع قوانین فیزیکی هستند. عموماً ذرات ناشی از یک منبع صنعتی در جریان گاز غوطه ورنند. اگر چیزی را در مسیرشان بگذاریم، به آن اصابت می کنند و تحت شرایط مناسبی در همان جا باقی می مانند. به همین دلیل فیلترها طراحی می شوند. لکن بنا به تعریف، یک فیلتر منافذ ریزی دارد که اجازه می دهد مولکول های گاز از آن عبور کنند. این مولکول ها جریان پیوسته ای را حول رشته الیاف درون فیلتر ایجاد می کنند. ذرات کوچک (ریزدانه ها) به آسانی به همراه جریان گاز از منافذ مذکور گذشته و وارد جو می شوند. اما ذرات بزرگ تر چنین شانسی را ندارند. به علت عدم تحرک بیشتر، آنها قادر به بازگشت از مسیر جریان به سمت رشته الیاف ها نیستند و به

جای آن تا زمانی که به سطح الیاف کیسه ها برخورد کنند، به خط مستقیم حرکت می کنند. این رفتار را گیر افتادگی نامیده می شود.

ذرات متوسط، سکون (عدم تحرک) کمتری دارند. در واقع آنها تمایل دارند تا با جریان گاز از داخل الیاف کیسه ها جهش کنند، اما نمی توانند به طور کامل این کار را انجام دهند. بنابراین به جای اینکه مستقیم به رشته الیاف برخورد کنند، از اطراف به آن ضربه می زنند یا «نزدیک حائل» می شوند. این عمل به عنوان یک مکانیزم جمع آوری است و آن را جداسازی مستقیم (direct) *intact interception* می نامیم (شکل ۲).

از روش های گیرافتادگی و جداسازی مستقیم برای جمع آوری تقریباً ۹۹ درصد از ذرات با قطر آیرودینامیکی بزرگتر از ۱ میکرومتر در دستگاه های فیلتر پارچه ای استفاده می شود. این نشان می دهد که فیلترهای پارچه ای و به تبع آن بگ هاوس ها ابزارهای بسیار مناسبی برای جمع آوری ذراتی با این اندازه هستند.

بگ هاوس ها همچنین می توانند ذرات خیلی کوچک (ریزدانه ها) با قطر کمتر از ۱ میکرومتر را جمع کنند. اینگونه تصور خواهید نمود که این ذرات به همراه جریان گاز حمل می شوند. در واقع، این ذرات بسیار کوچکند و به نوعی سرگردانند و تنها هنگام برخورد با مولکول های گاز اندکی منحرف می شوند. این حرکت انفرادی یا تصادفی سبب می شود تا آنها در سراسر جریان گاز توزیع شوند و به توزیع براونی یا حرکت براونی ۳ مشهور است (شکل ۳). ذرات ممکن است سرعت متفاوتی نسبت به جریان گاز داشته باشند و در بعضی نقاط می توانند با رشته الیاف ها تماس یابند و جمع آوری شوند.

همچنین ذرات می توانند به سبب دیگر خواصی که در جریان گاز رخ می دهد، جمع آوری شوند. ذرات نسبتاً بزرگ ممکن است که بر نیروی گرانشی غلبه نکنند و در قیف جمع کننده تجمع یابند. این نیرو به ویژه زمانی مهم است که گاز مملو از غبار از طریق ورودی داخل قیف (در بگ هاوس) یعنی جایی که ذرات بزرگ قبل از اینکه واقعا به کیسه ها برخورد کنند از جریان گاز خارج و وارد قیف می شوند. ذرات می توانند روی هم انباشته شوند یا اندازه آنها افزایش یابد و سپس راحت تر توسط فیلترها جمع گردند. فیلتر کردن این ذرات بزرگتر از جریان گاز آسان تر است.

برخی از ذرات بار الکتریکی حمل می کنند و می توانند توسط مواد با بار مخالف جذب شوند. از سوی دیگر اگر بار ذرات و رشته الیاف یکسان باشد، این بارهای الکتروستاتیک اثر منفی دارد. در این حالت ذرات به فرار تا تجمع بر پارچه تمایل دارند. بارهای الکتریکی به ویژه برای گیر انداختن ذرات زیر میکرونی اهمیت می یابند. استفاده از مواد پارچه ای برگزیده یا یک ماده پوششی خاص می تواند غبارگیری و جذب ذرات را بهبود بخشد. مواد مختلف، مقادیر متنوعی را برای بار الکتریکی ایجاد می کنند. (ماهنامه سیمان-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)

۴-۱-۳ اجزای فیلترهای پارچه‌ای

فیلتراسیون پارچه ای یکی از رایج ترین تکنولوژی های کنترل آلودگی هواست که برای جمع آوری ذرات کوچک بکار می رود. دو گونه ی اساسی این کیسه ها، انواع یکبار مصرف و چند بار مصرف^۱ است.

کیسه های یکبار مصرف مشابه گونه هایی هستند که در سیستم های تهویه ی خانگی بکار می روند. آنها را می توان به عنوان فیلترهای بافت حصیری 2 یا فیلترهای عمیق ساخت 12 اینچ یا بیشتر شناخت. معمولاً فیلترهای بافت حصیری با استفاده از دسته های فایبرگلاس با یک صفحه ی فلزی نازک در قسمت بیرونی فیلتر برای استحکام آن، ساخته می شوند. فیلترهای عمیق 3 عموماً از الیاف فایبرگلاس، شیشه ای یا مواد بی اثر دیگری نظیر الیاف استیل نازک برای ایجاد یک بافت عمیق بکار گرفته می شوند. این فیلترها برای جمع آوری ذرات با قطر کمتر از 1 میکرومتر بازدهی بسیار خوبی دارند 99/9 درصد؛ اما برای فیلتر مواد ذره ای 4 باید با انواع دیگری جایگزین شود وقتی که افت فشار در داخل فیلتر مشخصات طراحی را افزایش می دهد . فیلترهای عمقی به طور گسترده ای در جمع آوری غبارهای سمی به کار می رود. کیسه های چند بار مصرف از یک ماده منسوج نایلون، فایبرگلاس و ... تشکیل شده اند. از این کیسه ها عموماً برای تمیز کردن جریان های گاز خروجی آلوده از فرآیندهای صنعتی استفاده می شود. ذرات بر

¹ -disposable and non- disposable

ماده ی منسوج نگه داشته می شوند، در حالی که گاز تمیز شده از آن می گذرد. سپس ذرات جمع

شده با یکی از مکانیزم‌های زیر از فیلتر برداشته می‌شوند:

۱. لرزش؛

۲. جریان هوای معکوس؛

۳. ضربه‌های هوا. ذرات برداشته شده به طور موقت در قیفی تجمع می‌یابند تا این که یا

مرتب شوند یا در فرآیند مجدد استفاده شوند؛

دستگاههای فیلتر پارچه‌ای چند بار مصرف در فرآیندهای مختلف صنعتی برای کنترل

خروجی‌های ریزدانه (ذره‌ای) به کار می‌روند.

بگ هاوس‌ها از اجزای زیر تشکیل شده‌اند :

۱. کیسه، پارچه و نگه‌دارنده؛

۲. پوسته یا بدنه؛

۳. قیف‌های جمع‌آوری؛

۴. سیستم‌های تخلیه؛

۵. سیستم‌های تمیزکاری؛

۶. فن (fan).

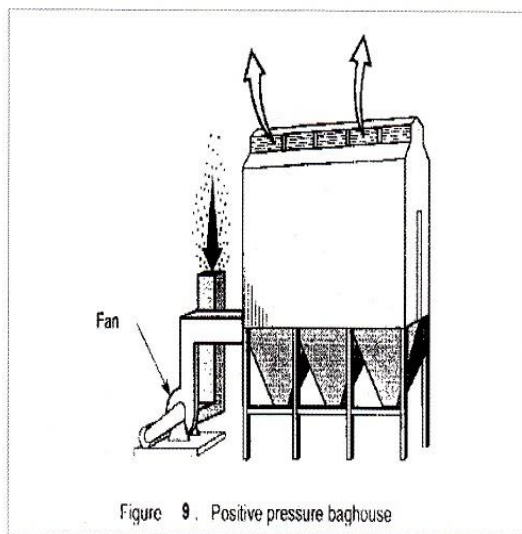
سطح جمع آوری ذرات غبار از ماده فیلتر کننده و ساختار استراکچر نگهدارنده تشکیل می شود. غالب طرح های بگ هاوس از کیسه های استوانه ای طویل یا تیوب که حاوی پارچه های نمدی بی بافت یا بافته شده به عنوان محیط فیلتراسیون هستند، استفاده می شوند. کیسه های بافته شده از نخ تابیده شده ای که الیاف پارچه را با الگوی تکرار شده مشخصی تشکیل می دهند، تولید می شوند. کیسه فیلترهای نمدی از الیاف هایی که به طور تصادفی سر جای خود محکم شده اند، ساخته می شوند که این الیاف ها درون یک حصیر فشرده و به یک ماده منسوج سست به نام اسکریم 5 متصل شده اند. کیسه فیلترهای نمدی معمولاً از کیسه فیلترهای بافته شده ضخیم تر هستند.

روکش های بافته شده می تواند در بالا و پایین کیسه به کمک حلقه های فلزی یا گیره هایی نگه داشته شود؛ و یا با یک قفس یا کیج 6 کیسه را نگه می دارد.

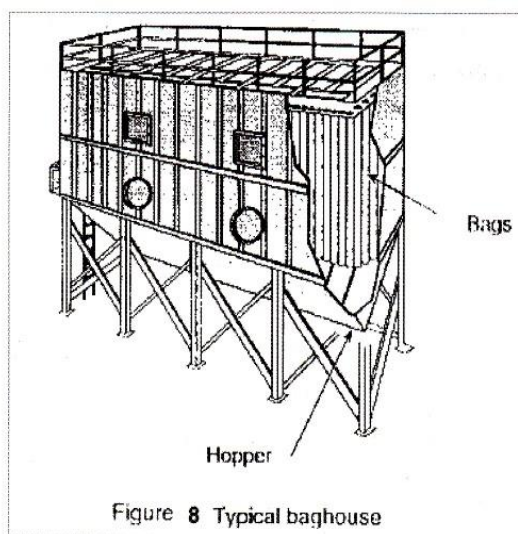
بسته به طراحی بگ هاوس، غبار هم از داخل و هم از خارج در سطح ماده پارچه ای کیسه جمع آوری می شود.

بسته به طراحی بگ هاوس، غبار هم از داخل و هم از خارج بر سطح ماده پارچه ای کیسه جمع آوری می شود. برخی از طرح های اروپایی و آمریکایی بگ هاوس یک چیدمان فیلتر دارای محفظه یا پوشش مطابق با شکل ۴-۱ را بکار می برند. فیلتر کیسه ای از الیاف های بافته شده یا نمدی که توسط قفس یا کیج ثابت گردیده، تشکیل شده است. قفس یا کیج الیاف ها را محکم نگه می دارد، آنچنان که غبار در آن فیلتر و در بیرون سطح مواد پارچه ای (کیسه) جمع آوری می شود.

اخیرا به منظور فیلتر کردن مواد ریزدانه از فرآیندهای صنایع کوچک، فیلترهای کارتریجی را بکار می‌برند. فیلترهای کارتریجی با استفاده از محیط‌های فیلتری چین دار استوانه‌ای ساخته می‌شوند (شبهه فیلترهای تمیزکننده‌ی هوا که در خودروها بکار می‌رود). (کارتریج‌ها تقریباً 2750 سانتیمتر طول و معمولاً 18 تا 24 اینچ قطر دارند. غبارها بر سطح بیرونی فیلتر چین دار کارتریجی جمع می‌شوند و هوای تمیز در مرکز آن جاری است. غبار جمع شده مرتباً با دمیدن هوا به مرکز کارتریج از فیلتر کارتریجی پاک می‌شود. یک مزیت گزارش شده آلات کارتریجی استفاده از دو فیلتر حصیری است که بازدهی 90 درصد در جمع‌آوری ذرات 0 میکرومتر را دارند بسیار کمتر از 3 نمونه، فیلترهای کیسه‌ای استاندارد برای جمع‌آوری ذرات در این اندازه، بازدهی اولیه 10 تا 20 درصد را دارند. (ماهنامه سیمان-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)



- فشار مثبت محفظه



(کیسه‌ها . قیف) محفظه معمولی

شکل (۱-۴) غبارها در سطح بیرونی (ماهنامه سیمان-شماره ۱۷۲-تیر ۱۳۹۱)

۴-۱-۴ بدنه یا پوسته

بگ هاوس ها در قالب واحدهای یک یا چند اتاقچه ای ساخته می شوند. تک واحدی ها عموماً برای فرایندهایی که به طور پیوسته کار نمی کنند، مورد استفاده قرار می گیرند؛ از قبیل فرایندهای ساییدن یا رنگ پاشی. واحدهای چند اتاقچه ای دارای بیش از یک اتاقک هستند و در فرایندهای عملیاتی پیوسته با حجم های خروجی زیاد استفاده می شوند؛ همانند کوره های استیل ذوب الکتریکی و صنایع جوش آور. واحدهای اتاقک بندی شده می توانند یک اتاقک خارج از مدار 1 برای تمیزسازی کیسه و تعمیر آن داشته باشند، در حالی که سایر اتاقک های بگ هاوس به فیلتر کردن ادامه می دهند. در هر دو مورد، کیسه ها در پوسته ای که از ماده ی فلزی سختی بنام قفسه یا کیج ساخته شده است، قرار داده می شوند. اغلب لازم است تا پوسته عایق بندی گردد، به ویژه زمانی که با گازهای دمای بالای دودکش ها سر و کار داریم. این بدین علت است که از شکل گیری مه اسیدی یا رطوبت موجود در گاز دودکش که از میعان در درون واحد بدست می آید و باعث خوردگی زود هنگام بگ هاوس می شود، جلوگیری گردد.

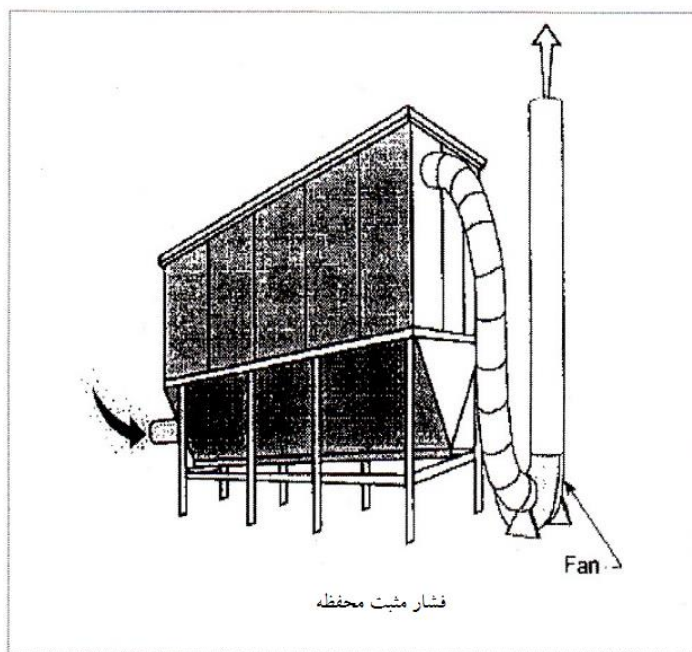
فیلترهای پارچه ای معمولاً با استفاده از کیسه های استوانه ای که به طور عمودی در واحد آویزان هستند، ساخته می شوند. تعداد کیسه ها از مقدار اندک چهار تا بیش از هزار، بسته به اندازه ی دستگاه کنترل، می تواند تغییر کند. وقتی لایه های غبار به اندازه کافی ضخیم می شوند، کیسه تمیز و سبب می شود تا ذرات غبار به درون قیف جمع کننده سقوط کنند. تمیزسازی کیسه به روش های مختلفی انجام می گردد. ذرات غبار جمع شده موقتاً در قیف ذخیره و با استفاده از

قطعات تخلیه دورانی با هوابندی کامل تخلیه می شوند و سپس غبار با یک انتقال دهنده پیچی یا هوایی انتقال داده می شود. بگ هاوس به وسیله یک ورق فلزی در بسته می شود تا غبار جمع آوری شده را دربرگیرد و از کیسه ها در مقابل شرایط جوی محافظت کند.

۲-۴ بگ هاوس های فشار منفی و مثبت

گاز آلوده با یک فن از دورن بگ هاوس می تواند هم کشیده و هم رانده شود. هنگامی که گاز مملو از غبار در طول بگ هاوس رانده می شود، جمع کننده را بگ هاوس فشار مثبت می نامند. فروشندگان می توانند بگ هاوس های فشار مثبت را با ساختارهای ساده تری نسبت به بگ هاوس های فشار منفی بسازند، چرا که فشار مثبت، فشار وارد بر پوسته از طرف جو را موازنه می کند. بدین ترتیب، این واحدها نسبت به بگ هاوس های فشار منفی

از قیمت کمتری برخوردار هستند. اما با توجه به اینکه فن در بخش آلوده دستگاه قرار دارد، محدودیت هایی نیز بر آنها اعمال می شود. در این پیکربندی ها، خرابی زود هنگام تیغه های فن، یاتاقان ها و مجاری در حال کار دستگاه به سبب ساییدگی توسط ذرات، می تواند رخ دهد. این مسأله فوق العاده به نحوه عملکرد و نگهداری بگ هاوس بستگی دارد. فن جزئی حیاتی است؛ در صورت از کار افتادگی، باعث می شود که کل بگ هاوس متوقف شود. تعویض فن ها نسبتا گران تمام می شود. (ماهانامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)



شکل (۲-۴) بگ هاوس فشار مثبت (ماهنامه سیمان-شماره ۱۷۲-تیر ۱۳۹۱)

بگ هاوس های فشار مثبت معمولا دودکش ها یا خروجی های کوتاهی در بالای بگ هاوس به نام دارند. این موضوع وقتی که آزمایش های roof monitors دودکش برای تعیین حالت مورد قبول انتشار انجام می شود، در دسترس است؛ زیرا مجرا یا دودکش مشخصی که بتوان پراب 1 را وارد آن نمود وجود ندارد. دستگاه های فشار مثبت وقتی استفاده می شوند که جریان فرآیند فیلتراسیون حاوی محتویات کم رطوبت و غبارهای غیرساینده با غلظت کم باشد. از دیگر موارد استفاده آنها هنگام سروکار داشتن با غبارهایی است که به آسانی بر اثر شعله ی ناشی از تصفیه، آتش می گیرند.

اگر فن در قسمت زیردست بگ هاوس قرار داشته باشد، گاز آلوده از بگ هاوس کشیده می شود و جمع کننده، بگ هاوس فشار منفی نامیده می شود. ساختار بگ هاوس فشار منفی به علت

مکش روی پوسته بگ هاوس باید مستحکم باشد. لذا قیمت ساخت این گونه از فیلترها، از دستگاه های فشار مثبت بیشتر است. از آنجایی که عملکرد بگ هاوس تحت فشار منفی است، هیچ نشت فشاری وجود ندارد. بنابراین اشغال فضا در مجاورت آن به حداقل می رسد. پارگی و از هم گسیختگی فن از دستگاه های فشار مثبت بسیار کمتر است، زیرا ذرات ساینده مواد قبل از آن که بتوانند وارد فن شوند، توسط کیسه ها گرفته می شوند. این نکته در انتخاب بگ هاوس های فشار منفی یک عامل برتر محسوب می شود. ولی تصفیه ی هوا درون این طرح ها می تواند عامل خوردگی و مشکلات تخلیه قیف باشد. دستگاه های فشار منفی زمانی استفاده می شوند که حاوی محتویات با رطوبت بالا، گازهای خورنده و غبارهای ساینده بسیار غلیظ باشند. (ماهانماه سیمان - شماره ۱۷۲ - تیر ۱۳۹۱)

۴-۳ طرح های فیلتر کردن

دو طرح فیلتر کردن در بگ هاوس ها استفاده می شود: فیلتراسیون داخلی و فیلتراسیون خارجی. در بگ هاوس هایی که از فیلتراسیون داخلی استفاده می کنند، ذرات در داخل کیسه جمع می شوند. گاز مملو از غبار از انتهای جمع کننده وارد و با تیغه ها یا پره های توزیع کننده و صفحه سوراخ دار استقرار دهانه کیسه ها بر روی آن تیوب شیت 1 به درون کیسه ها هدایت می شود. تیوب شیت که صفحه سلولی 2 نیز 1 اینچ / 1 تا / 4 نامیده می شود، ورقه ای فلزی به ضخامت 8 و احاطه کننده قسمت باز کیسه است. گاز غبار آلود از طریق قسمت های باز تیوب شیت به درون کیسه ها هدایت می شود. تیوب شیت بخش تمیز گاز را از ورودی بگ هاوس جدا

می سازد. ذرات توسط کیسه فیلتر می شوند و هوای پاک از بیرون کیسه خارج می گردد. (ماهنامه

سیمان - شماره ۱۷۲ - تیر ۱۳۹۱)

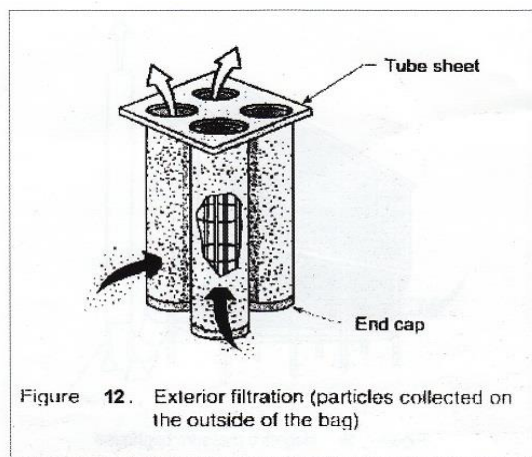


Figure 12. Exterior filtration (particles collected on the outside of the bag)

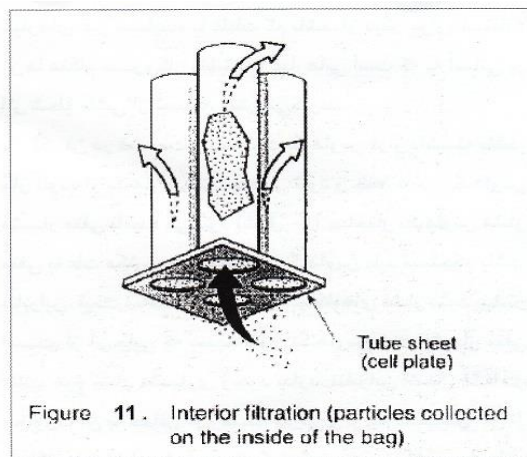


Figure 11. Interior filtration (particles collected on the inside of the bag)

ورقه لوله (بشقاب سلول). فیلتر کردن داخلی (ذرات جمع شده در داخل از کیسه). شکل ۱۲. ورقه لوله. انتها استوانه. فیلتر

کردن خارجی (ذرات جمع شده در خارج از کیسه)

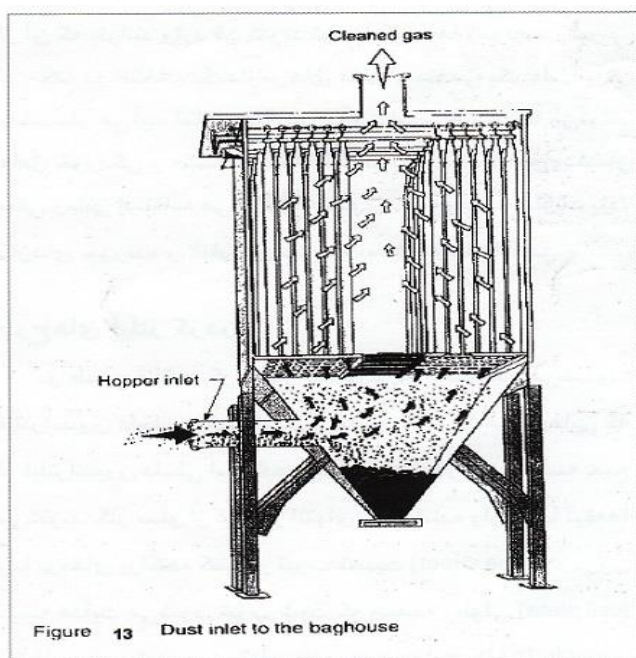


Figure 13 Dust inlet to the baghouse

گاز تمیز شده. ورودی کمپرسور. غبار وارد شده به محفظه

شکل (۳-۴) کیسه فیلتر (ماهنامه سیمان-شماره ۱۷۲-تیر ۱۳۹۱)

در دستگاه های فیلتراسیون خارجی، غبار در بیرون کیسه جمع می شود. فرآیند فیلتراسیون از بیرون کیسه به درون آن می رود که طی آن گاز پاک از درون کیسه خارج می در نتیجه، وجود انواعی از نگهدارنده های کیسه نظیر یک سبد یا قفسه داخلی ضروری است. کیسه ها به بالای تیوب شیت متصل و انتهای آنها با یک کلاهک بسته می شود (معمولا دوخته می شود).

مکان ورودی گاز مملو از غبار در هر دو نوع دستگاه فیلتراسیون، اغلب به مدل و شرکت سازنده بگ هاوس بستگی دارد. اگر گاز از بالای واحد وارد شود، فشار گاز به سمت پایین صورت می گیرد که منجر به تمیز شدن کیسه ها تا حد فیلتراسیون کیسه ها می شود. این سبب می شود تا حجم گاز بیشتری را قبل از اینکه تمیزسازی لازم شود، از طریق بگ هاوس فیلتر گردد.

اگر گاز از انتهای واحد وارد شود، ورودی در بالاترین قسمت قیف قرار می گیرد طراحی و ساخت انتها یا ورودی های قیف از ورودی های فوقانی آسان تر است. اما هنگام استفاده از ورودی های قیف، فروشندگان باید با دقت جریان های گازی را طراحی کنند تا از سوار شدن دوباره غبار بر قیف اجتناب شود و مطمئن گردند که گاز دودکش به طور یکنواخت در همه اتاقچه ها پخش می شود. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فرورین ۱۳۹۲)

۴-۳-۱ افت فشار فیلتر پارچه‌ای (of fabric filter Pressure

drop)

روابط مختلف بسیاری برای تخمین افت فشار در ساختار یک فیلتر پارچه‌ای به کار برده می‌شود. در یک بگ‌هاوس، افت فشار کلی، تابعی از افت فشار روی کیسه‌های فیلتر و کیک غبار (dust cake) است.

بخشی از اتلاف فشار، به دلیل اصطکاک در هنگام حرکت گاز از میان فضای بگ‌هاوس نیز می‌تواند باشد.

ساده‌ترین معادله که برای پیش‌بینی افت فشار در فیلتر به کار می‌رود، از قانون داریسی Darcys law منتج می‌شود که با جریان سیالات از میان منافذ و خلل و فرج مواد و از معادله ۴-۱ به دست می‌آید.

$$\Delta p_f = k_1 v_f \quad (۴-۱)$$

عبارت k_1 ضریب مقاومت پارچه فیلتر است (هم‌چنین drag نیز نامیده می‌شود) که تابعی از ویسکوزیته و غلظت گاز خروجی و خصوصیات پارچه فیلتر از قبیل ضخامت و تخلخل (porosity) است. واژه تخلخل یا پرمنفذی، میزان حجم خالی منافذ داخل پارچه فیلتر را توصیف می‌کند.

۴-۳-۲ افت فشار کیک غبار (dust cake of Pressure drop)

افت فشار داخل کیک غبار (dust cake) نشسته روی فیلتر را می‌توان با استفاده از معادله (Wilder 1970, Billings) تخمین زد، این معادله نیز از قانون دارسی (Darcy's law) منتج شده است و شکل ساده شده آن به شکل زیر است.

$$\Delta p_e = k_r c_i v_f^2 t \quad (2-4)$$

Δp_e = pressure drop across the cake. In. H₂O (cm H₂O)

K_2 = resistance of the cake, in. H₂O / (lb/ft² - ft/min) [cm H₂O / (g/cm² - cm/sec)]

C_i = dust concentration loading. lb/ft³ (g/cm³)

v_f = filtration velocity, ft/min (cm/sec)

t = filtration time, min (sec)

عبارت K_2 ضریب مقاومت (غبار + پارچه فیلتر) است و به طور آزمایشی تعیین می‌شود. این ضریب به ویسکوزیته و غلظت گاز، دانسیته و تراکم ذرات (particle density) و تخلخل غبار (dust porosity) بستگی دارد. در این جا واژه تخلخل یا پرمندی (porosity) به میزان حجم خالی منافذ داخل کیک غبار (dust cake) مربوط است. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فرورین

(۱۳۹۲)

تخلخل یا پرمنفذی یا قابلیت نفوذ در ارتباط است، قابلیت نفوذ برای پارچه فیلتر فقط در انجمن امریکایی آزمایش و مواد (ASTM) با استاندارد D737-69 از طریق حجم هوایی که می‌تواند از میان یک فوت مربع پارچه فیلتر با یک افت فشار متوسط که بیشتر از ۰/۵ اینچ آب نباشد عبور کند، تعیین می‌شود. K_2 وابسته به اندازه ذرات در بخار گاز است، اگر ذرات بسیار ریز و کوچک‌تر از ۲ میکرون باشند، توده غبار متراکم‌تر خواهد شد و به K_2 بالا می‌رود، اگر k_2 بالا باشد، سپس افت فشار میل به افزایش خواهد داشت و کیسه‌ها باید بیشتر از دوره تناوب خود تمیز شوند. سرعت فیلتراسیون و تمیزسازی نیز بر K_2 تأثیر دارد. در بیشتر آزمایش‌های اخیر که تحت شرایط کنترل در اواخر دهه ۱۹۸۰ بوده است، وابستگی k_2 ، اندازه ذرات و سرعت به طور واضح نشان داده شده است. پژوهشگرانی مانند Dennis.Cass و Cooper (۱۹۷۷) و Davis و Kurzyske (۱۹۷۹) نشان دادند که اندازه ذرات و سرعت هر دو بر K_2 تأثیر همانندی دارند.

(ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۳-۳-۴ افت فشار کل (The Total Pressure drop)

افت فشار کل معادل با افت فشار در داخل فیلتر به انضمام افت فشار کیک غبار (dust cake) و در قالب معادله‌های ۳-۴ و ۴-۴ به دست می‌آید.

$$\Delta p_t = \Delta p_f + \Delta p_e \quad (3-4)$$

$$\Delta p_t = k_v v_f + k_r c_i v_f^2 t \quad (4-4)$$

معادلات ۳-۴ و ۴-۴ فقط به عنوان تخمین افت فشار در سیستم‌های تمیزکننده لرزاننده (shaker) و هوای معکوس (reverse-air) در بگ‌هاوس‌ها به کار برده می‌شود. در فرآیندهای فیلتراسیون و تمیزسازی صنعتی، تأثیر متقابل (پارچه فیلتر+ ذره غبار) درست پس از شروع سیکل فیلتراسیون به صورت پیچیده‌ای رخ می‌دهد. علاوه بر این، فاکتور مقاومت فیلتر k_1 می‌تواند دو مقدار را نیز در بر داشته باشد:

۱. یک مقدار قبل از آنکه فیلتر را در حالت on-line آورده باشند؛

۲. مقدار دیگر پس از آنکه فیلتر تمیز شده باشد.

زمانی که کیک غبار به ضخامت قابل توجهی می‌رسد، افت فشار به حد زیادی افزایش خواهد یافت (بزرگ‌تر از ۱۰ اینچ آب یا ۲۵ سانتی‌متر آب). در این زمان فیلتر باید تمیز شود. مقداری غبار حتی پس از تمیز کردن بر پارچه‌ها باقی خواهد ماند. بنابراین، سطح مقاومت فیلتر بیشتر از شرایط اولیه خواهد شد. یک بگ‌هاوس به طور نرمال با افت فشار داخلی ۴ تا ۱۰ اینچ آب عمل می‌کند، اما بسیاری از بخش‌ها با افت فشار کمتر از ۶ اینچ آب نیز عمل می‌کنند، تمیز کردن کیسه‌ها معمولاً زمانی که افت فشار به کمتر از این نقطه نزدیک شده، آغاز می‌شود.

مقاومت فیلتر از میان لایه (پارچه+غبار) را فیلتر درگ (filter drag) می‌گویند. معادله فیلتر درگ اساساً از نسبت افت فشار رخ داده بر واحد سرعت به دست می‌آید، این تابعی است که از مقدار غبار انباشته شده روی پارچه و از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$S = \frac{\Delta p}{v_f} \quad (5-4)$$

S = filter drag, in. H₂O/(ft/min)[cm H₂O/(ft/min)[ch H₂O/(cm/sec)]

Δp = pressure drop across the fabric and dust cake, in. H₂O(cm H₂O)

V_f = filtration velocity, ft/min(cm/sec)

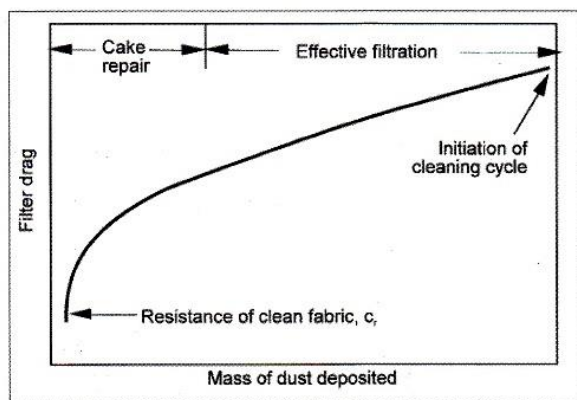
سطح واقعی تمیز شده یک کیسه فیلتر بافته شده، سطح آن کیسه نیست بلکه لایه غبار (layer dust) روی آن است. لایه‌های غبار همانند پل‌هایی (bridges) روی منافذ ریز و سوراخ‌های بافت پارچه فیلتر را مسدود می‌کنند و به افزایش سریع مقاومت فیلتر با فیلتر درگ منجر می‌شوند. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۴-۳-۴ نمودار فیلتر (AFilter Performance Curve)

نمودار عملکرد یک فیلتر پارچه‌ای تک کیسه در شکل ۱ نشان داده شده است. این نمودار از دو دوره رشد غیرخطی و رشد خطی تشکیل شده است. تغییرات مقاومت فیلتر روی محور عمودی در مقابل مقادیر توده غبار یک کیسه غبار نشسته روی کیسه فیلتر در محور افقی، شرایط ترسیم نمودار را فرام می‌کند.

نقطه C_r نقطه شروع و پایین ترین نقطه مقاومت فیلتر روی نمودار عملکرد فیلتر ترسیم شده، به وسیله یک کیسه فیلتر تمیز است. رشد تصاعدی و نمایی مقاومت فیلتر بیشتر از یک نرخ رشد ثابت (رشد غیرخطی) در دوره بازسازی کیک غبار و شکل گیری اولین کیک غبار روی کیسه فیلتر روی نمودار به سرعت انجام می شود.

دوره فیلتراسیون مؤثر، مادامی که مقاومت فیلتر روی نمودار با یک نرخ رشد ثابت (رشد خطی) افزایش یابد، ادامه خواهد داشت. زمانی که مقدار افت فشار کل در انتهای نمودار به مقدار تنظیم شده در طراحی سیستم می رسد، تمیزسازی کیسه در بالاترین نقطه نمودار آغاز می شود (cleaning cycle initiation of). در این نقطه افت فشار تا نقطه آغازین (اغلب به طور عمودی روی نمودار عملکرد) کاهش می یابد، زمانی که سیکل تمیزسازی متوقف شود، دوباره سیکل بازسازی کیک غبار آغاز شده و همان مراحل سیکل قبلی دوباره تکرار می شود. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)



شکل (۴-۴) نحوه عملکرد فیلتر تک کیسه پارچه ای

بگ‌هاوس‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که بیشترین مقدار کیک غبار را در طی فرآیند فیلتراسیون و تمیزسازی بزدایند، هرچند سیستم‌های لرزاننده یا هوای معکوس بگ‌هاوس به گونه‌ای طراحی شده‌اند که در طی سیکل تمیزسازی مقادیری از غباری را هم که روی کیسه‌ها باقی مانده است، بزدایند. بنابراین، لایه غبار دوباره روی منافذ بافت پارچه تشکیل نخواهد شد. اگر پارچه به طور مؤثر تمیز شده باشد سیکل بازسازی کیک غبار از نقطه تشکیل اولین کیک به مدت طولانی‌تری تشکیل خواهد گرفت، به همین دلیل، کاهش سرتاسری زمان فیلتراسیون مؤثر در یک بگ‌هاوس را به همراه خواهد داشت. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

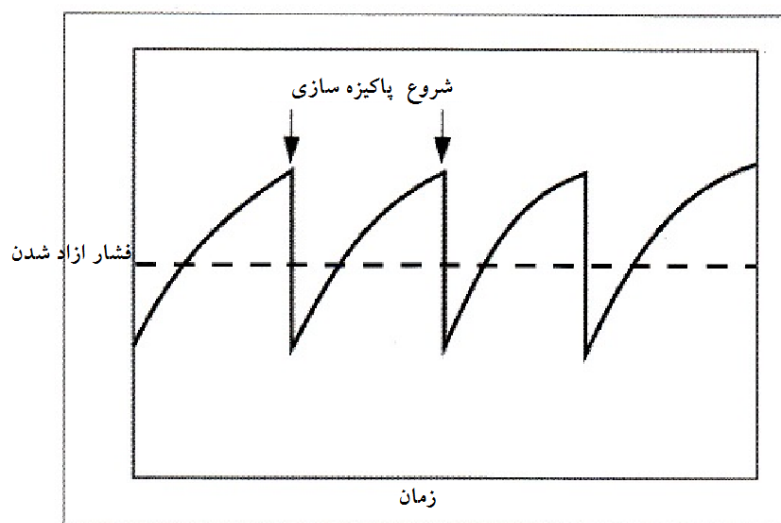
۴-۳-۵ بگ‌هاوس چند بخشی (Multicomartment Baghouse)

در بگ‌هاوس‌های چند بخشی که چندین بخش در یک زمان با هم تمیز می‌شوند، نمودار عملکرد، شکل متفاوتی به خود می‌گیرد. در این حالت تغییر در نمودار به طور رسمی کوچک‌تر از شکل ۱ است.

نمودار عملکرد به دلیل افت فشار شبکه‌ای در سرتاسر بگ‌هاوس، یک شکل دندان‌اره‌ای باریکی همانند شکل ۲ دارد. هریک از نقاط مینیمم روی نمودار نشان دهنده تمیزی در تمام بگ‌هاوس است. خط نقطه‌چین نشان دهنده افت فشار میانگین است.

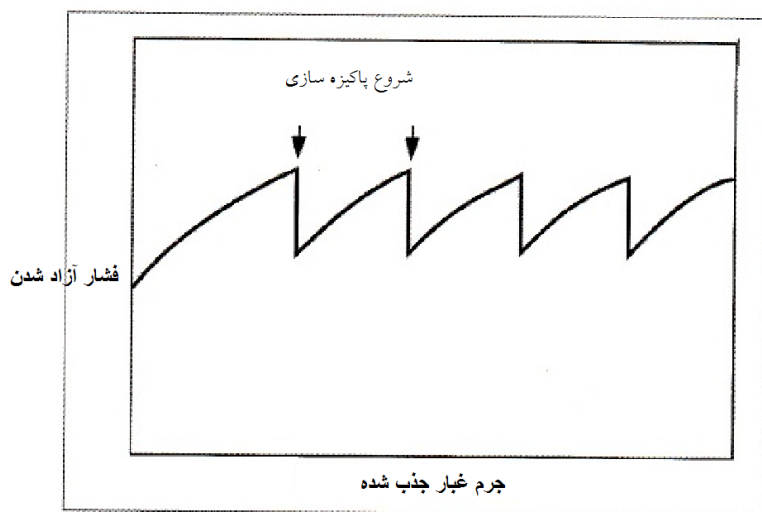
برای یک فیلتراسیون بهینه با یک کارایی و اثربخشی فراگیر، بگ‌هاوس باید به گونه‌ای طراحی شود که با یک مقدار افت فشار ثابت در سرتاسر مسیرها و معابر عمل کند. این دغدغه‌ای

است که انتخاب دقیق پارچه و مکانیسم تمیز کننده را برای بگ‌هاوس طلب می‌کند. بافت مناسب و هرگونه بهبود از پیش تعیین شده در کیفیت ساخت پارچه می‌تواند بر زمان بازسازی کیک تأثیرگذار باشد. فیلتراسیون و تمیزسازی بی‌کیفیت مقاومت فیلتر را افزایش خواهد داد، از این رو، کیسه‌ها باید کاملاً تمیز شوند تا تأثیر مقاومت فیلتر را کاهش دهند.



شکل (۴-۵) نمودار عملکرد بگ‌هاوس چندبخشی

اگر بتوان زمان بازسازی کیک را به حداقل رساند، به تبع آن افت فشار نیز پایین‌تر خواهد آمد، در نتیجه میزان و نرخ فیلتراسیون مؤثر برای کاربرد یک فیلتراسیون بهینه، طولانی‌تر خواهد شد. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)



شکل (۴-۶) نمودار عملکرد تک کیسه یاسیستم جت پالس

۴-۳-۶ بگ‌هاوس جت پالس (Pulse-jet Baghouse)

در بگ‌هاوس‌های از نوع جت‌پالس، به طور معمول از فیلترهای نمدی به عنوان ماده اولیه کیسه‌های فیلتر استفاده می‌شود (اگرچه از نوع بافندگی آن نیز می‌توان استفاده کرد)، از این رو، هیچ منفذی در مواد پارچه آن وجود نخواهد داشت. به همین دلیل، شکل‌گیری دوره اولین کیک غبار نیز در نمودار عملکرد آن وجود نخواهد داشت و بی‌درنگ دوره فیلتراسیون مؤثر هم‌چنان که غبار توسط کیسه‌ها تمیز شده، آغاز می‌شود. نمودار عملکرد تک کیسه یا (تعداد ردیف کیسه‌ها) سیستم جت پالس، افت فشار در میان این نوع کیسه‌ها اندکی بیشتر از کیسه فیلترهای بافته شده است، یک بگ‌هاوس معمولاً با افت فشار ۴ تا ۶ اینچ آب عمل می‌کند و هرازگاه امکان دارد به بزرگی ۱۰ اینچ آب برسد، در یک بگ‌هاوس جت پالس یک ردیف از کیسه‌ها در یک زمان تمیز می‌شوند، برخی از توده‌های گردوغبار، کیسه‌های در حال تمیز شدن را از کار می‌اندازد، در حالی

که ردیف‌های مجاور هنوز در حال تمیز شدن هستند، سیکل‌های تمیزسازی کیسه آغاز می‌شوند تا افت فشار در سرتاسر بگ‌هاوس در حدود طیف طراحی شده حفظ شود. اگر تمیزسازی در بگ-هاوس در حالت توقف اتاقچه استفاده شود، یک بخش از سرویس خارج شده و تمیزسازی کیسه-ها در آن بخش یا مدول آغاز می‌شود. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۴-۴ عبارت (Air-To-Cloth Ratio) و سرعت فیلتراسیون

(Filtration Velocity)

عبارت سرعت فیلتراسیون و عبارت (air-to-cloth ratio یا A/C) می‌توانند به جای یکدیگر مورد استفاده قرار گیرند، معادله ۴-۶، سرعت فیلتراسیون و تمیزسازی را به روشنی بیان می‌کند.

$$v_f = \frac{Q}{A_c} \quad (۴-۶)$$

V_f =filtration velocity, ft/min (cm/sec)

Q =volumetric air flow rate, ft³/min(cm³/sec)

A_c =area of cloth filter,ft²(cm²)

عبارت air-to-cloth ratio که (gas-to-cloth ratio) نیز بیان می‌شود، نرخ (rate) و برای متوسط سطح فیلتر شده فوت مربع تعریف می‌شود، به طور معمول، واحدهای نرخ A/C به طور روشن به شکل زیر بیان می‌شوند.

$$(ft^3/min)/ft^2 \text{ or } (cm^3/sec)cm^2$$

در بالا واحدهای نرخ به فرم واحدهای سرعت کاهش داده شده‌اند، واحدها برای سرعت فیلتراسیون (ft/min) یا (cm/sec) هستند. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۱-۴-۴ عبارت air-to-cloth ratio gross

این عبارت به صورت ناخالص به مقدار سطح پارچه به کار رفته برای فیلتر و تمیزسازی تمامی بخار گاز خارج شده از دودکش مرتبط است.

۲-۴-۴ عبارت air-to-cloth ratio net, net

این عبارت به صورت خالص به مقدار پارچه‌های در دسترس برای فیلتراسیون و تمیزسازی دو بخش بگ‌هاوس، زمانی که در حالت توقف است، اختصاص دارد. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۴-۵ مقایسه سیستم‌های تمیز سازی کیسه (Bag Cleaning Systems)

(Comparisons)

Air-to-cloth ratio این عبارت تشریح می‌کند که چگونه مقادیر زیادی گازهای کثیف از

داخل سطح بیرونی معینی از کیسه‌ها را تشریح می‌کند.

Air-to-cloth ratio, A low یک حجم کوچک هوای عبوری از سطح یک کیسه را

تشریح می‌کند.

زمانی که نسبت‌های A/C برای مقایسه به کار می‌روند، پیشنهاد می‌شود از واحدهای

$\text{ft}^2(\text{ft}^3/\text{min})$ یا $\text{cm}^2/(\text{cm}^3/\text{sec})$ استفاده شود و نیز زمانی که سرعت فیلتراسیون برای مقایسه

به کار می‌رود، واحدها ft/min یا cm/sec استفاده می‌شود.

Revers-air cleaning baghouse این عبارت برای بگ‌هاوس‌های با سیستم تمیزسازی

هوای معکوس که نرخ Air-to-cloth ratio خیلی پایینی دارند، یا معمولاً برای بگ‌هاوس‌های

با هوای معکوس با رنج سرعت فیلتراسیون بین (۱ الی ۴ ft/min) یا (۰/۵۱ الی ۲/۰۴ cm/sec)

است.

Shaker cleaning beghouses برای بگ‌هاوس‌های با سیستم تمیزسازی لرزاننده که

رنج سرعت تمیزسازی (filtration velocity) بین (۲ الی ۶ ft/min) یا (۱/۰۲ الی ۳/۰۵

cm/sec) دارند، است. به طور کلی، برای یک نرخ جریان معین، پارچه بیشتری در یک بگ‌هاوس

با سیستم تمیزسازی هوای معکوس نسبت به یک بگ‌هاوس با سیستم تمیزسازی لرزاننده نیاز است، از این رو، بگ‌هاوس‌های هوای معکوس، به بزرگ‌تر شدن سایز و ابعاد متمایل هستند.

بعضی اوقات سیستم تمیزسازی بگ‌هاوس توسط ترکیب دو روش با یکدیگر کامل می‌شود، تعداد زیادی از بگ‌هاوس‌ها با هر دو سیستم هوای معکوس و سیستم لرزاننده آرام برای برداشتن کیک غبار از روی کیسه‌ها طراحی شده‌اند، این روش تمیزسازی را سیستم تکاندن (shake) و خالی (deflate) کردن هم‌زمان می‌نامند. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

Pulse-jet cleaning baghouses بگ‌هاوس‌های جت پالس با سرعت‌های فیلترینگ و تصفیه‌سازی بین ۲ الی ۱۵ ft/min یا ۱ الی ۷/۵ cm/sec و یا رنج افت سرعت (۲ الی ۲،۵ ft/min) طراحی شده‌اند، از این رو، در این واحدها به طور معمول از پارچه‌های نمدی به عنوان ماده اولیه کیسه‌ها استفاده می‌شود، مواد نمدی نرخ فیلترینگ (تصفیه سازی) را خیلی خوب و در حد بالایی نگه می‌دارد و با یک سیستم جت پالس پر قدرت تمیزسازی می‌شوند.

به دلیل آنکه نرخ A/C در بگ‌هاوس‌ای جت پالس به طور معمول بالاتر است، عموماً ابعاد و سایز آن‌ها کوچک‌تر از بگ‌هاوس‌های هوای معکوس و بگ‌هاوس‌های لرزاننده خواهد شد، روش تمیزسازی جت پالس به دلیل عدم کاربرد قطعه‌های متحرک در داخل محفظه‌های بگ‌هاوس، بر دیگر روش‌های برتری دارد. علاوه بر این، جت پالس می‌توان کیسه‌ها را به طور پیوسته، بدون مجزا و خارج از سرویس کردن حتی یک بخش، تمیز کند. طول مدت زمان تمیزسازی کوتاه و کمتر از (1.0sec) است. در مقایسه با طول مدت زمان بین فواصل تمیزسازی که تقریباً ۲۰

دقیقه تا چندین ساعت است. ضرر و زیان اصلی روش‌های تمیزسازی پرفشار این است که کیسه‌ها در معرض تنش‌های مکانیکی (mechanical stress) بیشتری هستند، برای این واحدها، پارچه‌ها با پایداری ابعادی (dimensional stability) بالاتر و استحکام کششی (tensile strength) بیشتر مورد نیاز است، مقادیر Air-to-cloth ratio برای روش‌های تمیزسازی پر قدرت در جدول ۱ و مقایسه پارامترهای روش‌های تمیزسازی در جدول ۲ نشان داده شده است. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

نرخ A/C یا Air-to-cloth ratio (سرعت فیلتراسیون)، فاکتور بسیار مهمی است که در طراحی بگ‌هاوس به کار گرفته می‌شود و در عملکرد آن در زمان بهره‌برداری، نقد به سزایی دارد. نرخ و نسبت‌های نامناسب این فاکتور می‌تواند به عملکرد ناکارآمد بگ‌هاوس در زمان بهره‌برداری منجر شود، همچنین، به کارگیری یک نرخ A/C بسیار بالا ممکن است به افزایش یک تعداد مشکلات و مسائل دیگری منجر شود.

میزان بسیار بالای A/C می‌تواند باعث فشردگی غبار روی کیسه‌ای فیلتر و در نتیجه عدم تمیزسازی مناسب و افت فشار بیش از حد مجاز در بگ‌هاوس شود، علاوه بر آن، در زمان روشن بودن بگ‌هاوس، می‌تواند به از کار افتادن دوره شکل‌گیری کیک غبار روی کیسه‌های فیلتر و در نتیجه افت کارایی و اثربخشی فراگیر در بگ‌هاوس منجر شود.

یک مشکل بزرگ‌تر، زمانی است که در ساخت بگ‌هاوس، نرخ A/C خیلی پایینی در نظر گرفته شود، این موضوع هم می‌تواند به افزایش و طولانی‌تر شدن سایز و ابعاد بگ‌هاوس منجر شده و بنابراین، هزینه‌های کلان سرمایه‌گذاری (Capital Cost) به شدت افزایش خواهد یافت.

عبارت Can Velocity عبارت یا عدد (Can velocity) معیار محاسبه جریان عمودی گاز در اطراف کیسه‌ها در بگ‌هاوس است. در واقع، این عدد میزان جریان گاز از اطراف کیسه‌ها را از پایین به بالا در فضای خالی اطراف کیسه‌ها را از پایین به بالا در فضای خالی اطراف کیسه‌ها تعیین می‌کند. حفظ شرایط کاری بگ‌هاوس در رنج و مقدار طراحی شده این عدد در بگ‌هاوس کار بسیار دشواری است. این عدد باید یک نقطه تعادل را بین حرکت سریع گذر از اطراف کیسه و فرصت نشست لایه غبار و تشکیل کیک غبار را روی کیسه‌ها فراهم کند. این عدد از حاصل تقسیم دبی Q و جریان گاز ورودی بگ‌هاوس با واحد (m^3/s) بر کل مساحت فضای خالی اطراف کیسه‌ها با واحد (m^2/s) بر کل مساحت فضای خالی اطراف کیسه‌ها با واحد (m^2) متر مربع) به دست می‌آید.

مساحت فضای خالی اطراف کیسه‌ها دقیقاً به اندازه مساحت صفحه افقی نگه‌دارنده کیسه‌ها است و از تفاضل مساحت مستطیل کل مقطع افقی محفظه بگ‌هاوس از کل مساحت کیسه‌ها به دست می‌آید.

میزان عدد (Can velocity) به گونه‌ای محاسبه می‌شود که در زمان عمل تکاندن کیسه‌ها، کمترین غبار به همراه جریان گاز از فیلتر خارج شود. شرکت‌های سازنده بگ‌هاوس در مورد

فاکتور (Can velocity) ، روش‌ها و ایده‌های متفاوت و متمایزی نسبت به یکدیگر دارند.

(ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۴-۶ نوع دیدگاه سازندگان بگ‌هاوس در مورد Can velocity

بعضی از سازندگان بگ‌هاوس عدد Can velocity را ملاک و معیار طراحی‌های خود قرار

داده، محفظه و داکتینگ بگ‌هاوس را به گونه‌ای طراحی می‌کنند تا الزاماً گاز ورودی از پایین

کیسه‌ها از داخل هاپر وارد فیلتر شود و از اطراف کیسه‌ها به سمت بالای آن جریان یابد. این

سازندگان فاصله کیسه‌ها از یکدیگر، طول و بزرگی محفظه بگ‌هاوس برای تأمین فضای مورد نیاز

را در طراحی خود مد نظر قرار می‌دهند. عدد Can velocity در طراحی‌های این سازندگان در

رنج ۰/۹۸ الی ۱ (m/s) قرار دارد و اعتقاد دارند این عدد نباید از عدد ۱ بالاتر رود.

جدول (۴-۱) ضرایب مقاومت

نسبت هوای معمولی به پارچه (سرعت فیلتر کردن) مقایسه ای برای سه مکانیسم فیلتر کردن

Typical air-to-cloth ratio (filtration velocity) comparisons for three cleaning mechanisms				
Cleaning mechanisms	Air-to-cloth ratio		Filtration velocity	
	(cm ³ /sec)/cm ²	(ft ³ /min)/ft ²	cm/sec	ft/min
Shaking	1 to 3:1	2 to 6:1	1 to 3:1	2 to 6:1
Reverse-air	0.5 to 2:1	1 to 4:1	0.5 to 2:1	1 to 4:1
Pulse-jet	1 to 7.5:1	2 to 15:1	1 to 7.5:1	2 to 15:1

Note: These may vary for specific applications.

سرعت فیلتر کردن . نسبت هوا به پارچه . مکانیسم پاکیزه سازی

گروهی از سازندگان دیگر به طور کل، به کاربرد عدد **Can velocity** و ورود گاز از پایین به بالا در اطراف کیسه‌ها اعتقادی نداشته و کاربرد عدد فوق را به طراحی‌های قدیمی مربوط می‌دانند و در طراحی‌های خود از روش‌های جدید و پیشرفته‌ای به صورت نرم‌افزاری استفاده می‌کنند. در روش این سازندگان گاز ورودی توسط صفحه‌های دفلیکتور یا صفحه‌های توزیع کننده و توسط کانال ورودی به گونه‌ای در بین کیسه‌ها توزیع می‌شود که گاز در همان ابتدا به دو بخش تحتانی و فوقانی تقسیم شده و نیمی در پایین کیسه‌ها و نیم دیگر در بالای کیسه‌ها به صورت افقی جریان می‌یابد. معمولاً در بگ‌هاوس‌های ساخت این سازندگان عدد **Can velocity** در رنج (۱/۳ الی ۱/۵ m/s) قرار دارد.

سازندگان دیگری که در طراحی‌های خود از سیستم تمیزسازی در وضعیت **Off-line** استفاده می‌کنند، در زمان تکاندن کیسه‌ها به هریک از روش‌های لرزاندن یا جت پالس، آن اتاقچه (compartment) کاملاً از مدار خارج شده و بدون آنکه جریان گازی در آن برقرار باشد، کیسه‌ها تمیز می‌شوند، به همین دلیل کاربرد عدد **Can velocity** در طراحی‌های این قبیل سازندگان جایگاهی ندارد. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۴-۷ نتیجه‌گیری در مورد فاکتور **Can velocity**

به طور کلی سازندگانی که از روش‌های تمیزسازی لرزاندن یا جت پالس در وضعیت **on-line** استفاده می‌کنند، اگر عدد **Can velocity** را در طراحی‌های خود رد نظر بگیرند، تلاش

می‌کنند که عدد فوق نزدیک به عدد ۱ و حتی پایین‌تر از عدد ۱ باشد. کاربرد یا عدم کاربرد این عدد در طراحی‌ها و بالا و پایین‌تر بودن آن از عدد ۱ هرگز نمی‌تواند به عنوان یک معیار و ملاک برای رد یا تأیید روش درست طراحی یک شرکت مطرح باشد. به عنوان نمونه، یک شرکت معتبر و مطرح اتریشی عنوان می‌کند عدد Can velocity معیار و ملاک طراحی‌های آن شرکت نیست و ممکن است در زمان کار بگ‌هاوس عدد فوق در رنج ۱/۵ الی ۱/۶ m/s قرار داشته باشد.

مهم‌ترین موضوعی که در مورد این عدد باید مدنظر باشد، این است که عملاً عدد Can velocity تحت تأثیر بسیار شدید دانسیته و غلظت گاز، افت فشار (pressure drop)، مقاومت فیلتر، سرعت فیلتراسیون، نسبت، شرایط محیطی و اقلیمی و شرایط پروسسی است و به همین دلیل، این عدد در عمل بسیار متغیر و در نوسان است. به همین دلیل، در طراحی‌های جدید خیلی ملاک عمل واقع نمی‌شود.

۴-۷-۱ راندمان فیلتراسیون

راندمان فیلتراسیون، توانایی فیلتر برای جمع‌آوری ذرات از جریان هوا است. میانگین راندمان فیلتراسیون در طول عمر فیلتر در انتخاب و طراحی تجهیزات غبارگیر مؤثر است. چنانچه میزان غبار ورودی از میزان سطح مؤثر فیلتراسیون بیشتر باشد، راندمان و کارایی فیلتر کاهش می‌یابد. بنابراین، باید حداکثر غلظت آلاینده‌گی، شرایط پروسس و ... مد نظر قرار گیرد. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰-فروردین ۱۳۹۲)

۴-۷-۲ افت فشار

جریان هوایی که از سطح کیسه عبور می‌کند، با دو مقاومت مواجه می‌شود که یکی از آن‌ها مقاومت خود کیسه و دیگری مقاومت ناشی از ذرات گردوغبار موجود بر سطح کیسه است که در کل تحت عنوان افت فشار سطح فیلتر خوانده می‌شوند. مقاومت اولیه کیسه اغلب توسط سازنده آن اعلام می‌شود، اما این مقاومت تنها برای لحظه اول و هنگامی که فیلتر تمیز بوده، صادق است. در هنگامی که فیلتر تمیز است، حداقل مقاومت که مقدار ثابتی نیز است، روی سیستم وجود دارد که عبارتست از مقاومت ناشی از پارچه تمیز. همچنین، می‌توان از نتایج اندازه‌گیری و روش‌های آزمایشی انجام شده از سوی سازمان‌های مختلف نیز برای تعیین مقاومت فیلتر استفاده کرد. به عنوان نمونه، ASTM در روش آزمایشی خود برای تعیین مقاومت پارچه تمیز، آن‌ها را در برابر $10-110 \text{ ft}^3/\text{min-f2}^2$ (0/5³/min-m²33-3) با اختلاف فشار $0.5 \text{ in (1.27cm)} \text{H}_2\text{O}$ قرار می‌دهد. عموماً در سرعت‌های کم، جریان هوای عبوری از میان کیسه، گرانیوی (ویسکوزیته) بالاتری دارد، افت فشار فیلتر مستقیماً با سرعت جریان متناسب است:

$$\Delta P_1 = K_1 V \quad (7-4)$$

که ΔP_1 افت فشار فیلتر (inwg یا cmH₂O) و V سرعت جریان هوا هستند. در عمل کمیت k به صورت تجربی تعیین می‌شود که به طور تئوریکی برآوردی از ضریب مقاومت پارچه هستند. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\Delta P_1 = -\left(\frac{vk}{\mu}\right) + \rho g \quad (۸-۴)$$

که k ضریب kozeny سرعت داخل پارچه، μ و ویسکوزیته، ρ دانسیته و g ثقل زمین است. در این رابطه مقدار k در محدوده $۱۰^{-۱۲}$ تا $۱۰^{-۱۶}$ فوت مربع ($۱۰^{-۸}$ تا $۱۰^{-۱۵}$ متر مربع) قرار دارد. هم‌چنین، مقدار k را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$k = \frac{\varepsilon^3}{cS^2} \quad (۹-۴)$$

ε حجم خلل و فرج (بدون واحد)، c ثابت نفوذپذیری، k ضریب kozeny و s مساحت ویژه در واحد حجم مدیای خلل و فرج کیسه $[ft^{-1}(m^{-1})]$ هستند. فرض کنید نحوه بافت الیاف کیسه cross-flow موازی یکنواخت باشد و هم‌چنین فرض کنید که نحوه استقرار کیسه به صورت سیلندری باشد، در این حالت ثابت c برای جریان هوایی که جهتی هم‌راستا با سیلندر مذکور دارد، برابر است با:

$$c = \frac{2\varepsilon^3}{\{(1-\varepsilon)[2\ln\frac{1}{1-\varepsilon} - 3 + 4(1-\varepsilon) - (1-\varepsilon)^2]\}} \quad (۱۰-۴)$$

و هنگامی که جریان در جهت قائم بر سیلندر است:

$$c = \frac{2\varepsilon^3}{\{(1-\varepsilon)[\ln(\frac{1}{1-\varepsilon})\frac{1-(1-\varepsilon)^2}{1+(1-\varepsilon)^2}]\}} \quad (۱۱-۴)$$

پس از این که سیستم شروع به کار و پالایش هوا کرد، لایه گردوغبار موجود روی کیسه باعث افزایش افت فشار در سیستم می‌شود. این افت فشار یا مقاومت با افزایش زمان (هم‌چنان که ضخامت ذرات روی فیلتر بیشتر می‌شود) افزایش می‌یابد. مقدار این افت فشار را می‌توان با استفاده از رابطه زیر به دست آورد:

$$\Delta P_2 = K_2 v^2 L t \quad (4-12)$$

که ΔP_2 تغییر افت فشار در فاصله زمانی t ، $[t[(\text{cmH}_2\text{O})\text{inH}_2\text{O}]$ سرعت سیال v ، $[(\text{ft}/\text{min})(\text{m}/\text{min})]$ غلظت ذرات ورودی L ، $[(\text{lb}/\text{ft}^3)(\text{kg}/\text{m}^3)]$ ، t زمان (min) و k_2 ضریب مقاومت لایه گرد و غبار $\left[\frac{\text{in}(\text{water})}{(\text{lb}_m \text{dust}/\text{ft}^3)(\text{ft}/\text{min})} \right]$ یا $\left[\frac{\text{cm}(\text{water})}{(\text{kgdust}/\text{m}^3)(\text{m}/\text{min})} \right]$ هستند با استفاده از روش kozeny-carman می‌توان مقدار k_2 را به صورت زیر به دست آورد:

$$K_2 = (3.2 \times 10^{-3}) \left(\frac{k}{g} \right) \left(\frac{\mu f s^2}{\rho \rho} \right) \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3} \right) \quad (4-13)$$

که k ضریب kozeny-carman، خلل و فرج در لایه گرد و غبار سطح کیسه (بدون واحد)، ρ_p دانسیته ذرات (lb/ft^3) و μ_r ویسکوزیته سیال و $(\text{lb}_m/\text{s ft})$ مساحت سطح ویژه در حجم ذرات موجود در لایه گردوغبار سطح کیسه (ft^{-1}) هستند. این رابطه نشان می‌دهد، ذراتی پالایش می‌شوند که قطر کوچک‌تری داشته و در نتیجه آن خلل و فرج موجود در لایه ذرات نشسته بر سطح کیسه کاهش یافته بنابراین k_2 افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توان گفت هرچه مقدار k_2 بیشتر باشد، افت فشار در سیستم بیشتر بوده و خلل و فرج کمتر می‌شود.

تعیین مقدار ضریب مقاومت گردوغبار فیلتر برای پیش‌بینی افت فشار عملیاتی سیستم ضروری و هم است. این اطلاعات باید با سرعت فیلتراسیون و فاصله زمانی تکاندن کیسه‌های فیلتر همراه باشد. در جدول ۱ ضرایب مقاومت و در جدول ۲، ویژگی‌های فنی و مهندسی برای ذرات جامد در محدوده اندازه‌های ۰/۱ تا ۱۰۰ میکرون با دانسیته ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب آمده است. برای مقادیر موجود در ستون، سطح ویژه فرض شده است که ذرات کروی بوده و در شرایط استاندارد (SC) دمای ۷۰ درجه فارنهایت (۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد) و فشار یک اتمسفر قرار دادند. (ماهنامه سیما - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

روابط و جدول‌های مذکور نشان می‌دهند که پارامترهای مختلفی مانند افت فشار، سرعت جریان ورودی هوا به سیستم و زمان همراه با دو ویژگی فیزیکی سیال و ذرات پالایش شده روی راندمان سیستم اثرگذار هستند. همچنین، مقدار k_2 به توزیع اندازه ذرات وابسته است. عموماً ذرات توزیع احتمالی log-normal دارند. دو آلایند با میانگین اندازه جرمی یکسان می‌توانند توزیع اندازه کاملاً متفاوتی از یکدیگر داشته باشند که می‌تواند روی خلل و فرج لایه گردوغبار سطح کیسه اثر بگذارد، اما در معادلات تئوریک موجود شکل ذرات لحاظ نشده است و برای انجام محاسبات از قطر آئرودینامیکی برای مشخص کردن اندازه ذرات استفاده می‌شود. اگر مشخصات و اطلاعاتی در زمینه فاکتورهای موجود در فرمول $\Delta P_f = k_f v^2 L t$ وجود نداشته باشد، کار بسیار مشکل شده و باید آن‌ها را بر اساس تجربه برآورد کرد. اما اگر ضریب k مشخص باشد، هر یک از پارامترهای رابطه فوق را می‌توان براساس متغیرهای موجود دیگر تعیین کرد. افت

فشار استاتیک ایجاد شده در کیسه، در یک جریان مشخص از سیال مقدار ثابتی دارد. همچنین، می‌توان از واژه مقاومت به جای افت فشار استفاده کرد. ظرفیت نگهداری گردوغبار در یک فیلتر و میزان گردوغباری که فیلتر می‌تواند در زمان عبور جریان سیال ویژه که آن فیلتر با ماکزیمم افت فشار کار می‌کند در خود نگه دارد، می‌تواند با توجه به نوع فیلتر و عملکرد آن تغییر یابد.

جدول (۲-۴) ضرایب مقاومت فیلتر- گردوغبار برای گردو غبارهای صنعتی

برای ذرات کوچکتر

k ₂ (in. water per lb of dust per ft ² per ft per m in of filtering velocity) ^a							
for particle size less than the following							
Dust	Coarse ^b		Medium ^b			Fine ^b	
	~800μm	~100μm	~44μm	<90μm	<45μm	<20μm	<2μm
Granite	1.58	2.2				19.8	
Foundry	0.62	1.58	3.78				
Gypsum			6.3			18.9	
Feldspar			6.3			27.3	
Stone	0.96			6.3			
Lamp black							47.2
Zinc oxide							15.7°
Wood				6.3		25.2	
Resin (cold)	0.62		11				
Oats	1.58		9.6	8.8			
Corn	0.62		1.58	3.78			

غبار - گرانیت - ریخته گری - گچ - فلدسپات - سنگ - دوده - اکسید روی - چوب - رزین - جو - ذرت

$$A = \frac{IN\ WATER}{(IB / FT^2)(FT / MIN)} = \frac{1.75CM\ WATER}{(KG / M^2)(M / MIN)} \quad (۱۴-۴)$$

جدول (۳-۴) مقایسه ضریب مقاومت فیلتر- گرد و غبار محاسبه شده و مشاهده شده

اندازه ذره (میکرون)	S (ft ¹)	ε	(1-ε)/ε	ضریب مقاومت ()	
				in H ₂ O/(lb/ft ²)(ft/min)	
				محاسبه شده	مشاهده شده
۰/۱	۱/۸۳×۱۰ ^۲	۰/۲۵	۴۸	۴۱۲۰۰	۷۱۵
۱	۱/۸۳×۱۰ ^۶	۰/۴	۹/۳۸	۷۰۵	۱۸۰
۱۰	۱/۸۳×۱۰ ^۵	۰/۵۵	۲/۷	۲/۳۲	۱۲
۱۰۰	۱/۸۳×۱۰ ^۴	۰/۷	۰/۸۷۸	۱۰ ^{-۲} *۷/۵۶	۰/۲

افت فشار ایجاد شده از یک فیلتر نشان دهنده نیروی دراک کل تمام فیبرهای کیسه است.

برابر یک رابطه تجربی افت فشار ایجاد شده در فیلتر را برای $0.006 < a_s < 0.3$ می توان از رابطه

زیر به دست آورد:

$$\Delta p = \frac{64\mu H_f U_0 a_s^{1.5} (1 + 56\alpha_s^3)}{d_f^2} \quad (۱۵-۴)$$

که ΔP افت فشار (پاسکال)، μ ویسکوزیته هوا، H_f ضخامت فیلتر، U_0 سرعت سطحی هوا،

a_s فشردگی و D_f قطر کیسه هستند. با توجه به رابطه فوق افت فشار فیلتر رابطه مستقیم با

ویسکوزیته هوا، ضخامت فیلتر، فشردگی و سرعت در سطح و رابطه معکوس با D_f^2 دارد.

در عمل افت فشار را می توان با دستگاه های مخصوص و پارامترهای H_f, a_s, U_0 به سادگی

اندازه گیری کرد. بنابراین، با استفاده از رابطه فوق می توان قطر معادل فیبر فیلتر را تعیین

کرد. همچنین با استفاده از نمودار ۱ می توان افت فشار را در تراکم الیاف ها و قطرهای مختلف فیبر - کیسه ها در شرایط استاندارد تعیین کرد. چون افت فشار مستقیماً متناسب با سرعت در سطح و ضخامت کیسه است، افت فشار در دیگر سرعت های سطحی و ضخامت های متفاوت کیسه را می - توان به سادگی با استفاده از نمودار ۴-۱ به دست آورد.

به عنوان نمونه، در $a_s=0/05$ و $d_r=40$ میکرون، افت فشار در حدود ۱۵ پاسکال در سرعت سطحی ۱ متر بر ثانیه و ضخامت فیلتر ۱ میلی متر است. در سرعت سطحی ۲ متر بر ثانیه و ضخامت فیلتر ۳ میلی متر، افت فشار در حدود ۹۰ پاسکال خواهد شد.

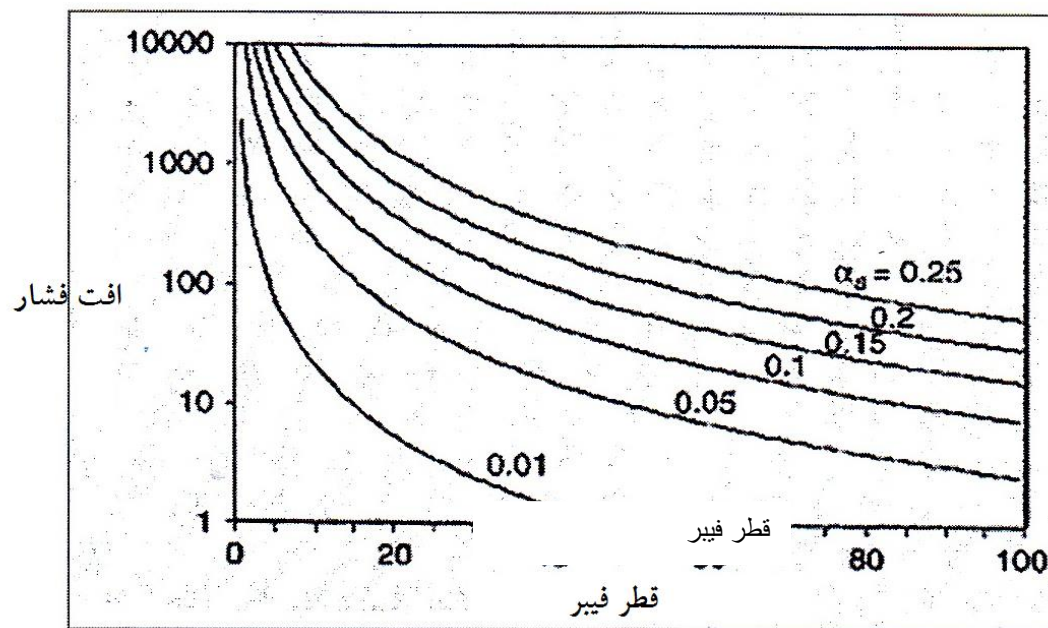
یک معیار کمی مناسب برای مقایسه عملکرد کیسه های مختلف تعداد کیسه است که رابطه لگاریتمی با راندمان فیلتراسیون و رابطه معکوس با افت فشار دارد. تعداد کیسه را می توان با استفاده از رابطه زیر بدست آورد:

$$q_f = \frac{-\ln(1-\eta_f)}{\Delta p} = \frac{4a_s \eta_f \Sigma H_f}{\pi d_f \Delta p} \quad (۴-۱۶)$$

همان گونه که مشخص است، q_f با افزایش راندمان و کاهش افت فشار افزایش می یابد. هرچه مقدار q_r بزرگ تر شود، عملکرد فیلتر در جمع آوری آلاینده ها بیشتر می شود. مقایسه q_r در بین فیلترها باید در سرعت جریان یکسان و ذرات با اندازه برابر صورت گیرد. استفاده از کیفیت فیلتر برای مقایسه آن ها با یکدیگر به علت ایجاد محدوده وسیعی از پارامترها و متغیرهای مختلف اصولاً انجام نمی گیرد. از کیفیت فیلتر تنها برای مقایسه دو پارامتر می توان استفاده کرد (برای نمونه، افت فشار و راندمان فیلتر). در حالی که فاکتورهای دیگری مانند هزینه، تجهیزات نگهداری و

ظرفیت نگهداری گردوغبار ممکن است در برخی از کاربردها مؤثرتر از افت فشار و راندمان

باشند. (ماهنامه سیما شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)



نمودار (۱-۴) افت فشار فیلترها در سرعت در سطح مختلف

۴-۸ کشش فیلتر

کشش فیلتر (Filter Drag) عبارت است از مقاومت فیلتر در عرض لایه غبار-الیاف. رابطه

کشش فیلتر اساساً افت فشار ایجاد شده در واحد سرعت را ارائه می‌دهد که تابعی از مقدار غبار

جمع شده روی الیاف کیسه است:

$$s = \frac{\Delta P}{V_f} \quad (۱۷-۴)$$

که S کشش فیلتر (in.H₂O/(ft/min)) یا (cm.H₂O/(cm/sec))، افت فشار فیلتر و لایه گردوغبار در سطح کیسه (in.H₂O/(ft/min)) و V_t سرعت فیلتراسیون (ft/min) یا (com/sec) هستند.

تجهیزات غبارگیر براساس ۵ پارامتر انرژی مورد انرژی مورد نیاز، نوع بافت پارچه، نوع سیستم تکاندن، خدمات و کاربرد تقسیم‌بندی می‌شوند. اولین گروه شامل تجهیزات غبارگیر با انرژی بالا (high-energy) و انرژی پایین (low-energy) هستند، برای یک عملکرد مشخص و یکسان در تجهیزات غبارگیر معمولاً، سیستم‌های با انرژی بالا راندمان بالاتری دارند، اما در نهایت این به اندازه، توزیع اندازه و نوع پارچه مورد استفاده برای انجام عمل فیلتراسیون وابسته است. معمولاً انرژی و راندمان با یکدیگر رابطه مستقیم دارند، یعنی هرچه انرژی مورد نیاز سیستمی بیشتر باشد (یا افت فشار در سیستم بیشتر باشد)، راندمان فیلتراسیون بیشتر می‌شود.

برای تکاندن کیسه‌های موجود در سیستم‌های با انرژی بالا معمولاً از سیستم جت پالس استفاده می‌شود. در حالی که برای تکاندن کیسه‌های مورد استفاده در سیستم‌های با انرژی پایین، از مکانیسم هوای معکوس یا لرزاندن استفاده می‌شود. در سیستم‌های با جریان جت پالس جریان هوا از میان جت‌های نازل در کسری از زمان با فشار بالا ایجاد شده و باعث زدوده شدن ذرات از روی فیلتر می‌شود. مکانیسم پاک‌سازی توسط این روش در شکل ۱ نشان داده شده است.

مکانیسم عمل جت پالس نی به دو صورت است: در حالت اول در یک مدت زمان معین و برنامه‌ریزی شده جت پالس عمل می‌کند و در حالت دوم، یک سنسور حساس به فشار

(Pressure Switch) وجود دارد که در صورت افزایش فشار، سنسور عمل کرده و جریان جت پالس برقرار می‌شود.

در استفاده از فیلترهای نمدی بیشتر از سیستم‌های جت پالس برای تمیز کردن آن‌ها استفاده می‌شود. در پارچه‌های نمدی گردوغبار جمع‌آوری شده در داخل خلل و فرج الیاف آن وارد شده و بنابراین، گردوغبار زدایی از آن توسط دو روش قبلی به خوبی صورت نمی‌گیرد. در نتیجه، تمیز کردن فیلترها با استفاده از جریان جت پالس راندمان بیشتری از دو روش دیگر دارد. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۶۴ - مهر ۱۳۹۰)

۴-۹ اعمال سیستم جت پالس به دو روش در تجهیزات غبارگیر

۱. online: در این حالت سیال به صورت عادی از سیستم در حین تمیز کردن فیلتر عبور می‌کند.

۲. off line: در این حالت در یک قسمت از فیلتر سیال عبور نمی‌کند و جت پالس صورت می‌گیرد. سپس در مرحله بعد، آن قسمتی از سیستم که جت پالس نشده است غبارروبی شده و سیال از قسمت دیگر عبور خواهد کرد. در سیستم‌های جت پالس، کاربرد روش اول بیشتر از روش دوم است. کارایی سیستم on line در جمع‌آوری ذرات مانند سیستم on line نیست، اما سیال خارج شده ناشی از عدم ته‌نشینی ذرات در الیاف کیسه پس از الیاف کیسه پس از پالس زیاد است. تمیز کردن پارچه‌ها براساس سیستم off line باعث نشت بهتر ذرات در درون محفظه پایینی آن

قبل از انجام دوباره فیلتراسیون می‌شود. اما این سیستم پیچیده بوده و هزینه‌های زیادی در نصب، مانند استفاده از دمپرها دارد.

در سیستم‌های با انرژی پایین استفاده از روش هوای معکوس و تکان دادن، تقریباً به صورت ۵۰-۵۰ انجام می‌گیرد. تکان دادن ساده‌ترین مکانیسم برای پاک‌سازی فیلترها در این گروه است. جریان هوای معکوس عبارت است از انتقال هوا روی فیلترها در جهت مخالف جریان اصلی هوا که در اثر این عمل ذرات از روی فیلتر زدوده می‌شوند.

۴-۱۰ ملاحظات طراحی

تجهیزات غبارگیر هنگامی به درستی عمل می‌کنند که در هنگام طرای متغیرهای کلیدی زیر مدنظر قرار گرفته باشند:

۱. جنس فیلتر: جدول ۴-۵ ویژگی‌های چند نوع از فیلترها را نشان می‌دهد که در هنگام طراحی باید مورد توجه قرار گیرند.

۲. روش تکاندن: در تجهیزات غبارگیر از چهار روش برای تکاندن فیلترها استفاده می‌شود که با توجه به شرایط مختلف مانند نوع پارچه باید از یکی از این روش‌ها استفاده کرد.

۳. نسبت جریان هوا به سطح پارچه: (Air to cloth ratio) این فاکتور یکی از مهم‌ترین متغیرها در هنگام طراحی فیلتر است که در ادامه، توضیح داده خواهد شد.

۴. شکل فیلتر: با توجه به تعداد تیوب شیت‌های به دست آمده از مرحله قبل، ابعاد تعیین می‌-

شوند (این قسمت نیز در ادامه شرح داده شده است).

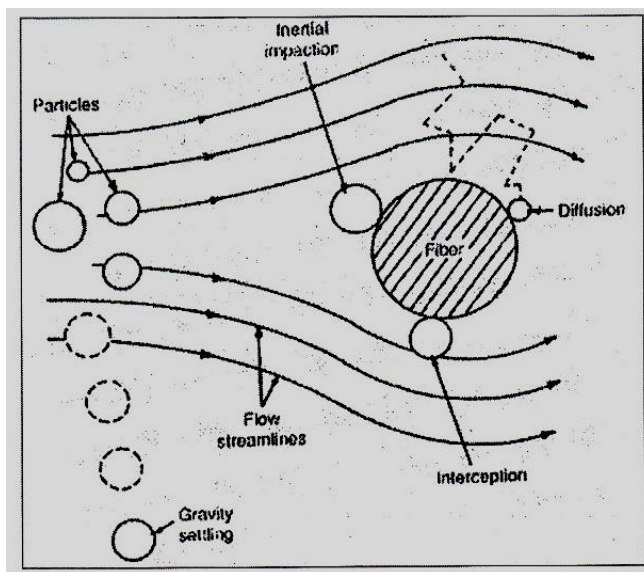
۵. جنس بدنه و اسکلت غبارگیر.

۴-۱۱ نسبت هوا با پارچه (Air to cloth ratio-A/C)

سرعت فیلتراسیون همان نسبت هوا به سطح پارچه (A/C) است که واحد آن فوت بر دقیقه است. این نسبت از ۱:۱۰ تا ۱۰:۱ می‌تواند در طراحی فیلتر محاسبه شود. تجهیزات غبارگیری که مکانیسم پاک‌سازی در آن‌ها به صورت تکان دادن یا جریان معکوس است، معمولاً نسبت هوا به سطح پارچه ۱:۳-۱:۱ را دارند که در سیستم‌های جت پالس این نسبت بزرگ‌تر است. مکانیسم عمل جمع‌آوری ذرات توسط هریک از مکانیسم‌های برخورد مستقیم، برخورد مماسی و انتشار در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. مکانیسم برخورد مستقیم برای ذرات با قطر بزرگ‌تر از ۱ میکرون هنگامی که جریان هوا از میان فیبر فیلتر عبور می‌کند، مکانیسم مؤثری است؛ ذرات با جرم و اینرسی بالا به یکدیگر برخورد کرده و توسط فیلتر گرفته می‌شوند. برخورد مماسی هنگامی ایجاد می‌شود که حرکت ذرات در جریان هوا در نزدیکی و مجاورت فیبر کیسه باشد. به عبارت دیگر، مسیر حرکت ذرات مماس بر سطح کیسه است که در این حالت ذرات توسط مکانیسم مماسی توسط فیلتر جداسازی می‌شوند. انتشار عبارت است از حرکت اتفاقی و تصادفی ذرات که توسط آن ذرات با فیبرهای کیسه تماس پیدا کرده و به آن‌ها می‌چسبند. اثر انتشار در فیلتر با کاهش اندازه ذره افزایش می‌یابد و تنها برای ذرات ساب میکرونی مؤثر است.

هنگامی که نسبت هوا به سطح پارچه بالاتر در نظر گرفته شود، راندمان جمع‌آوری توسط مکانیسم اینرسیایی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، سرعت در سطح افزایش یافته و در نتیجه راندمان افزایش می‌یابد. از طرف دیگر در مکانیسم انتشار نسبت هوا به سطح پارچه بالا، باعث کاهش زمان ماند برای جمع‌آوری ذره می‌شود. به طور عمومی می‌توان گفت نسبت هوا به سطح پارچه در شرایط نرمال ۳:۱ است که البته این نسبت می‌تواند تا ۶:۱ و بالاتر نیز افزایش یابد. رابطه یا معادله‌ای که بتوان توسط آن این نسبت را تعیین کرد، وجود ندارد. بنابراین، نسبت مذکور به صورت تجربی تعیین می‌شود. البته، لازم به ذکر است که نوع گردوغبار و مکانیسم پاک‌سازی فیلتر در تعیین نسبت هوا به سطح پارچه مؤثر هستند.

انتشار - فشار داخلی - ذرات



مانع - جریان ساده - ذره سنگین

شکل (۷-۴) مکانیسم جمع‌آوری ذرات توسط فیلتر (ماهنامه سیمان-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)

برای ارزیابی عملکرد یک فیلتر نسبت A/C و جریان انتشار هوا به سطح پارچه هوا به سطح

پارچه $(Q_{e,a})$ برای محاسبه سطح پارچه (A_{nc}) مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان

گفت:

$$\frac{Q_{e,a}}{A/C} = A_{nc} \quad (18-4)$$

$Q_{e,a}$ میزان جریان کل، A/C نسبت هوا به پارچه $acfm/ft^2$ یا ft/min و A_{nc} سطح

واقعی پارچه (ft^2) هستند.

سطح واقعی پارچه برار سطحی از کیسه است که در هر لحظه از زمان در مسیر جریان هوای

همراه گاز غبارآلود قرار دارد که با سطح کلی پارچه (A_{tc}) یعنی کل سطح پارچه موجود در یک

فیلتر متفاوت است. در جدول ۴ فاکتور تعیین سطح کلی پارچه با استفاده از سطح واقعی آن آورده

شده است. به عبارت دیگر، از حاصل ضرب فاکتور تعیین سطح کلی پارچه در سطح واقعی آن می

توان سطح کلی پارچه را به دست آورد:

$$A_{nc} \times \text{Factor} = A_{tc} \quad (19-4)$$

تجهیزات غبارگیر کیسه ای (بگ هاوس ، بگ فیلتر) با نسبت هوا به پارچه بالا به تعداد کیسه

های کمتر و فضای کمتری نیاز دارند و ممکن است هزینه کمتری نیز داشته باشند. (ماهانامه سیمان

—شماره ۱۸۰—فروردین ۱۳۹۲)

جدول ۴-۴ اعداد ثابت برای تعیین سطح کلی پارچه

اعداد ثابت برای تعیین A_{tc}	$A_{nc}(ft)^2$
2	1-4000
1/5	4001-12000
1/25	12001-24000
1/17	24001-36000
1/125	36001-48000
1/11	48001-60000
1/1	60001-72000
1/09	72001-84000
1/08	84001-96000
1/07	96001-108000
1/06	108001-132000
1/05	132001-180000

نوع و اندازه رسوب دهنده ها به اندازه ویژگی های جریان گاز، ذرات همراه آن، هواگذر

(Air to cloth ratio) و راندمان جمع آوری مورد نیاز تعیین می شود.

معیار عملکرد فیلترهای پارچه ای علاوه بر مکانیزم های موثر در عمل جمع آوری آلاینده ها

(برخورد مماسی، برخورد مستقیم، انتشار، ته نشینی ثقلی و ربایش الکترواستاتیک) قطر، ضخامت و

فشرده گی الیاف فیلتر نیز در پالایش هوا نقش بسیار مهمی را دارند. در هنگام طراحی علاوه بر

راندمان جمع آوری ذرات فیلتر، باید فاکتورها و معیارهای دیگری نیز مورد توجه قرار گیرند.

از جمله این فاکتورها می توان هزینه (شامل هزینه اولیه و هزینه نگهداری) و فضای مورد نیاز و افت فشار را نام برد و با قرار دادن تمام این فاکتورها در هنگام طراحی، محدوده وسیعی از انواع فیلترهای هوا و دیگر پالایشگرها ایجاد می شود و مقایسه درست واقعی فیلترها تنها می تواند از روی اطلاعات به دست آمده از روش های آزمایشی استاندارد شده به دست آید. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰-فروردین ۱۳۹۲)

۴-۱۲ ساختار فیلتر

کیسه های فیلتر می توانند از مواد بافتنی یا غیر بافتنی ساخته می شوند. مواد غیر بافتنی قابل تقسیم به دو دسته نمدی و غشایی است. بیشتر کیسه ها به طور کامل یا جزئی با پوششی از الیاف که معمولاً اسکریم نامیده می شوند، ساخته می شوند. فیلترهای بافته شده از الیاف با طرح تکراری معین ساخته می شوند. فیلترهای نمدی از الیافی که به طور فشرده روی یک حصیر قرار گرفته اند، ساخته شده اند.

فیلترهای غشایی متشکل از الیافی هستند که به طور تصادفی با یک توده فشرده شده بافته شده اند. این فیلترها با یک غشای نازک اسفنجی به اسکریم یا ساپورت پارچه ای پیچیده می شوند. فیلترهای بافته شده به طور کلی برای روش های تمیزکاری با انرژی پایین مانند لرزاندن و هوای معکوس استفاده می شوند.

پارچه های نمدی برای سیستم های تمیزکاری با انرژی بالاتر مانند جت-پالس به کار می روند. فیلتر های غشایی برای به دست آوردن کارایی بهتر در جدا کردن ذرات و در شرایطی که رطوبت گاز بالا بوده و مشکلات کاهش فشار پی در پی وجود دارد طراحی می شوند.

۴-۱۲-۱ فیلترهای بافته شده

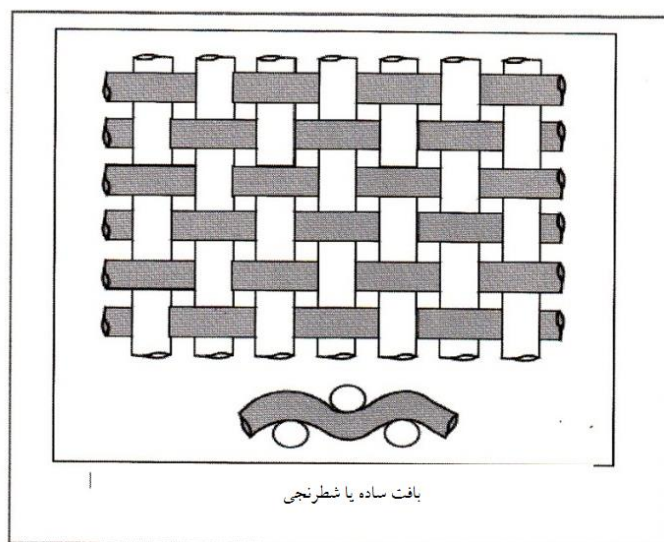
فیلترهای بافته شده فضاهایی خالی در اطراف بافت ها دارند. طرح این بافت ها به کاربرد فیلتر بافته شده بستگی دارد. ساده ترین بافندگی، الیاف مانند زیر و رو مانند شکل ۱ بافته می شوند. این بافت تنگ ترین نوع بافت است که کوچک ترین سوراخ ها را در کیسه دارد. در نتیجه ذرات را خیلی سریع جذب کرده و از ورود آنها ممانعت می کند. این بافت به طور مداوم استفاده نمی شود، زیرا کیسه ها فشار بالایی دارند.

بافت های دیگر شامل Twill و Satin هستند. در بافت Twill، الیاف دوتا در رو و یکی در زیر بافته می شود که به آن Twill دو به یک گفته می شود. در Twill سه به یک، سه تا در رو و یکی در زیر بافته می شود.

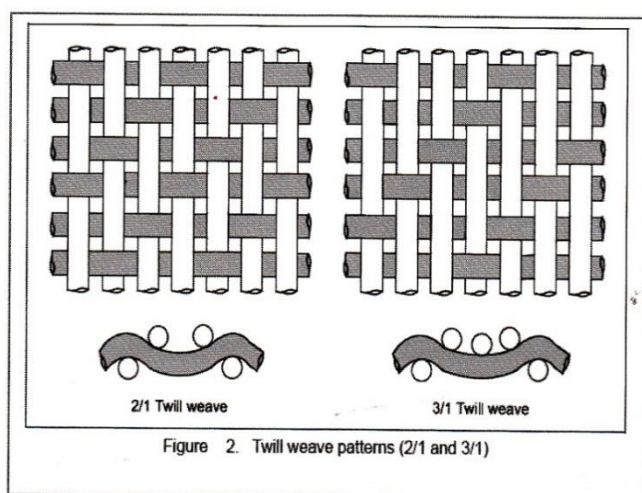
بافت Twill ذرات را مانند بافت ساده در خود نگه نمی دارد. بنابراین، خیلی زود کور نمی شود (منافذ آن بسته نمی شود). کوری کیسه ها موقعیتی است که در آن ذرات خاکی پشت فیلتر انباشته شده و دستگاه تمیزکاری قادر به برداشت آنها نباشد. بافت Twill اجازه عبور میزان جریان خوب از میان فیلتر و مقاومت بالا نسبت به گرفتگی رابه ما می دهد.

در بافت Stain الیاف یکی رو و چهار تا زیر در هر دو جهت بافته می شود. بافت stain مانند یک بافت ساده و Twill ذرات را نمی گیرد، اما راحت ترین آزاد سازی کیک در زمان تمیز شدن پارچه ها را دارد

حالت های مختلف بافندگی، فضاهایی خالی الیاف را افزایش یا کاهش می دهد که این خود باعث کشش پارچه ها و نفوذپذیری آنها می شود. نفوذ پذیری پارچه، میزان هوای ورودی از طرق فیلتر و افت فشار ویژه را تحت تاثیر قرار می دهد. برای نمونه، یک بافت تنگ، نفوذ پذیری کمی دارد. گرفتن ذرات کوچک با افزایش افت فشار خواهد بود.

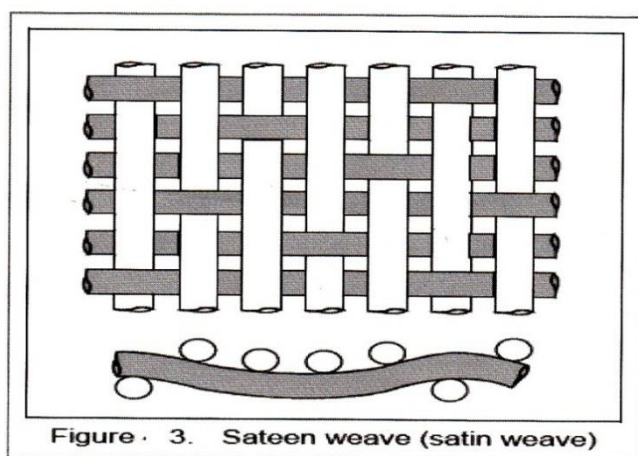


شکل (۴-۸) بافت ساده الیاف به روش زیر و رو (ماهنامه سیمان-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)



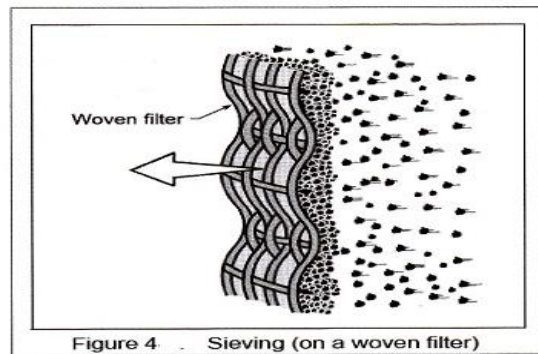
الگو بافت twill

شکل (۹-۴) بافت الیاف به روش Twill (ماهنامه سیما-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)



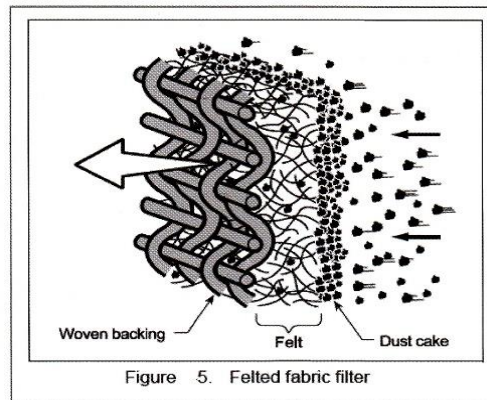
بافت Stain

شکل (۱۰-۴) بافت الیاف به روش Stain (ماهنامه سیما-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)



فیلتر بافته شده- جداسازی توسط فیلتر بافته شده

شکل (۴-۱۱) مرحله غبارگیری به روش الک کردن (ماهنامه سیمان-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)



لایه غبار-نمد-پشت بافت. شکل ۵. فیلتر نمدی اصلی

شکل (۴-۱۲) غبارگیری با استفاده از فیلتر نمدی (ماهنامه سیمان-شماره ۱۸۰ -فروردین ۱۳۹۲)

سطح واقعی فیلترینگ برای فیلترهای بافته شده، در واقع سطح خود کیسه نیست، بلکه لایه خاک یا کیک فیلتر است. کیسه فقط یک سطح را برای گرفتن ذرات بزرگ به وجود می آورد. ذرات با برخورد یا نفوذ در مناطق باز در بافت گیر می افتند که به این مرحله الک کردن می گویند (شکل ۴-۱۳).

برخی از این ذرات از فیلتر عبور کرده و کیک را به وجود می آورند. زمانی که کیک ساخته شد فیلترینگ موثر به وجود آمده و این مرحله تا گرفتگی این لایه و زمان تمیزکاری ادامه خواهد داشت که در هنگام گرفتگی، افت فشار به طور چشم گیری رخ داده و عملیات فیلتر کردن موثر نیست. زمان فیلتر کردن موثر مختلف بوده و ممکن است از ۱۵ تا ۲۰ دقیقه و شاید تا ساعت ها به طول بینجامد که این امر خود به نفوذ ذرات در جریان گاز بستگی دارد.

۴-۱۳ فیلترهای نمدی

فیلترهای نمدی از سوزن هایی که روی پوشش های بافته شده (اسکریم) قرار می گیرند، ساخته می شود. در این نوع بافت، الیاف ها به طور تصادفی که با سایر طرح ها تفاوت دارد، جای داده می شوند. نمدها به روش شیمیایی، گرما، رزین یا کوک زدن به اسکریم متصل می شوند. برای جمع آوری مناسب ذرات فیلترهای نمدی نسبت به دیگر فیلترهای بافته شده، دمای آغازین باید پایین باشد. به طور کلی فیلترهای نمدی ۲ تا ۳ برابر ضخیم تر از سایر فیلترهای بافته شده هستند. هر الیاف که به صورت تصادفی بافته شده، هدفی برای گرفتن ذرات به وسیله برخورد یا نفوذ دارد. ذرات ریز قابل جمع آوری توسط سطح دیگر فیلتر هستند. فیلترهای نمدی معمولاً برای بگ-هاوسی که به روش جت-پالس عمل می کند، به کار می رود. در بگ هاوس های جت-پالس مقدار هوای ورودی بیش از مناطق پارچه دار، در مقایسه با واحد هوای معکوس یا لرزاننده است. کیسه های نمدی باید برای موقعیت های مرطوب به کار می روند، زیرا باعث گرفتگی و کور شدن فیلتر می شوند. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۴-۱۴ الیاف ها

الیافی که برای پارچه فیلترها به کار می روند، با توجه به کاربرد صنعتی شان کنترل می شوند. فیلترهای اولیه اغلب از مواد طبیعی چون پشم و پنبه ساخته می شوند. این الیاف به نسبت ارزان بوده، اما در دمای خاص کمتر از ۲۱۲ درجه فارنهایت (۱۰۰ درجه سلسیوس) با مقاومتی متوسط کار می کنند. کتان برای بافت ساده دردمای پایین قابل استفاده است. پشم در مقابل رطوبت مقاوم است و می توان از آن به آسانی یک فیلتر ضخیم ساخت. امروزه از الیاف مصنوعی بیشتر استفاده می شود، چون تحمل دمای بیشتر و مقاومت بیشتری نسبت به مواد شیمیایی دارد. الیافی که برای دمای بالا استفاده می شوند معمولاً فایبرگلاس هستند. فایبرگلاس یک ماده ساخته شده از الیاف گلاس است. در دماهای پایین از پلی پروپیلین که خیلی ارزان بوده ساخته می شوند و در کاربردهای صنعتی در جاهایی مانند ریخته گری، شکستن زغال و صنایع غذایی استفاده می شود. نایلون که یک ماده مصنوعی ضدآب است، برای فیلتر کردن خاک های رطوبت گیر استفاده می شود. پلی استر مانند داکرون که مقاومتی خوب نسبت به اسید، قلیا و رطوبت گیری دارد و به نسبت هم ارزان است، برای مراحل صنعتی در ریخته گری ها، ذوب کردن و صنایع دیگر به کار برده می - شود. از الیاف نومکس به طور گسترده برای کیسه های فیلتر به دلیل خاصیت مقاومت در دمای بالا و رطوبت گیری استفاده می شود.

نومکس برای فیلترهای خاک‌گیری مانند کولرهای سیمان، مسیرهای آسفالت و کوره‌های الکتریکی و خشک‌کننده‌های زغال سنگ به کار می‌رود. دیگر مارک‌های انحصاری چون تفلون، فایبرگلاس و ریتون و PB4 قابل استفاده در دماهای خیلی بالا هستند. تفلون‌های مقاومت خیلی بالاتری نسبت به اسید (البته به جز فلورین) را دارد و تحمل گرمای بالای ۴۴۵ درجه فارنهایت (حدود ۲۳۰ درجه سلسیوس) را نیز دارد. فایبرگلاس اغلب برای بگ‌هاوس در دماهای خیلی بالا [بالاتر از ۵۰۰ درجه فارنهایت (۲۶۰ درجه سلسیوس)] برای عملکرد مداوم استفاده می‌شد. تقریباً ۹۰ درصد بگ‌هاوس امروزی که در صنایع سیمان برای مقاومت در برابر گرما استفاده می‌کنند، از فایبرگلاس ساخته شده‌اند. الیاف گلاس معمولاً با برخی پارچه‌ها در اصطکاک هستند، به گونه‌ای که روی یکدیگر لیز بخورند، بدون اینکه همدیگر را قطع کرده یا بشکنند. در پروسه تمیزکاری، گرافیت به طور معمول به عنوان ماده ضد اصطکاک به کار می‌رود و همچنین به نگهداری لیمیت گرما نیز کمک خواهد کرد. الیاف گلاس خیلی آسان می‌شکند، بنابراین به سیکل تمیزکاری ملایمی نیاز دارند. ریتون که یک فیلتر نمدی است، از سولفید پلی فیلیتین ساخته شده و به طور عمومی به اسکریم پلی فلوروکربن متصل شده است. ریتون می‌تواند در دماهای خیلی بالا [۲۵۰ درجه فارنهایت (حدود ۱۷۷ درجه سلسیوس)] کار کند و همچنین مقاومت خوبی نسبت به اسیدها و بازها دارد. ماده دیگری که برای ساختن این کیسه‌ها به کار برده می‌شود. غشای گورتکس است. گورتکس یک غشاء از گستره پلی تترافلورواتیلن PTFE است که این غشاء به وسیله تعداد زیادی از الیاف مانند فایبرگلاس، پلی استر و نوموکس به صورت ورقه ساخته شده تا این که فیلترهای یافته شده نمدی را بسازد.

برخی از آزمایش‌ها کاهش انزال ۹۹/۹، افت فشار کم، افزایش طول عمر کیسه و میزان نفوذپذیری بیشتر هوا به پارچه با استفاده از مواد صنعتی فلزی شیمیایی و غذایی و بویلرهای زغال سنگی را به اثبات رسانده است. در نهایت، برای دماهای فوق العاده بالا (بالتر از ۵۰۰ درجه سلسیوس) هم اکنون فیلترهای سرامیکی وجود دارند. این فیلترها هم‌چنین نوید کاربرد در دماهای خیلی بالا مانند فیلترهای بالای سر بویلرها، جایی که ذرات برداشته می‌شود و در لوله‌های تبادل گرمایی بویلر را به ما داده‌اند.

۴-۱۵ رفتار پارچه‌ها (خواص یا ویژگی‌ها)

پارچه‌ها به طور معمول از قبل تست می‌شوند تا پایداری و ثبات قطری و مکانیکی‌شان را نشان دهند. این الیاف قادرند با سیلیکون ترکیب شده تا خواص جدایی کیک بهتری را تشکیل دهند. الیاف طبیعی (کتان و پشم) قبل از استفاده، شسته شده تا اصطکاک در هنگام استفاده، آب نرفته و کوتاه نشوند. هم الیاف مصنوعی و هم الیاف طبیعی - تحت پروسه‌هایی چون *Calendering, napping, singeing, glazing* یا *coating* قرار می‌گیرند. این پروسه‌ها باعث افزایش طول عمر پارچه‌ها، ثبات قطری (پایداری کیسه پس از یک مدت طولانی) و تسریع در تمیزکاری کیسه‌های بگ‌هاوس می‌شوند. *Celendering* یک پروسه فشار بالا روی بگ‌هاوس به وسیله رولرهاست که باعث صاف شدن مواد می‌شود. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین

(۱۳۹۲)

جدول (۴-۵) تعدادی از ویژگی‌های استفاده شده در فیلترها

Table -1. Typical fabrics used for bags									
Generic name	Fiber	Maximum temperature				Acid resistance	Alkali resistance	Flex abrasion resistance	Relative cost
		Continuous		Surges					
		°F	°C	°F	°C				
Natural fiber cellulose	Cotton	180	82	225	107	poor	excellent	average	0.4
Polyolefin	Polypropylene	190	88	200	93	excellent	excellent	good	0.5
Natural fiber protein	Wool	200	93	250	121	good	poor	average	0.8
Polyamide	Nylon	200	93	250	121	poor to fair	excellent	excellent	0.6
Acrylic	Orlon ⁺	240	116	260	127	very good	fair	average	0.7
Polyester	Dacron ⁺	275	135	325	163	good	fair	excellent	0.5
Aromatic polyamide	Nomex ⁺	400	204	425	218	fair	very good	very good	2.0
Fluoro-carbon	Teflon ⁺	450	232	500	260	excellent except poor for fluorine	excellent except poor for trifluoride, chlorine, and molten alkaline metals	fair	6.7
Glass	Fiberglass ⁺ or glass	500	260	550	288	good	poor	poor to fair	1.0
Polymer	P84 ⁺	450	232	500	260	good	fair	fair	2.5
Polymer	Ryton ⁺	375	191	450	232	excellent	excellent	good	2.5-4.0

فیبرهای معمولی بکار رفته در بسته ها

نسبت هزینه	مقاومت سایشی	مقاومت قلیایی	مقاومت اسیدی	حداکثر دما				فیبر	نام عمومی
				افزایشی		مداوم			
				°F	°C	°F	°C		
۰,۴	متوسط	عالی	ضعیف	۱۰۷	۲۲۵	۸۲	۱۸۰	پنبه	فیبر طبیعی سلولز
۰,۵	خوب	عالی	عالی	۹۳	۲۰۰	۸۸	۱۹۰	پلی پروپیلن	پلی الفین
۰,۸	متوسط	ضعیف	خوب	۱۲۱	۲۵۰	۹۳	۲۰۰	پشم	فیبر طبیعی پروتئین
۰,۶	عالی	عالی	ضعیف تا نسبتا خوب	۱۲۱	۲۵۰	۹۳	۲۰۰	نایلون	پلی آمید
۰,۷	متوسط	نسبتا خوب	خیلی خوب	۱۲۷	۲۶۰	۱۱۶	۲۴۰	ریون	آکریلیک
۰,۵	عالی	نسبتا خوب	خوب	۱۶۳	۳۲۵	۱۳۵	۲۷۵	داکرون	پلی استر
۲	خیلی خوب	خیلی خوب	نسبتا خوب	۲۱۸	۴۲۵	۲۰۴	۴۰۰	نامکس	آروماتیک پلی آمید
۶,۷	نسبتا خوب	عالی بجز تری فلورید کلرین و فلزات قلیایی که ضعیف بود	عالی بجز فلورین که ضعیف بود	۲۶۰	۵۰۰	۲۳۲	۴۵۰	تفلون	فلوئوروکربن
۱	ضعیف تا نسبتا خوب	ضعیف	خوب	۲۸۸	۵۵۰	۲۶۰	۵۰۰	فیبر شیشه	شیشه
۲,۵	نسبتا خوب	نسبتا خوب	خوب	۲۶۰	۵۰۰	۲۳۲	۴۵۰	P84	پلیمر
۴-۲,۵	خوب	عالی	عالی	۲۳۲	۴۵۰	۱۹۱	۳۷۵	ریتون	پلیمر

Celendering سطح رویی الیاف‌ها را داخل بدنه یکنواخت می‌کند. این پروسه باعث طول

عمر سطح پارچه، ثبات قطری و دادن شکل یکنواخت به کیسه می‌شود. Napping ، پروسه

scraping سطح فیلتر روی نقاط فلزی یا فیبرها روی یک سیلندر گرداننده است. Napping

باعث افزایش سطح الیاف، به وجود آمدن (fuzz) می‌شوند که این خود باعث فراهم آوردن تعداد

زیادی فضا برای جمع‌آوری ذرات به وسیله نفوذپذیری است. بگ‌هاوس‌هایی که برای جمع‌آوری

ذرات چسبناک یا روغنی استفاده می‌شوند، پس از مدتی napping می‌شوند تا به خوبی ذرات

گرفته شده را به سهولت تمیز کنند.

جدول (۴-۶) رفتار پارچه براساس نوع پروسه

Table -2. Summary of pretreatment processes			
Pretreatment	Method	Result	Reason for use
Calendering	High pressure pressing by rollers	Flattens, smooths, or decorates	Increases surface life Increases dimensional stability Provides more uniform fabric surface
Napping	Scraping across metal points	Raises surface fibers	Provides extra areas for interception and diffusion
Singeing	Passing over open flame	Removes straggly surface fibers	Provides uniform surface area
Glazing	High pressure pressing at elevated temperatures	Fibers fused to filter medium	Improves mechanical stability
Coating	Immersing in natural or synthetic resin	Lubricates woven fibers	Provides high temperature durability Provides chemical resistance for various fabric material

خلاصه فرایند پیشگیری

پیشگیری	روش	نتیجه	دلیل بکار بردن
سطحی	اعمال فشار زیاد توسط غلتکها	صاف کردن یا تمیز کردن	افزایش سطح تماس ، افزایش ابعاد پایدار و توسعه سطح تماس اصلی
پوشاندن	ایجاد خراش بین نقاط فلز	افزایش سطح تماس فیبرها	توسعه سطوح خارجی برای جدا کردن و انتشار
بطور سطحی سوزاندن	عبور دادن از روی شعله	حذف مرتب سطح تماس فیبرها	توسعه حالت قسمت سطح تماس
صیقل دادن	اعمال فشار زیاد در دمای بالا	ذوب شدن فیبرها برای جداسازی معمولی	بهبود پایداری مکانیکی
پوششی	غوطه ور ساختن در رزینهای سنتزی و طبیعی	چرب شدن بافت فیبر	توسعه ماندگاری در دمای بالا و توسعه مقاومت شیمیایی در برابر مواد مختلف

Singeing با گذراندن مواد فیلتر از روی شعله آتش انجام می شود که زائده های فیبر روی

سطح آن از بین می روند که این خود باعث یکنواخت شدن بیشتر سطح می شود.

Glazing، تراکم در دمای بسیار بالا و فشار خیلی زیاد انجام می شود. در این پروسه الیاف

روی بدنه medium فیلتر آمیخته می شوند. **Glazing** باعث ثبات مکانیکی فیلتر شده و همچنین

از آب رفتن در طولانی مدت جلوگیری می کند.

Coating یا رزین کردن شامل کردن مواد فیلتر در مواد طبیعی یا رزین مصنوعی

مانند پلی و نیل کلراید، اکرات سلولر یا اوره فنول است. این پروسه برای جلوگیری از اصطکاک

الیاف یافته شده یا دوام در برابر دماهای خیلی بالا یا مقاومت در برابر مواد شیمیایی روی مواد

الیافی انجام می‌شود. برای نمونه، کیسه‌های فایبرگلاس گاهی اوقات با تفلون یا گرافیت سیلیکون پیچیده شده تا از رطوبت‌گیری در طول تمیزکاری کیسه انجام داده یا مقاومت در برابر اسید به وجود آورند. به طور کلی پیچیدن (لایه تفلون بر روی سطح) ۱۰ درصد از میزان وزن کاربردی مواد انجام می‌شود

۴-۱۶ مکانیسم شکست (خرابی) کیسه

سه عامل باعث کوتاه شدن عمر یک کیسه می‌شود که شامل عوامل گرمایی، دوام، رطوبت و حمله شیمیایی هستند. مهم‌ترین عامل در طرح متغیرها، محدوده دمای بالای کیسه است که دوام گرمایی نامیده می‌شود.

برای اطلاع از طول عمر کیسه‌ها می‌توان از سازندگان آن‌ها مشاوره و کمک گرفت. پروسه خروج دمایی مشخص خواهد کرد که کدام یک از کیسه‌ها باید برای جمع‌آوری گرد و خاک استفاده شود. خنک کننده گاز خروجی ممکن است قابل مشاهده باشد. اما گاز خروجی باید گرم نگه داشته شود تا این که از تجمع رطوبت یا اسید روی کیسه‌ها جلوگیری شود.

مشکل دیگری که در عملکرد بگ‌هاوس رخ می‌دهد. ساییدگی است. ساییدگی ممکن است ناشی از مالیده شدن کیسه‌ها به یکدیگر، نوع تمیزکاری استفاده شده در کیسه‌ها، محل ورود خاک به کیسه‌ها یا متریال کیسه‌ها باشد. برای نمونه، در بگ‌هاوس با سیستم لرزان (shaker baghouse)، تکان دادن شدید ممکن است باعث جدایی زودهنگام کیسه از محل‌هایی که به آن

متصل هستند شود. در واحدهای جت- پالس، حرکات مداوم و آرام کیسه‌ها در برابر قفس‌های نگه‌دارنده می‌تواند باعث کوتاه شدن طول عمر کیسه‌ها شود. از این رو تعویض ۲۵ درصد از کیسه‌ها در طول سال عادی است.

خرابی کیسه‌ها همچنین می‌تواند به دلیل حمله مواد شیمیایی به کیسه‌ها باشد. تغییرات در جنس خاک و دمای خروجی گاز از پروسه‌های صنعتی به‌طور عمیقی مواد کیسه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اگر جریان خروجی گاز تا حد dew point پایین آورده شود (water or acid dew point)، طرح بگ‌هاوس ممکن است به طور کامل از کار بیافتد. انتخاب درست کیسه و پروسه خوب برای گرفتن ذرات می‌تواند از جدا شدن کیسه از مکانش که تحت تأثیر مواد شیمیایی صورت می‌گیرد، جلوگیری کند.

۴-۱۷ تست کردن کیسه‌ها

تعداد زیادی آزمایش (تست ASTM) روی کیسه‌های بگ‌هاوس به منظور تصدیق ویژگی‌های خرید یا برای پی‌بردن به ابزار مشکل‌ساز برای خرابی آن‌ها قابل انجام است. با تمامی این تکنیک‌های اندازه‌گیری، باز هم نتایج به دست آمده نسبی خواهند بود. اغلب برای اینکه نتایج تست‌ها قابل اعتماد باشد این تست‌ها را در طول زمان، پی‌درپی انجام می‌دهند. علاوه بر این، برای برخی از کیسه‌های جدید، برخی از این آزمایش‌ها قابل انجام نخواهد بود. این آزمایش‌ها برای پی‌بردن به قدرت کشش کیسه یا نقص جریان در آن‌ها انجام می‌شود. چهار آزمایش با تستی که در این رابطه انجام می‌شود عبارتند از:

- نفوذپذیری:
- Mit FLEX
- قدرت ترکیدگی Mullen و قدرت کشش پذیری.
- این تست‌ها زمانی انجام می‌شود که مشکلی در رابطه با طول عمر کیسه و افت فشار خیلی زیاد داشته باشیم. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۴-۱۸ نفوذپذیری

تست نفوذپذیری برای پی بردن به مقدار هوای نفوذی از یک منطقه پارچه‌ای استفاده می‌شود. نفوذپذیری با استاندارد D-737-96 به عنوان هوای نفوذی از میان یک متر مربع از پارچه با افت فشار کمتر از ۰/۵ انجام می‌شود.

زیرا نفوذپذیری یک تابع خطی از اختلاف اندازه‌گیری از میان سطح سطح‌های کیسه نیست، بنابراین تست ASTM باید در فشاری برابر با ۰/۵ W.G یا ۱۲۵ پاسکال صورت پذیرد.

برخی از کیسه‌ها ممکن است خیلی سخت یا خیلی سوراخ‌دار باشند تا بتوان از این تست استفاده کرد. در این گونه موارد، تست ASTM افت فشار را به ما گزارش می‌دهد. نمدهای تمیز نفوذپذیری بین ۱۵-۲۵ ft/min (25cm/s) را دارند. نفوذپذیری هم روی کیسه‌های کثیف و هم تمیز قابل انجام است. کیسه‌های کثیف معمولاً در حالت "as received" تست می‌شوند. این اندازه‌گیری‌ها با اندازه‌گیری نفوذپذیری فابریک مقایسه می‌شود تا به کور بودن یا نبودن آن‌ها پی

ببریم. هم‌چنین ممکن است پرز کیسه‌ها پس از استفاده زیاد بزرگ‌تر شوند که در این صورت، میزان نفوذپذیری بیشتر خواهد بود، گرچه این حالت مانند حالت کورشدگی خیلی اتفاق نمی‌افتد.

۴-۱۹ تست MIT Flex

تست MIT Flex برای اندازه‌گیری تحمل کیسه‌ها در جذب رطوبت از انعطاف‌پذیری انجام می‌شود. روش این تست در استاندارد ASTM D-2176-69 آمده است. این روش که از شیوه تست MIT بهره می‌برد، روش اندازه‌گیری تحمیل کاغذ است.

این تست پی‌درپی برای اندازه‌گیری میزان جدا شدن صیقلی کیسه‌ها در بگ‌هاوس‌های استفاده شده در بویلرهای زغال‌سنگی است.

این تست هم‌چنین میزان نقش کیسه در رابطه با طول عمر کیسه را نشان می‌دهد. تست فلکسی گاهی نیز پس از در معرض اسید یا گرما قرار دادن کیسه‌ها برای تحریک بگ‌هاوس در ابزار بویلر به کار می‌رود. اگر روی کیسه‌ها مقدار زیادی خاک خوابیده باشد، این تست به صورت تست پیوسته قابل انجام نیست، چون مقایسه واقعی در این حالت محدود می‌شود.

۴-۱۹-۱ قدرت ترکیدگی Mil l en و کشش‌پذیری

تست کشش‌پذیری اطلاعاتی در رابطه با کشیدگی، طویل شدن و پارگی پارچه را به ما می‌دهد. روش تست کشش‌پذیری در استاندارد ASTM در قسمت D-1682-64 برای شکستن بار و کشیدگی بافت کیسه شرح داده شده است.

قدرت کشش‌پذیری با توجه به عواملی چون نوع کیسه و وزن آن متغیر است. کیسه‌های مصنوعی به نسبت کیسه‌های طبیعی قدرت کشش‌پذیری بیشتری از خود نشان می‌دهند. تست کشش‌پذیری و MIT Flex با یکدیگر انجام شده (روی کیسه‌ها) تا قدرت کیسه‌های جدید و قدیمی را مشخص کرده و همچنین قدرت جدا شدن کیسه‌های استفاده شده را نیز به ما نشان دهند. (ماهنامه سیما - شماره ۱۸۰ - فروردین ۱۳۹۲)

۴-۲۰ شیوه‌های پاک‌کنندگی بگ‌هاوس

بگ‌هاوس‌ها براساس دو روش زیر در مدار قرار می‌گیرند:

۱. Intermittently cleaned (تمیز کردن متناوب)

۲. Continuosly cleaned (تمیزکاری پیوسته)

الف. Intermittently cleaned

بگ‌هاوس‌های تمیزکننده تناوبی، شامل تعدادی بخش یا اتاقک (Compartment) هستند. هرکدام از اتاقک‌ها در زمان خاصی برای سرویس و پاک‌کنندگی از مدار خارج شده و در دوره‌های منظمی تمیز می‌شوند. جریان گاز آلوده از اتاقکی که در حال تمیز شدن است، به اتاقک‌های دیگر منحرف می‌شود و لازم نیست که فرایند و پروسه تولید متوقف شود. بعضی از بگ‌هاوس‌ها بسیار کوچک و تنها شامل یک Compartment هستند. جریان هوای آلوده درون چنین بگ‌هاوس‌هایی

هنگام تمیزسازی کیسه‌ها متوقف می‌شود. این بگ‌هاوس‌های کوچک یک جزئی، در فرآیندهای بتن‌سازی که می‌توانند هنگام تمیزسازی متوقف شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ب. Continuously cleaned

بگ‌هاوس‌هایی که به روش تمیزکنندگی پیوسته عمل می‌کنند، کاملاً اتوماتیک بوده و برای فیلترینگ آنالین مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش، فرآیند فیلترینگ به طور آبی با دمیدن هوای فشرده قطع شده که pulse-jet نامیده می‌شود و باعث می‌شود کیسه‌ها در قسمت‌هایی از بگ‌هاوس در حال تمیز شدن هستند، مزیت این روش در این است که خارج کردن بگ‌هاوس یا یکی از Compartment ها از مدار به منظور تمیزسازی کیسه‌ها ضرورتی ندارد. در این نمونه، بگ‌هاوس‌های کوچکی نیز وجود دارند که تنها یک Compartment دارند و به روش Pulse-jet تمیز می‌شوند. هم‌چنین بگ‌هاوس‌های بزرگ با Compartment‌هایی ساخته می‌شوند که از توقف مجموعه بگ‌هاوس در حین تعمیر کیسه‌ها (یا تعویض کیسه‌ها) و نقص‌هایی که برای سیستم هوای فشرده، هاپرها و Conveyerها پیش می‌آید، جلوگیری کنند. این سبب می‌شود تا اپراتور، تنها اتاقکی را که به تعمیر نیاز دارد، از مدار خارج کند.

۴-۲۱ مکانیزم‌های تمیزسازی کیسه

مکانیزم‌های متعددی برای برداشتن ذرات قرصی شکل (کیک غبار) از روی کیسه‌های وجود

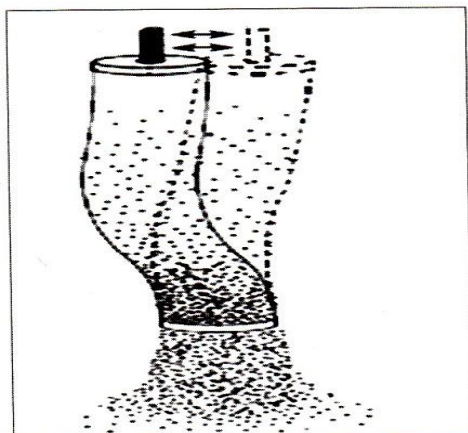
دارد. رایج‌ترین آن‌ها عبارتند از:

روش مکانیکی یا لرزاندن (Shaking)، هوای معکوس، صوتی و مکانیزم دیگری به نام حلقه

دمش یا فوران معکوس در دستگاه‌های امروزی چندان معمول نیست و مورد بحث قرار نمی‌گیرد.

توجه کنید که برخی از سازندگان از عبارت فوران معکوس (Reverse jet) به جای Pulse-jet

استفاده می‌کنند. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)



شکل (۴-۱۳) نمایشی از حرکت لرزشی (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)

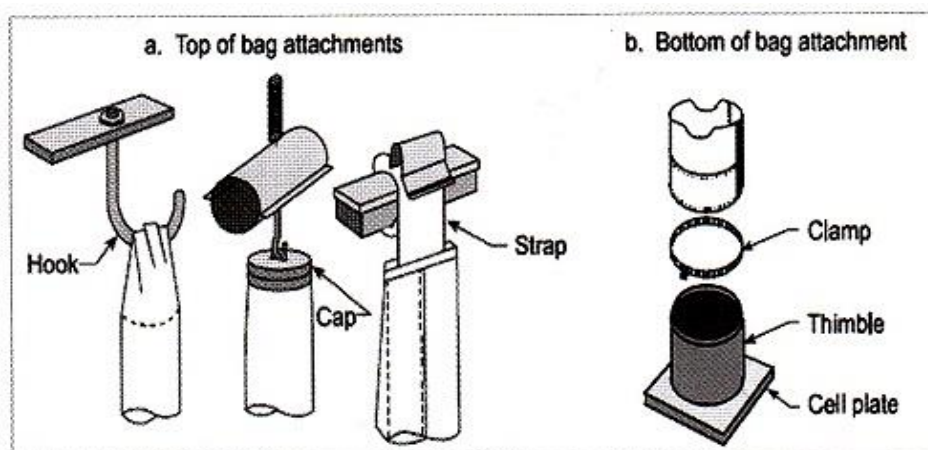
۴-۲۱-۱ روش مکانیکی یا لرزاندن (Shaking)

لرزاندن را می‌توان به طریق دستی انجام داد، اما در بگ‌هاوس‌ها صنعتی معمولاً این عمل به

طور مکانیکی صورت می‌گیرد. بگ‌هاوس‌های کوچک که جریان‌هایی کمتر از 500cfm

($14.2\text{m}^3/\text{min}$) را خارج می‌کنند، بارها با اهرم‌های دستی تمیز می‌شوند. اما تمیزسازی کامل به ندرت حاصل می‌شود. زیرا در چند دقیقه باید تلاش زیادی را برای برداشتن کیک غبار از روی کیسه‌ها انجام داد. ضمن این‌که، این واحدهای کوچک معمولاً فشارسنجی نصب شده روی خود ندارند که بتواند افت فشار ایجاد شده در بگ‌هاوس را نشان داده و خوانده شود. از این قرائت‌ها، برای تعیین زمان تمیزسازی کیسه استفاده می‌شود. از این قرائت‌ها، برای تعیین زمانی تمیزسازی کیسه استفاده می‌شود. بنابراین، استفاده از بگ‌هاوس‌های لرزاننده دستی برای کنترل خروجی‌های ذره‌ای از منابع صنعتی توصیه نمی‌شود.

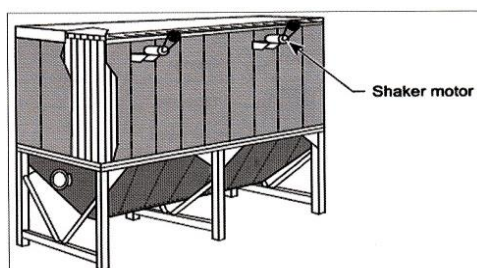
لرزش مکانیکی با استفاده موتوری که محور (شفت) آن به میله‌ای متصل به کیسه‌ها وصل است، انجام می‌شود. این فرآیندی کم‌انرژی است که به آرامی کیسه‌های را می‌لرزاند تا ذرات رسوب کرده و غبار ایجاد شده را بزداید. حرکت لرزشی و سرعت، به طراحی فروشنده و ترکیب غبارهای رسوب کرده بر کیسه‌ها بستگی دارد. حرکت لرزشی عموماً در راستای افقی است. قسمت فوقانی کیسه‌ها در بگ‌هاوس‌های لرزاننده، بسته بوده و آب‌بندی شده‌اند و با یک چنگک یا گیره محکم شده است. قسمت تحتانی کیسه‌ها باز است و به یک صفحه سلولی وصل شده است. کیسه‌ها از بالا با حرکت قابی که کیسه‌ها مواج شده و غبارها را آزاد کنند. در خلال فرآیند تمیزسازی جریان گاز آلوده قطع می‌شود. بنابراین بگ‌هاوس باید طوری اتافک‌بندی شود که برای فرآیند، پیوسته قابل استفاده باشد. بگ‌هاوس‌های لرزاننده همیشه از تصفیه داخلی استفاده می‌کنند (غبار جمع شده درون کیسه‌ها).



a. بالا کیسه ضمیمه شده - b. پایین کیسه ضمیمه شده

بشقاب سلول - قسمت دانه دار - گیره - تسمه - سرپوش - قلاب

شکل (۴-۱۴) نمونه‌ای از یک بگ‌هاوس لرزاننده (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)



موتور ارتعاش دهنده

شکل (۴-۱۵) نمونه‌ای از یک بگ‌هاوس لرزاننده که کیسه‌ها به محوری که با یک موتور خارجی می‌چرخد، متصل هستند.

(ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)

در نمونه‌ای از بگ‌هاوس لرزاننده، کیسه‌ها به محوری که با یک موتور خارجی می‌چرخد،

وصل شده است. کیسه‌ها لرزاننده می‌شوند و غبارها به درون قیفی که زیر کیسه‌ها واقع شده است

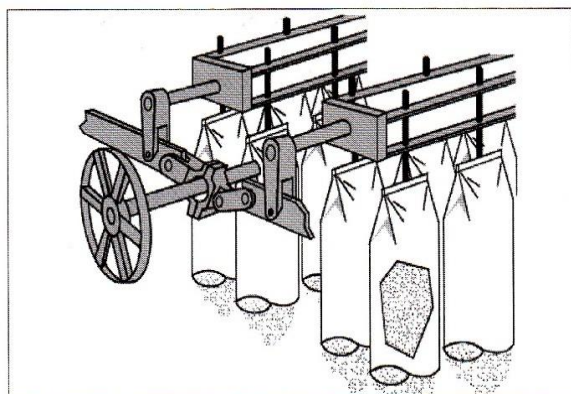
می‌ریزند. طول چرخه‌ی تمیزسازی از ۳۰ ثانیه تا چند دقیقه می‌تواند به طول انجامد، اما معمولاً

حدود ۳۰ ثانیه است.

دوره تمیزسازی کیسه به نوع غبار، غلظت و افت فشار عبوری از بگ‌هاوس بستگی دارد. بگ‌هاوس دو یا تعداد بیشتری اتاقک (Compartment) دارد تا اجازه دهد یک اتاقک برای تمیزسازی از مدار خارج شود.

(شکل ۴-۱۶) نمونه‌ای از مکانیزم لرزش یک بگ‌هاوس لرزاننده را نشان می‌دهد. کیسه‌ها در مجموعه‌ای از دو ردیف به قاب‌های در طول پهنای بگ‌هاوس متصل شده‌اند. موتوری اهرم لرزاننده را به حرکت درمی‌آورد، که به نوبه خود سبب حرکت قاب و لرزش کیسه‌ها می‌شود. لرزش نباید هنگام جمع‌آوری غبارهای چسبنده استفاده شود. نیروی مورد نیاز برای برداشتن غبارهای چسبنده می‌تواند به پارگی کیسه منجر شود. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور

(۱۳۹۱)



شکل (۴-۱۶) مکانیزم لرزش بگ‌هاوس لرزاننده (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)

جدول (۷-۴) پارامترهای تمیزسازی لرزشی

Frequency	Usually several cycles per second; adjustable
Motion	Simple harmonic or sinusoidal
Peak acceleration	1 to 10 g
Bag movement (amplitude)	Fraction of an inch to a few inches
Operation mode	Compartment off-stream for cleaning
Duration	10 to 100 cycles; 30 seconds to a few minutes
Common bag dimensions	5, 8, or 12-inch diameters; 8, 10, 22, or 30-foot lengths
Sources: McKenna and Greiner 1982. McKenna and Turner 1989. Adapted and reproduced by permission of ETS, Inc.	

فرکانس	در هر ثانیه قابل تنظیم است
حرکت	بصورت هماهنگ یا سینوسی
پیک سریع	۱ تا ۱۰ گرم
دامنه حرکت کیسه	بخشی از یک اینچ تا چند اینچ
حالت عملکرد	محفظه بدون جریان برای پاکیزه سازی
مدت	۱۰ تا ۱۰۰ بار- از ۳۰ ثانیه تا چند دقیقه
ابعاد کیسه مشترک	به قطر ۵-۸ تا ۱۲ اینچ و بطول ۸-۱۰-۲۲ یا ۳۰ فوت

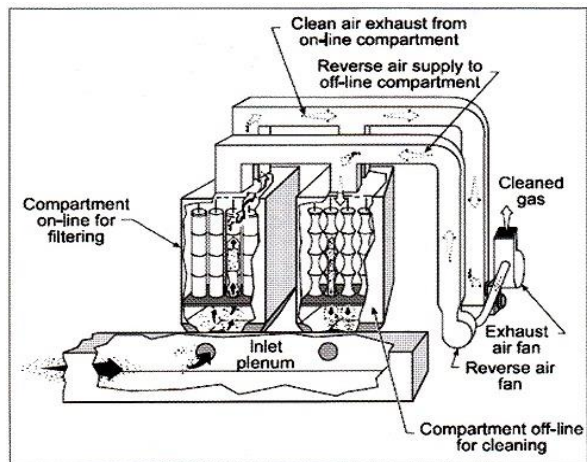
کیسه در قسمت فوقانی در محل حلقه نگه‌دارنده می‌تواند ساییده شود. هم‌چنین در محل پایین کیسه، جایی که به صفحه سلولی متصل شده است، امکان آسیب دیدگی وجود دارد. بنابراین، تعداد دفعات مناسب برای تمیز کردن کیسه به منظور جلوگیری از خرابی زود هنگام آن، مهم و ضروری است. پارامترهای طراحی نمونه‌ای برای تمیزسازی لرزشی در جدول ۱ داده شده‌اند. گاهی

تمیزسازی لرزشی به همراه تمیزسازی هوای معکوس به کار می‌رود تا در برخی از کاربردها، عملیات تمیزکاری ارتقا پیدا کند.

۴-۲۱-۲ هوای معکوس (Reverse Air)

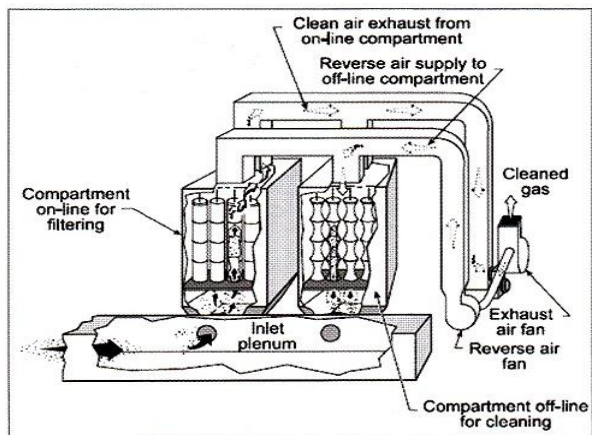
بگ‌هاوس‌های تمیزکننده هوای معکوس چنان تقسیم‌بندی شده‌اند تا اجازه دهند که یک بخش (Compartment) برای تمیزسازی از مدار خارج شود. در یک بگ‌هاوس هوای معکوس، جریان گاز آلوده درون اتاقک متوقف می‌شود و اتاقک با جریان کم‌فشار هوا تمیز می‌شود. غبارها صرفاً با فرو ریختن کیسه‌ها زدوده می‌شوند، به این ترتیب باعث می‌شوند که کیک غبار(غبارهای قرصی) شکل بشکنند و به درون قیف بیافتند. هوای تمیزکننده توسط فن مجزایی تأمین می‌شود که به دلیل تمیز شدن تنها یک Compartment در آن واحد، معمولاً از فن اصلی دستگاه کوچک‌تر است (شکل ۴-۱۷). این عمل تمیزسازی، بسیار آرام است، طوری که استفاده از محصولات با مقاومت اندک در برابر خوردگی و سایش مانند فایبرگلاس را مجاز می‌شمارد.

گاز تمیز-فن هوای خروجی-فن جریان هوای
معکوس-محفظه بدون جریان برای پاکیزه
سازی-جریان معکوس هوای موجود به محفظه
بدون جریان-هوای تمیز خارج شده از محفظه
دارای جریان-ورودی محفظه-محفظه دارای
جریان جهت جداسازی



شکل (۴-۱۷) نمونه‌ای از بگ‌هاوس هوای معکوس (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)

گاز تمیز-فن هوای خروجی-فن جریان هوای
معکوس-محفظه بدون جریان برای پاکیزه
سازی-جریان معکوس هوای موجود به محفظه
بدون جریان-هوای تمیز خارج شده از محفظه
دارای جریان-ورودی محفظه-محفظه دارای
جریان جهت جداسازی

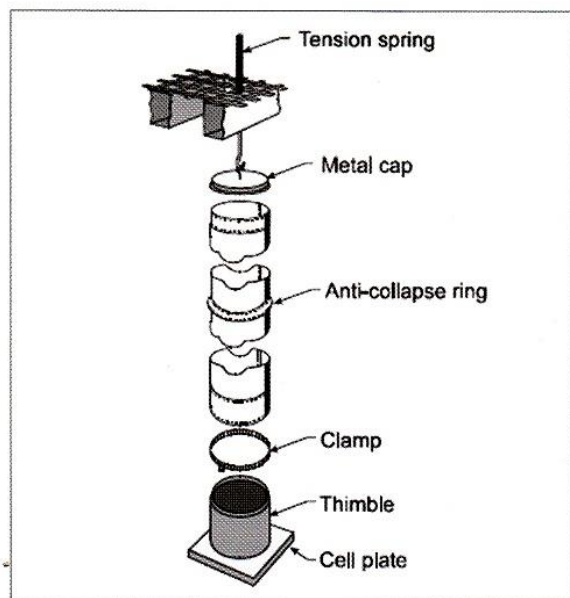


شکل (۴-۱۸) شمایی از اتصال کیسه در بگ‌هاوس هوای معکوس (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور

(۱۳۹۱)

در طی فیلترینگ دمپرهای خروجی و ورودی باز هستند. زمانی که تمیزسازی کیسه آغاز می‌شود،
دمپر خروجی بسته می‌شود تا جریان گاز را مسدود کند. کیسه‌ها برای مدت کوتاهی دست نمی-

خورند و دمپر هوای معکوس واقع شده در بالای Compartment باز می‌شود تا هوای معکوس برای تمیزسازی به درون Compartment فرستاده شود. جریان هوای معکوس معمولاً از حدود ۳۰ ثانیه تا چندین دقیقه برقرار است. در طول این مدت غبارها به درون هاپر سقوط میکنند.



بشقاب سلول-بدنه نقطه دار-گیره-حلقه مانع فروریختگی-سرپوش فلزی-فنر فشرده شده

شکل (۴-۱۹) ساختمان کیسه در بگ‌هاوس هوای معکوس (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)

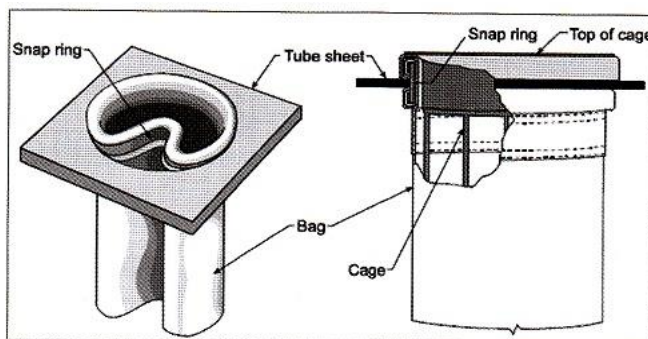
بگ‌هاوس‌های معکوس، دمپرهای فرعی دارند تا اجازه دهند گاز آلوده از مسیرهای فرعی Compartment های ناقص و خراب دور بزنند. در بگ‌هاوس‌های معکوس، غبارها درون کیسه جمع می‌شوند. پایین کیسه باز است و بالای آن با کلاهکی فلزی مهر شده است (شکل ۴-۱۹). کیسه‌ها به فنر کشسانی متصلند که به قابی واقع در بالای آن وصل شده‌اند تا آن را ثابت نگه دارد. فنر کشسان به کیسه‌ها اجازه می‌دهد تا به آرامی طی فرآیند تمیزسازی حرکت کنند. فنر کشسان را

می‌توان چنان تنظیم کرد تا مطمئن شد که در کیسه‌ها خمیدگی زیادی ایجاد نمی‌شود، به این ترتیب از چین‌خوردگی و در نهایت پارگی کیسه‌ها جلوگیری می‌شود، پایین کیسه درون یک لوله فلزی کوتاه می‌رود و به راحتی روی این لوله به وسیله یک گیره (بست فلزی) متصل می‌شود (شکل ۴-۱۹). کیسه شامل حلقه‌هایی است تا از فرو ریختن کامل آن طی چرخه تمیزسازی جلوگیری شود. فروریختگی کامل کیسه مانع سقوط غبار به درون کیف می‌شود. کیسه‌ها با حلقه‌های استیل کوچکی که از طرف داخل به کیسه دوخته شده‌اند، نگه‌داشته می‌شوند (شکل ۴-۲۳). حلقه‌ها معمولاً از استیل کربن ۳/۱۶ اینچی ساخته می‌شوند. بسته به شرایط گاز دودکش، می‌توان آن‌ها را از صفحات گالوانیزه کادمیومی یا استیل ضد زنگ نیز ساخت. حلقه‌ها بسته به طول و قطر کیسه، به فاصله ۲ تا ۵ فوت از یکدیگر در طول کیسه قرار داده می‌شوند. معمولاً فضای بین حلقه‌های ضد فروریختگی در بالای کیسه، بیشتر از طبقه‌هایی است که نزدیک به انتهای کیسه هستند. بگ‌هاوس‌های هوای معکوس، از کیسه‌های بسیار بزرگی (در مقایسه با بگ‌هاوس‌های pulse-jet یا لرزاننده) استفاده می‌کنند، در ابعادی مابین قطر 203/2 تا ۴۵۷/۲ میلی‌متر و طول ۶۰۹۶ تا ۱۲۱۹۲ میلی‌متر. تمیزسازی هوای معکوس عموماً برای تمیزسازی منسوجات به کار می‌رود. دفعات تمیزسازی از ۳۰ دقیقه تا چندین ساعت متغیر است، با توجه به غلظت غبار ورودی و فشار قطره بگ‌هاوس، زمان تمیزسازی تقریباً ۱۰ تا ۳۰ ثانیه است و کل زمان بین ۱ تا ۲ دقیقه است که شامل زمان باز و بسته شدن سوپاپ‌ها و رسوب غبارها است. پارامترهای طراحی نمونه‌ای برای تمیزسازی هوای معکوس در جدول ۲ داده شده‌اند.

۴-۲۲ روش Pulse Jet

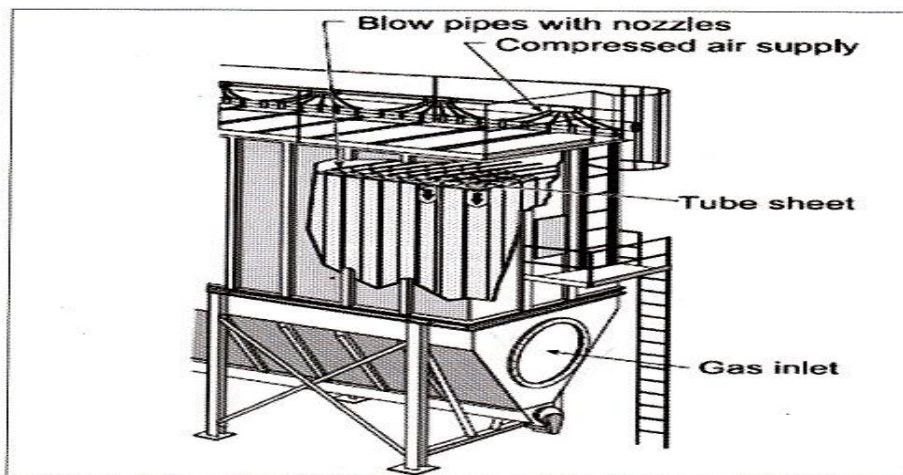
رایج‌ترین روش تمیزسازی، تمیزسازی Pulse jet یا pressure-jet cleaning است. امروزه بگ‌هاوس‌هایی که از تمیزسازی Pulse Jet استفاده می‌کنند. تقریباً ۴۰ تا ۵۰ درصد بگ-هاوس‌های جدید مورد استفاده در کارخانه‌ها را تشکیل می‌دهند. مکانیزم تمیزسازی Pulse Jet از یک هوای پرفشار برای برداشتن یک غبار از کیسه استفاده می‌کند. کیسه‌های درون اتاقک‌های بگ‌هاوس (Compartment) از داخل با حلقه‌ها و قفسه‌های فلزی نگه داشته می‌شوند. کیسه‌ها از قسمت فوقانی با گیره‌هایی کاملاً محکم شده‌اند و معمولاً انتهای پایینی آن‌ها بسته است (دوخته شده است). در طراحی دیگری، یک snap ring در بالای کیسه دوخته شده است که آن را با دهانه ورقه لوله‌ای منطبق می‌کند. قفسه درون کیسه می‌لغزد و بالای قفسه بر ورقه لوله‌ای منطبق می‌کند. قفسه درون کیسه می‌لغزد و بالای قفسه بر ورقه لوله‌ای می‌نشیند (شکل ۸). گاز پر از غبار از طریق کیسه، فیلتر می‌شود و غبار بر سطح خارجی کیسه رسوب می‌کند. سیستم Pulse jet برای تمیز کردن سطوح خارجی کیسه‌ها با دمش هوای فشرده که از بالای کیسه تزریق می‌شود، زدوده می‌شوند. دمش هوای پرفشار، جریان معمولی هوا را که در فیلتر کیسه موجود است، قطع می‌کند. اما در هنگام تمیزسازی Pulse Jet جریان هوای آلوده داخل Compartment بگ-هاوس متوقف نمی‌شود. هوای دمیده شده، موجی ضربه‌ای ایجاد می‌کند که باعث می‌شود کیسه در طول مسیر موج، پیچ و خم پیدا کرده یا منبسط شود. همچنان که کیسه تاب برمی‌دارد، ذرات

قرصی شکل (کیک غبار) رسوب کرده و از کیسه تخلیه می شوند (شکل ۴-۲۴). موج ضربه‌ای در حدود ۵/۰ ثانیه به پایین کیسه روانه می شود و باز می گردد.



بالا محفظه-حلقه ضربه زننده -محفظة-ورقه لوله-کیسه-حلقه ضربه زننده

شکل (۴-۲۰) طراحی snap-ring bag برای سیستم pulse-jet (ماهنامه سیمان -شماره ۱۷۴-شهریور ۱۳۹۱)



ورودی گاز-ورقه لوله-هوای فشرده موجود-لوله دمنده با نازل

شکل (۴-۲۱) نمونه‌ای از بگ‌هاوس pulse-Jet (ماهنامه سیمان -شماره ۱۷۴-شهریور ۱۳۹۱)

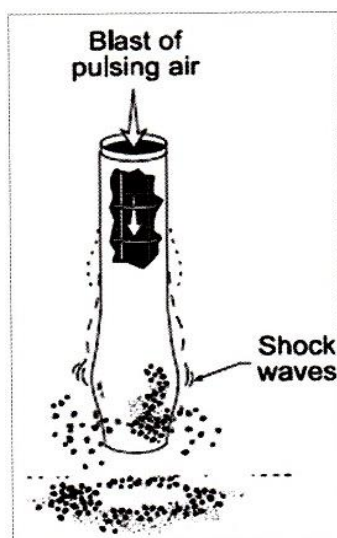
واحدهای Pulse Jet معمولاً در مد "non-dust cake" به کار گرفته می‌شوند. مرتباً به کیسه‌ها ضربه‌ای وارد می‌شود تا از تشکیل قرص‌های ضخیم جلوگیری شود و هم‌چنین واحد را از داشتن افت فشار بالای عبوری از غبار و فیلتر نمدی (پشمی) دور نگه می‌دارد. با این وجود، گاهی اوقات که از کیسه‌های بافته شده در بگ‌هاوس‌های Pulse Jet استفاده می‌شود، غبارهای قرصی مطلوبند. دمش هوای فشرده باید به اندازه کافی قوی باشد تا امواج ضربه‌ای را در طول کیسه تولید کند و هم‌چنین غبارهای قرصی را خرد کند.

واحدهای pulse-jet از منابع هوایی با Head مشترک استفاده می‌کنند که هوای ضربه زننده را از طریق لوله دمشی که بالای هر ردیف کیسه‌ها در اتاقک واقع شده است، فراهم می‌کند. هوای ضربه زننده از مجرای روزنامه‌ها و گلوگاه‌های لوله دمشی به درون کیسه‌های هدایت می‌شود (شکل ۴-۲۱) یک سوپاپ دیافراگم به هر لوله دمشی ضربه‌های هوای فشرده بسیار کوچک را ایجاد می‌کند. باز و بسته کردن دیافراگم با یک سوپاپ ماریپچ الکتریکی کنترل می‌شود. (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)

جدول (۴-۸) پارامترهای طراحی نمونه‌ای تمیزسازی هوای معکوس

Frequency	Cleaned one compartment at a time, sequencing one compartment after another; can be continuous or initiated by a maximum-pressure-drop switch
Motion	Gentle collapse of bag (concave inward) upon deflation; slowly repressurize a compartment after completion of a back-flush
Operation mode	Compartment taken off-stream for cleaning
Duration	1 to 2 minutes, including valve opening, closing and dust settling period; reverse-air flow normally 10 to 30 seconds
Common bag dimensions	8, 12, and 18 inch-diameters; 22, 30, 40 foot-lengths
Bag tension	50 to 75 lbs typical - optimum value varies; bag tension adjusted after unit is on-stream

فرکانس	تمیز کردن یک محفظه در یک زمان و متوالی بودن یک محفظه بعد از دیگری و در فشار بالا بصورت مستمر میتواند باشد
حرکت	سقوط ملایم کیسه (تقعر درونی) فشار آرام محفظه بعد از مجموعه ای از فلشها
حالت عملکرد	جریان محفظه بسته می شود برای نظافت
مدت زمان	۱ تا ۲ دقیقه شیر باز میشود و غبار از بین میرود و بمدت ۱۰ تا ۳۰ ثانیه جریان هوا بصورت ملایم دمیده میشود
ابعاد کیسه مشترک	ابعاد ۸-۱۲ و ۱۸ اینچ می باشد و طول ۲۲-۳۰ و ۴۰ فوت است
فشار کیسه	۵۰ تا ۷۵ پوند بهینه میشود و فشار کیسه تنظیم میشود بعد از اینکه واحد دارای جریان باشد



امواج ضربه-دمش ضربانی هوا

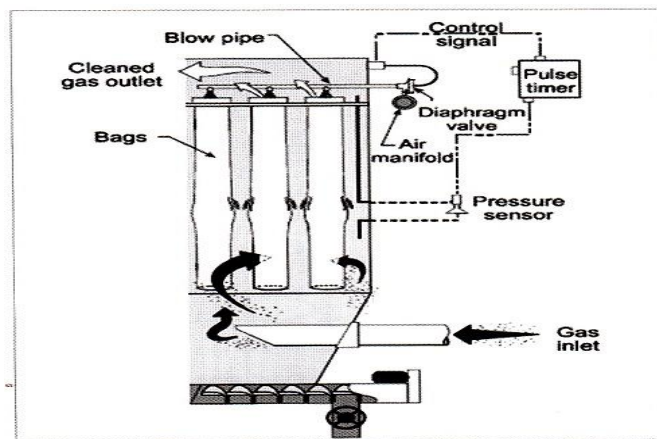
شکل (۴-۲۲) تمیزسازی pulse-jet (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)

در برخی طراحی های بگ هاوس، یک ونتوری در بالای هر کیسه محکم می شود (شکل ۴-۲۲)

یا این که درست درون قسمت بالایی هر کیسه به منظور ایجاد یک ضربه (به اندازه کافی

بزرگ) که بتواند در طول کیسه بالا و پایین رود، استفاده می شود. فروشنده هایی که ونتوری در

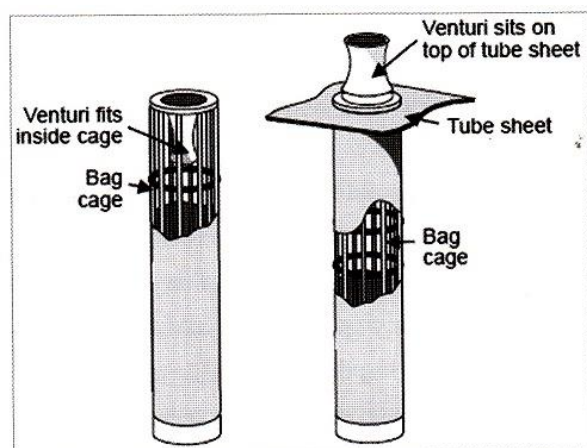
واحدهای pluse-jet استفاده می‌کنند، ادعا می‌کنند که ونتوری در افزایش فشار تمیزسازی مؤثر است و به همین دلیل، تمیزسازی کیسه‌ها را بهبود می‌بخشد. در طراحی‌های دیگر pluse-jet ونتوری استفاده نمی‌شود، اما کیسه‌ها کماکان به خوبی تمیز می‌شوند. اهمیت ونتوری‌ها مورد بحث است. استفاده از ونتوری در برخی موارد به افزایش جریان هوا در نقطه مشخصی از کیسه منجر می‌شود و در حقیقت سبب سوراخ شدن سریع کیسه می‌شود. عامل حیاتی برای تمیزسازی کامل کیسه، حصول اطمینان از تنظیم درست لوله دمش و گلوگاه‌های بالای لوله‌های کیسه است.



گاز ورودی-سنسور فشار-هوای مضاعف-شیر دیافراگم-زمانسنج-کنترل سیگنال-لوله دمنده-گاز تمیز شده خروجی-کیسه

شکل (۴-۲۳) سیستم تمیزسازی Pulse-jet با استفاده از هوای دمشی (ماهنامه سیما - شماره ۱۷۴ -

شهریور ۱۳۹۱)



ونتوری بالای ورقه لوله-ورقه لوله-کیسه میله دار -ونتوری داخل کیسه-کیسه میله دار

شکل (۴-۲۴) ونتوری استفاده شده در سیستم (ماهنامه سیمان -شماره ۱۷۴-شهریور ۱۳۹۱)

تمیزسازی کیسه‌ها با ضربه و تقریباً ۳ تا ۵ ثانیه طول می‌کشد. فشار درگیر با فرآیند معمولاً

بین ۶۰ تا ۱۰۰ psig (414kpa,689kpa) است. برخی از فروشندگان دستگاه‌هایی برای استفاده

از هوای ضربه زننده با فشار کمتر نیز ساخته‌اند (40psi).

جدول (۴-۹) پارامترهای طراحی نمونه‌ای تمیز کننده‌های Pluse-jet

Frequency	Usually a row of bags at a time, sequenced one row after another; can be sequenced such that no adjacent rows are cleaned one after another; initiation of bag cleaning can be triggered by maximum pressure-drop set-point, be timed, or continuous
Motion	Shock wave passes down bag, bag distends from bag cage momentarily
Operation mode	Cleaning can be done while unit is on-stream; cleaning can also be done off-stream (off-line) for difficult to clean applications such as coal-fired boilers or MSW incinerators
Duration	Compressed air 60 to 100 psi for on-line cleaning and 40 to 100 psi for off-line cleaning. Pulse duration is 0.1 sec.
Common bag dimensions	5 to 6 inch diameters; 8, 10, 12, 14, 16, and 20- foot lengths

فرکانس	یک ردیف کیسه غیر عادی بصورت متوالی یک ردیف بعد از دیگری میتواند پشت سر هم قرار بگیرد بطوریکه ردیفهای تمیز شده قابل تنظیم نیست و میتوان برای شروع پاکیزه سازی کیسه ها از افزایش فشار استفاده کرد
حرکت	موج ضربه به پایین کیسه منتقل می شود و کیسه بطور لحظه ای منبسط میشود
حالت عملکرد	زمانی پاکیزه سازی را میتوان انجام داد که جریان برقرار باشد و معمولاً پاکیزه سازی موقعی انجام میشود که جریانی برقرار نیست و برای کاربردهای مختلف پاکیزه سازی مانند سوزاندن زغال بویلرها یا سوزاننده MSW
مدت زمان	فشار هوای فشرده ۶۰ تا ۱۰۰ psi برای پاکیزه سازی باز و ۴۰ تا ۱۰۰ psi برای پاکیزه سازی بسته و مدت پالس ۰٫۱ ثانیه است
ابعاد کیسه مشترک	ابعاد ۵ تا ۶ اینچ و طول ۸-۱۰-۱۲-۱۴ و ۲۰ فوت

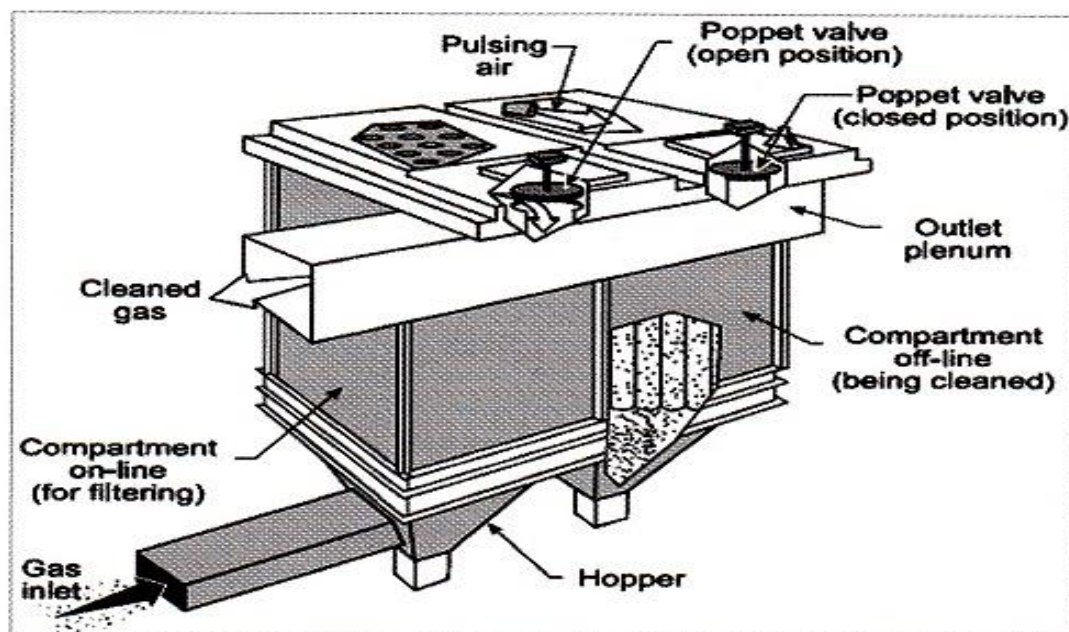
بیشتر بگ هاوس های pulse-jet، از لوله های کیسه ای با قطر بین ۴ تا ۶ اینچ (۲/۱۰ تا ۲/۱۵ سانتی متر) استفاده می کنند. طول کیسه معمولاً بین ۱۰ تا ۱۲ فوت (۳/۰۵ تا ۳/۶۶ متر) است اما می تواند تا ۲۰ فوت (۶/۱ متر) نیز افزایش یابد. بگ هاوس های هوای معکوس و لرزاننده از کیسه های بزرگتری نسبت به pulse-jet استفاده می کنند. قطر کیسه ها در واحدهای هوای معکوس و لرزاننده بین ۶ تا ۱۸ اینچ (۱۵/۲ تا ۴۵/۷ سانتی متر) و طول آنها تا ۴۰ فوت (۱۲/۲ متر) است. پارامترهای طراحی نمونه ای برای تمیزکننده های pulse-jet در جدول ۴-۱۱ آورده شده است.

۲۳-۴ Compartment بگ هاوس های pulse-jet

بگ هاوس های pulse-jet هم می توانند اتاقک بندی شوند. در این مورد سوپاپ های poppet واقع شده در فضای مملو از هوای تمیز، برای توقف جریان هوای آلوده درون Compartment استفاده می شود. هر Compartment می تواند با یک تک سوپاپ ضربه ای که هوای فشرده را برای گروهی از کیسه ها فراهم می کند یا با مجموعه ای از سوپاپ های ضربه ای

که هوای ضربه زننده را به درون لوله دمش بالای ردیف کیسه‌ها در اتاقک هدایت می‌کند، تجهیز شود. طی چرخه تمیزسازی، سوپاپ poppet بسته می‌شود و جریان هوای اتاقک را متوقف می‌کند. سوپاپ ضربه به مدت ۱/۰ ثانیه باز می‌شود و جریان انفجاری از هوا را برای تمیزسازی کیسه‌ها فراهم می‌کند. اتاقک حدود ۳۰ ثانیه از خط خارج می‌شود، هرچند در صورت نیاز این زمان می‌تواند بیشتر یا کمتر شود. سپس سوپاپ poppet به طور اتوماتیک دوباره باز می‌شود و اتاقک را به جریان باز می‌گرداند. سایر اتاقک‌ها تا تمیز شدن همه کیسه‌های بگ‌هاوس یکی پس از دیگری تمیز می‌شوند (شکل ۴-۲۵). چرخه تمیزسازی در هر اتاقک حدود ۴۰ تا ۱۲۰ ثانیه طول می‌کشد. این تمیزسازی، تمیزسازی خارج خط خوانده می‌شود. این شیوه مرتباً برای فیلترهای پارچه‌ای نصب شده در کوره‌های زباله‌سوزی استفاده می‌شود و اجازه تمیزسازی کامل کیسه را در حالی می‌دهد که بگ‌هاوس، دائماً خروجی اندکی را دریافت می‌کند (کمتر از 0.015 gr/dscf).

(ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)



محفظه بسته تمیز شده-خروجی-شیر پکتو(بسته) -شیر پکتو(باز) - هوای ضربانی-گاز تمیز شده-
محفظه باز جهت فیلتر کردن-ورودی گاز

شکل (۴-۲۵) Compartment بگ هاوس pulse-jet (ماهنامه سیمان - شماره ۱۷۴ - شهریور ۱۳۹۱)

۴-۲۴ مدل سازی برج خنک کن

غیر خطی بودن و پیچیدگی موجود در فرآیندهای دینامیکی در کل سیستم برج خنک کن و به طبع آن دشواری محاسبات و آنالیزها، سبب شده که با استفاده از روش های تجربی و نظری، یک مدل ریاضی را برای کل سیستم ایجاد نمود تا بتوان عملکرد سیستم را در طیف گسترده ای از شرایط عملیاتی پیش بینی کرد.

میزان بار خنک کاری از طریق فرمول (۴-۲۰) محاسبه می شود:

$$Q_{chw} = c_w m_{chw} (T_{chw,i} - T_{chw,o}) \quad (۴-۲۰)$$

مصرف انرژی (قدرت) تابعی از بار خنک کاری، دمای آب در ورودی بخارکننده (اوپراتور)

و دمای آب کندانسور در ورودی برج خنک کن می باشد. معادله (۴-۲۱) رابطه مصرف انرژی و

این متغیرها را بیان می کند:

$$(4-22)$$

$$P_{comp} = a_0 + a_1(T_{cw,i} - T_{chw,i}) + a_2(T_{cw,i} - T_{chw,i})^2 + a_3Q_{chw} + a_4Q_{chw}^2 + a_5Q_{chw}(T_{cw,i} - T_{chw,i})$$

در این معادله داریم:

جدول (۴-۱۰) ضرایب موجود در رابطه (۴-۲۲)

ضریب	مقدار
a_0	-۴,۶۹۲۹
a_1	۰,۲۶۹۸
a_2	-0.0011
a_3	۰,۱۷۸۲
a_4	-۹.۴۵۰۹×10^{-5}
a_5	-۱.۱۰۲×10^{-3}

بالانس انرژی در این سیستم نیز با توجه به رابطه (۴-۲۳) می باشد:

$$Q_{cw} = Q_{chw} + P_{comp} \times \eta \quad (4-23)$$

نرخ انتقال گرما در تبدیل کننده گرمایی نیز با رابطه (۴-۲۴) تعریف می شود:

$$Q_{cw} = c_w m_{cw} (T_{cw,i} - T_{cw,o}) \quad (24-4)$$

ظرفیت خنک کاری چرخه بسته برج خنک کن تحت شرایط کانتر-جریان بصورت زیر

خلاصه می شود:

$$Q_{cw} = \frac{T_{cw,i} - T_{wb,i}}{\frac{1}{\beta_{ext} c_{psat} m_a^{0.8}} + \frac{\mu_{cw}^{0.5}}{\beta_{int} m_{cw}^{0.8}} + \frac{1}{2c_{psat} m_a} + \frac{1}{2c_w m_{cw}}} \quad (25-4)$$

که

$$\mu_{cw} = \frac{\mu_0}{1 + 0.0337T_{cw,i} + 0.000221T_{cw,i}^2} \quad (26-4)$$

در معادله (25-4) مقادیر ضراب از جدول زیر بدست می آید:

جدول (4-11) ضرایب معادله (25-4)

ضریب	مقدار
β_{ext}	0.310
β_{int}	۰,۵۷۴

دمپر فرش ایر می تواند با قرار گیری بر روی سیستم سبب بهبودی عملکرد کل سیستم شود.

همچنین عملکرد خود دمپر فرش ایر نیز می تواند کنترل شود. ازین رو مصرف انرژی دمپر فرش

ایر از رابطه (27-4) بدست می آید:

$$P_{f.a} = b_0 + b_1 \times m_a + b_2 \times m_a^2 + b_3 \times m_a^3 \quad (27-4)$$

که

جدول (۱۲-۴) ضرایب معادله (۲۷-۴)

ضریب	مقدار
b_0	۰,۲۳۳۶
b_1	-0.0961
b_2	۰,۱۲۶۲
b_3	-0.0193

در این پژوهش، ضریب عملکرد (COP) دمپر فرش ایر و ضریب عملکرد کل سیستم به

ترتیب بصورت معادلات (۲۸-۴) و (۲۹-۴) می باشد:

$$COP_{f.a} = \frac{c_w m_{chw} (T_{chw,i} - T_{chw,o})}{P_{comp}} \quad (28-4)$$

$$COP_{sys} = \frac{c_w m_{chw} (T_{chw,i} - T_{chw,o})}{P_{sys}} = \frac{c_w m_{chw} (T_{chw,i} - T_{chw,o})}{P_{f.a} + P_{sw} + P_{cw} + P_{comp}} \quad (29-4)$$

در کل سیستم، مصرف انرژی الکتریکی بسیار حائز اهمیت است. از این رو مصرف انرژی کل

سیستم بطور عمده تحت تاثیر توان کمپرسور، توان کندانسور، توان اسپری آب و توان دمپر فرش

ایر می باشد.

بر این اساس، تابع هدف برای حداقل کردن مصرف انرژی کل سیستم با استفاده از دمپر فرش ایر

از رابطه (۲۰-۴) بدست می آید:

$$\min P_{sys} = \min(P_{comp} + P_{cw} + P_{sw} + P_{f.a}) \quad (30-4)$$

بهینه سازی کل سیستم از طریق تعیین متغیرهای کنترلی برای دستیابی به تابع هدف بر اساس محدودیت ها فرمول بندی می شود.

توان های ورودی کمپرسور، کندانسور، دمپر فرش ایر و اسپری آب بر اساس محدودیت-
 هاست که سازنده آن ها برای عمل کردن در شرایط امن سیستم ارائه می دهند، تعیین می شوند؛ از
 این رو داریم:

$$P_{comp,min} \leq P_{comp} \leq P_{comp,max} \quad (31-4)$$

$$P_{f.a,min} \leq P_{f.a} \leq P_{f.a,max} \quad (32-4)$$

$$P_{cw,min} \leq P_{cw} \leq P_{cw,max} \quad (33-4)$$

$$P_{sw,min} \leq P_{sw} \leq P_{sw,max} \quad (34-4)$$

اطلاعات داده شده تحت شرایط خنک کاری بر اساس استاندارد های صنعتی بصورت زیر
 است:

$$20^{\circ}C \leq T_{cw,i} \leq 40^{\circ}C \quad (35-4)$$

$$5^{\circ}C \leq T_{chw,i} \leq 15^{\circ}C \quad (36-4)$$

در برج خنک کن ، حداقل دمای ایده ال کندانسور آب ، دمای مرطوب محیط است، درحالی
 که مقدار واقعی بسیار بیشتر از مقدار ایده آل است که بصورت زیر بیان می شود:

$$T_{wb,i} \leq T_{cw,o} \quad (37-4)$$

اختلاف دمای بین آب کندانسور ورودی و خروجی آب کندانسور برج معمولاً بیشتر از ۵

درجه سانتی گراد نیست. از این رو:

$$T_{cw,i} - T_{cw,o} \leq 5^{\circ} C \quad (4-38)$$

➤ فهرست علائم و اختصارات

m : سرعت جرم جریان ، kg/s

T : دما، درجه سانتی گراد

c_w : گرمای مخصوص آب خنک کاری در فشار ثابت، 4.1868 kJ/(kg.°C)

c_{psta} : گرمای مخصوص تجزیه هوای اشباع شده در فشار ثابت ، kJ/(kg.°C)

H : ماتریس Hessian

P : مصرف انرژی (توان)، kW

Q : نرخ کاهش گرما، kW

h_i : توابع دیفرانسیلی پیوسته، معادله (i)

g_j : توابع دیفرانسیلی پیوسته، معادله (j)

نمادهای یونانی

μ_{cw} : ضریب ویسکوزیته دینامیکی آب در دماهای T_{cw}

μ_o : ضریب ویسکوزیته دینامیکی آب در دمای صفر درجه

α, β : ثابت های مثبت $1 \leq \beta \leq \alpha$

η : کارایی گرمای تولید شده توسط کمپرسور

زیرنویس ها

a : هوا

$f.a$: فرش ایر

sw : اسپری آب

cw : کندانسور آب

chw : آب سزد

$comp$: کمپرسور

i : ورودی

o : خروجی

wb : لامپ مرطوب محیط

با داشتن روابط موجود در مدل سازی، می توان با کمک نرم افزار متلب و با استفاده از

الگوریتم ژنتیک، تابع هدف سیستم برج خنک کن، که کاهش مصرف انرژی با استفاده از دمپر

فرش ایر می باشد، بهینه سازی شده است.

در ادامه توضیح مختصری درمورد الگوریتم ژنتیک در متلب و نحوه کارکرد آن می دهیم:

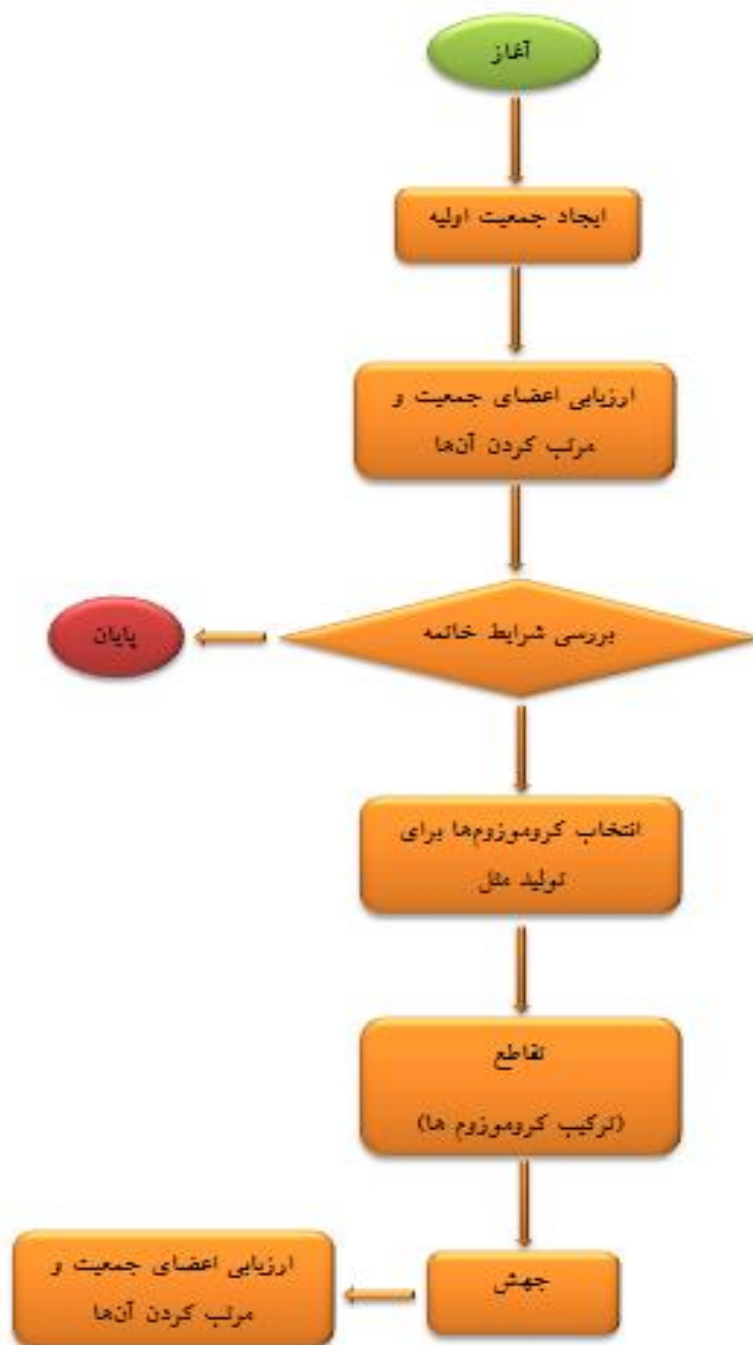
۴-۲۴-۱ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از مهم ترین الگوریتم های ابتکاری است که از آن برای بهینه سازی توابع مختلف استفاده می شود و نخست توسط جان هالند در دانشگاه میشیگان ارائه شد. در این الگوریتم اطلاعات گذشته-با توجه به موروثی بودن-استخراج شده در فرایند جست و جو استفاده می شوند. جدول ۴-۱۳ نشان دهنده تطابق مفاهیم ژنتیکی با مفاهیم بهینه سازی است.

جدول (۴-۱۳) تطابق مفاهیم ژنتیکی با مفاهیم بهینه سازی

مفاهیم ژنتیکی	مفاهیم بهینه سازی
کروموزوم	جواب شدنی (یم نقطه از فضای مسئله)
نسل	جمعیتی از جواب های شدنی
عملگر ژنتیکی	تولید حل همسایه
مقدار برازندگی	مقدار تابع هدف-مطلوبیت
تکامل	حرکت به سوی بهینه موضعی

(شکل ۴-۲۶) مراحل عملکرد الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد:



(شکل ۴-۲۶) مراحل عملکرد الگوریتم ژنتیک

یک الگوریتم GA دارای پارامترهای زیر است:

$GA(Fitness, Fitness_threshold, p, r, m)$

- $Fitness$: -تابعی برای ارزیابی یک فرضیه که مقداری عددی به هر فرضیه نسبت میدهد

- $Fitness_threshold$: مقدار آستانه که شرط پایان را معین می کند

- p : تعداد فرضیه هائی که باید در جمعیت در نظر گرفته شوند

- r : در صدی از جمعیت که در هر مرحله توسط الگوریتم crossover جایگزین می

شوند

- m : نرخ mutation

در الگوریتم ژنتیک معمولاً فرضیه ها بصورت رشته ای از بیت ها نشان داده می شوند تا

اعمال اپراتورهای ژنتیکی بر روی آنها ساده تر باشد.

- $Phenotype$: به مقادیر یا راه حل های واقعی گفته میشود.

- $Genotype$: به مقادیر انکد شده یا کروموزم ها گفته میشود که مورد استفاده GA

قرار می گیرند.

۴-۲۵ حل مساله

در این تحقیق به بررسی بهینه سازی انرژی در برج خنک کن و آنالیز زیست محیطی در شرکت سیمان خاکستری ساوه به کمک نرم افزار متلب پرداخته می شود. همانطور که اشاره شد، این مساله دارای یک تابع هدف می باشد که هدف آن بهینه سازی مصرف آب از طریق حذف کولینگ تاور و جایگزینی دمپر فرش ایر روی داکت خروجی است.

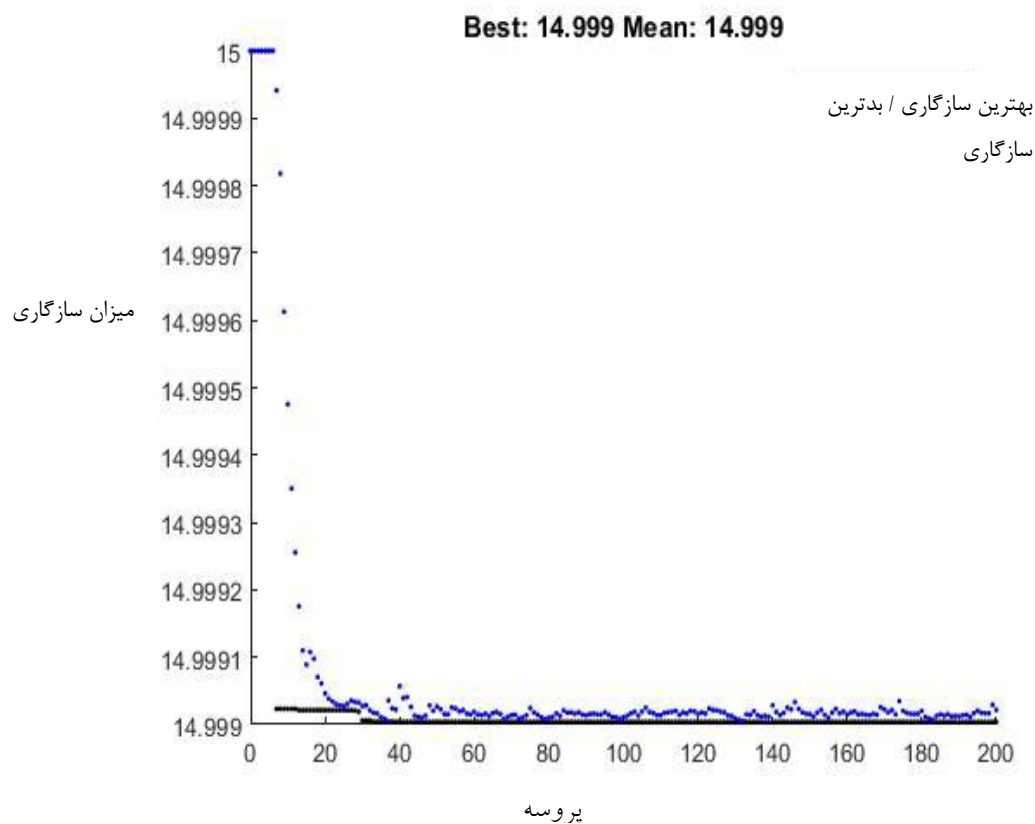
با اجرای روش مورد نظر، پارامترهای بدست آمده از الگوریتم ژنتیک بصورت زیر است:

جدول (۴-۱۴) مقادیر پارامتر نهایی برای الگوریتم پیشنهاد شده

الگوریتم	پارامتر	مقدار پارامتر
الگوریتم ژنتیک	اندازه جمعیت	354
	بیشترین نسل تولید شده	۸۰۰
	تعداد تکرار برای حل های عدم بهبود	۴۰۰
	تعداد جواب های خبره	$0.5/X$ اندازه جمعیت
	احتمال عملگر باز ترکیب	۰/۸
	پارامتر آلفا برای عملیات جهش	۱/۶

نتایج بدست آمده از این حل بهینه سازی مصرف انرژی با استفاده از نصب دمپر فرش ایر

روی داکت خروجی بصورت زیر می باشد:

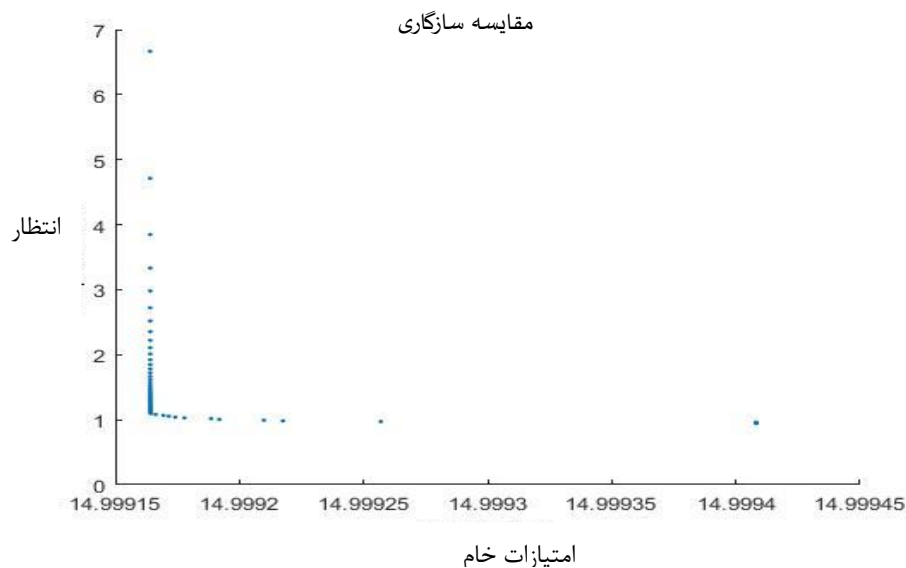


شکل (۴-۲۷) نمودار برازندگی تابع هدف بهینه سازی انرژی

نمودار شکل (۴-۲۷) نشان می دهد که تابع هدف ما با وجود دمپر فرش ایر پس از ۲۰۰

تکرار به مقدار بهینه ۱۴,۹۹۹ کیلووات رسیده است. در واقع بعد از ۲۰۰ تکرار، مقدار بهینه و

مقدار میانگین برابر شده و چون شرط توقف می باشد الگوریتم به حل خود پایان داده است.



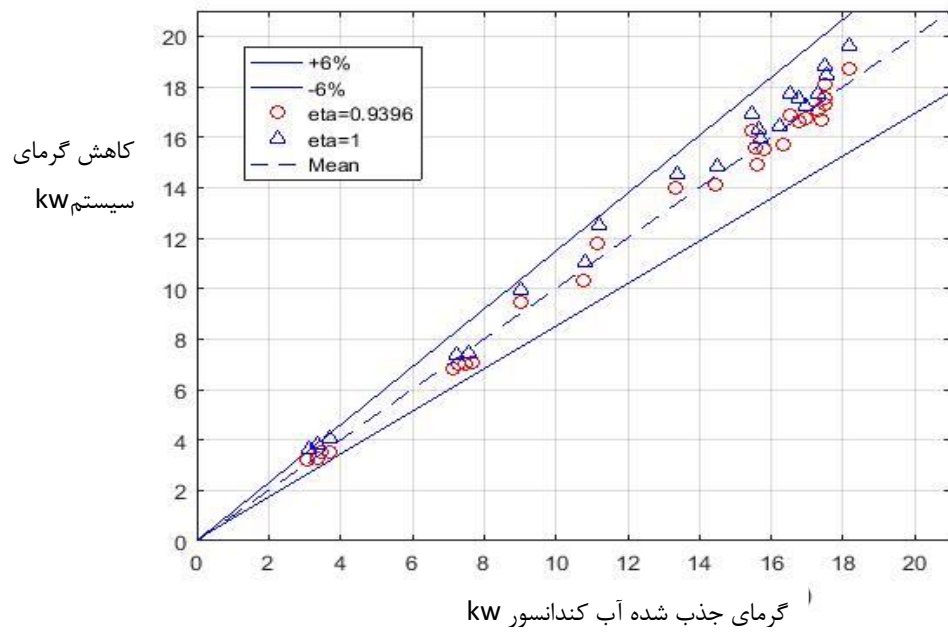
شکل (۴-۲۸) مقدار مورد انتظار برای تابع هدف بهینه سازی انرژی

شکل (۴-۲۸) تعادل انرژی ایجاد شده در سیستم با وجود دمپر فرش ایر را نشان می دهد. دو خط

$\pm 6\%$ درصد برابر با گرمای ایجاد شده از طریق خنک کردن می باشد. زمانی که $\eta = 1$ و

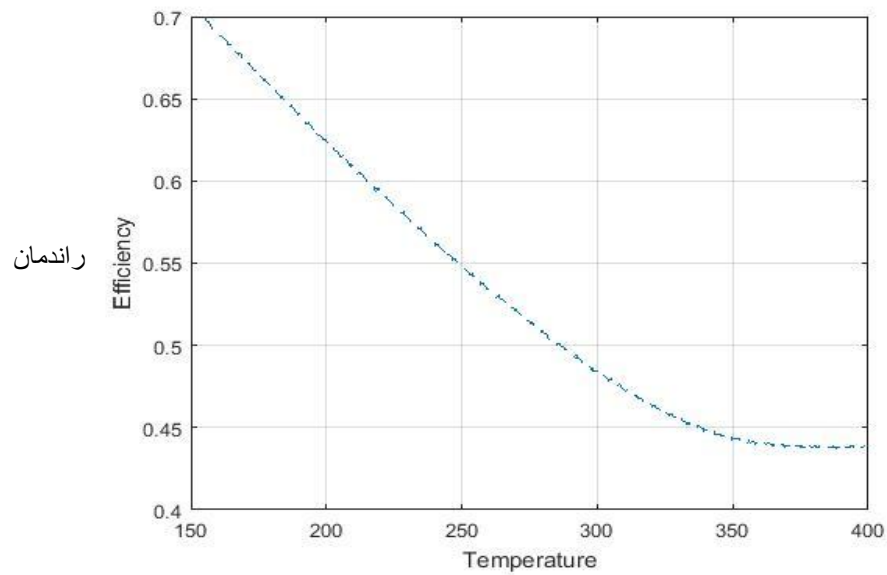
$\eta = 0.7365$ می باشد، نرخ های غیر تعادلی مطلق میانگین به ترتیب ۵,۳ درصد و ۳,۲ درصد می

باشد.



شکل (۴-۲۹) تعادل انرژی ایجاد شده در سیستم

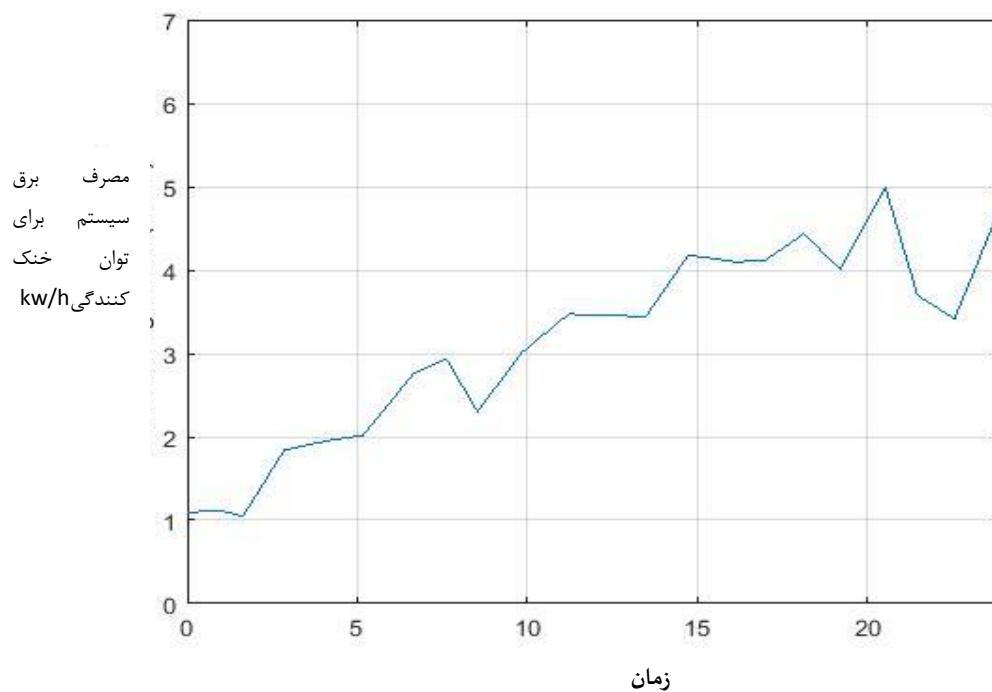
شکل (۴-۲۹) نشان می دهد که با افزایش دما، راندمان الکتروفیلتر کاهش می یابد.



دما

شکل (۴-۳۰) تغییرات راندمان بر حسب دما

شکل (۳۰-۴) گویای این حقیقت است که با افزایش دمای ورودی به الکترو فیلتر ، راندمان آن کاهش می یابد. زیرا با افزایش مقدار اسپری آب و افزایش رطوبت ورودی به الکتروفیلتر، امکان تشکیل نقطه شبنم و خوردگی صفحات وجود دارد. از طرفی با حذف کولینگ تاور تنها می توان دمای ورودی را تا حد کمی کاهش داد. لذا راه حل اساسی، تبدیل الکتروفیلتر به بگ هاوس می باشد.

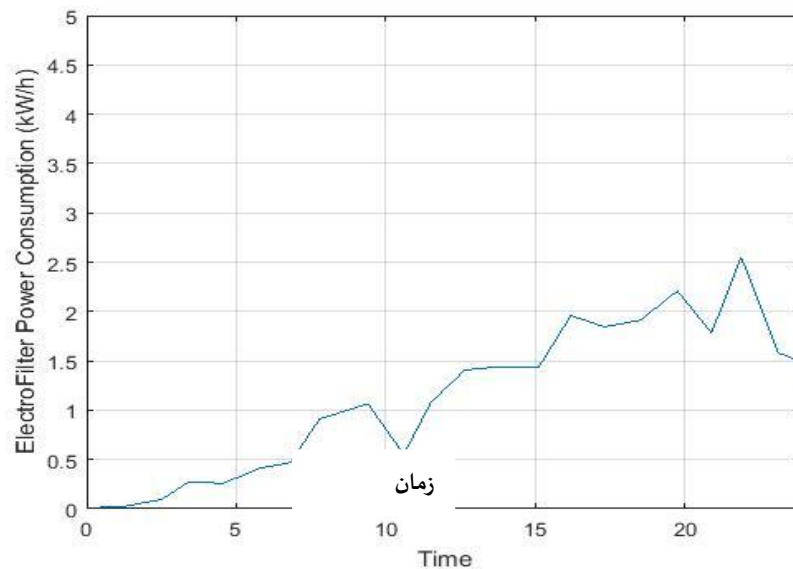


شکل (۳۱-۴) مصرف انرژی سیستم با وجود کولینگ تاور در یک شبانه روز

شکل (۳۱-۴) بیان گر میزان تغییرات انرژی بر حسب ساعت با گذشت زمان است. در این حالت فرض شده است که کل سیستم بدون توقف در حال انجام کار می باشد. در این سیستم،

همچنان از برج خنک کن در کنار الکتروفیلتر (که دارای بخش های گوناگون مصرف کننده برق و انرژی می باشد) برای خنک کردن گاز ورودی استفاده می شود.

مصرف برق الکتروفیلتر
kw/h

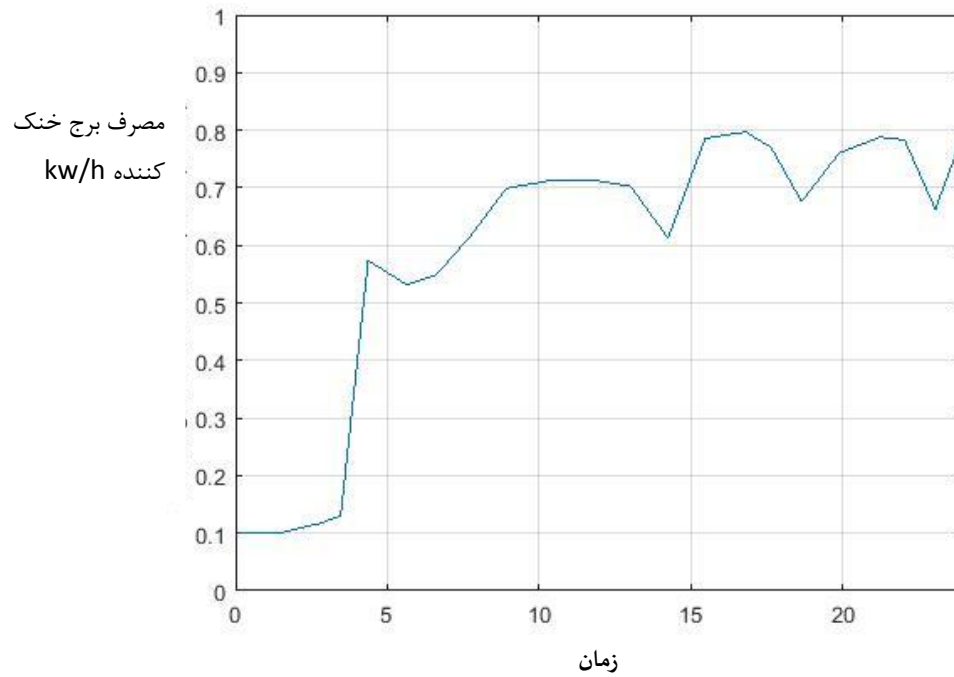


شکل (۴-۳۲) تغییرات انرژی الکتروموتور در یک شبانه روز

شکل (۴-۳۲) بیان گر میزان مصرف انرژی الکتروفیلتر با گذشت زمان در طول یک شبانه

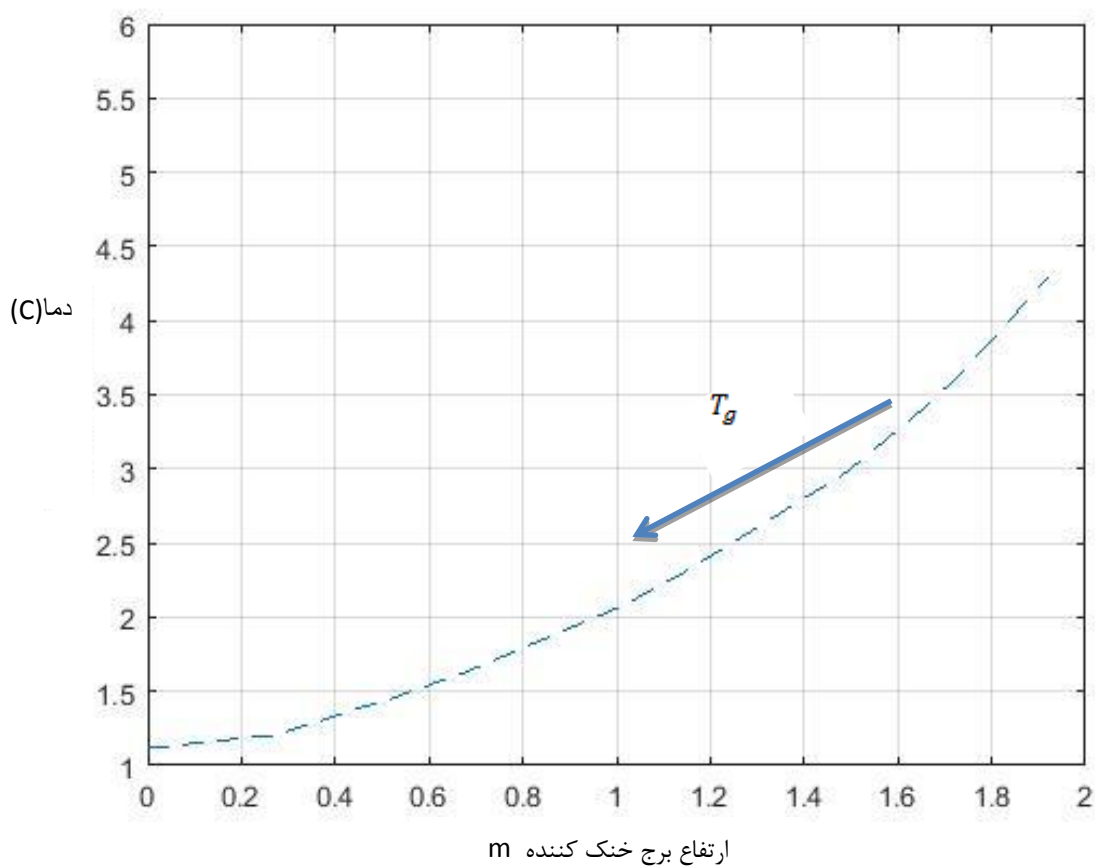
روز است. زمان هایی که الکتروموتور با کاهش مصرف انرژی همراه بوده است گویای این موضوع

است که بخش هایی از سیستم الکتروفیلتر در حالت Stand by بوده اند.



شکل (۴-۳۳) تغییرات انرژی برج خنک کن در یک شبانه روز

شکل (۴-۳۳) تغییرات سیستم برج خنک کن را برای خنک کردن سیستم با استفاده از آب در یک شبانه روز نشان می دهد. با حذف این سیستم، علاوه بر صرفه جویی در مصرف آب، در مصرف انرژی نیز صرفه جویی می شود.

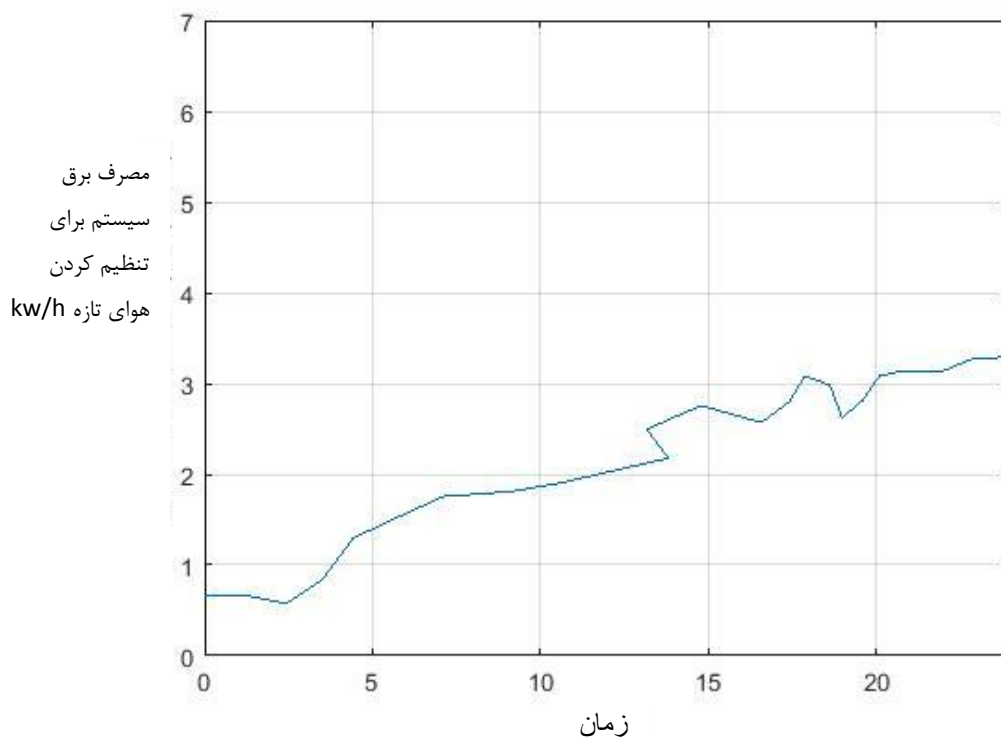


شکل (۴-۳۴) تغییرات دما بر حسب تغییر ارتفاع برج خنک کن

شکل (۴-۳۴) بیان کننده این است که هر چه ارتفاع برج خنک کن بیشتر شود دمای قطره ای

نیز افزایش می یابد. از طرف دیگر با گذشت فرآیند، دمای گاز کاهش می یابد.

و در نهایت در شکل (۴-۳۵) تغییرات انرژی با حذف کولینگ واتر نشان داده شده است:



شکل (۴-۳۵) تغییرات مصرف انرژی برج خنک کن در یک شبانه روز

شکل (۴-۳۵) تغییرات مصرف انرژی کل سیستم را پس از حذف کولینگ تاور و به تبع آن حذف الکترو فیلتر را نشان می دهد. در این حالت کولینگ تاور و الکترو فیلتر حذف شده اند و بجای آن ها دمپر فرش ایر روی داکت خروجی و بک هاوس به سیستم اضافه شده اند. در فصل ۵ و در بخش تحلیل نتایج، دو نمودار حاصل از مصرف انرژی برای هر دو حالت ارائه می شود و نشان داده می شود که چقدر صرفه جویی در مصرف انرژی صورت خواهد گرفت.

۴-۲۶ جمع بندی فصل چهارم

در این پژوهش که با عنوان بهینه سازی انرژی در برج خنک کن و آنالیز زیست محیطی در شرکت سیمان خاکستری ساوه می باشد، یه منظور کاهش مصرف آب و کاهش مصرف انرژی پیشنهادی تحت عنوان حذف کولینگ تاور و الکتروفیلتر و جایگزینی بگ هاوس و فرش ایر دمپر بجای آن ها ارائه شد. در هر دو حالت نتایج بدست آمده ارائه شد و بایکدیگر مقایسه گردید و مشخص شد که این پیشنهاد تاثیر خوبی بر کارخانه در جهت صرفه جویی در آب و بهینه سازی مصرف آب خواهد داشت.

۵- فصل پنجم: نتیجه گیری

۵-۱ نتایج

کارخانه سیمان خاکستری ساوه بعلت خشکسالی‌های مداوم اخیر و ازدیاد برداشت آب از چاه‌های زیرزمینی منطقه با مشکل کمبود آب روبروست، یکی از دپارتمان‌هایی که می‌توان مصرف آب را بطور کلی حذف کرد، بخش کولینگ تاور می‌باشد، استفاده از سیال هوا برای خنک کردن گازهای خروجی از پیش گرم کن که دمایی حدود ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد وارد و رساندن آن به دمایی حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، می‌تواند اجرایی شود. برای این کار ابتدا لازم است دمپر ورود هوا بر روی داکت خروجی از پیش گرم کن نصب شود تا هوای محیط توسط مکش فن آگروز فن به داخل داکت راه یابد. در این حالت دمای خروجی از پیش گرم کن ۵۰ درجه افت می‌کند که محدوده مناسبی برای استفاده از آن در الکتروفیلتر نمی‌باشد. زیرا راندمان الکتروفیلتر در این دما خیلی پایین می‌باشد. لذا باید دنبال جایگزین یک غبارگیر خوب صنعتی بجای الکتروفیلتر باشیم. غبارگیری که بتواند گازهای خروجی از کوره را پالایش و و داست آنرا جدا کند. با توجه به حجم گازهای خروجی از کوره و شرایط دمایی بهترین گزینه بگ‌هاوس می‌باشد.

مزایای استفاده از فیلترهای بگ‌هاوس به شرح زیر هستند:

۱- بازدهی خیلی زیاد جمع‌آوری ذرات درشت و ریز.

۲- هزینه این تجهیزات کمتر از الکتروفیلتر است.

۳- سبکتر از الکتروفیلتر و هزینه فونداسیون و سازه کمتر

۴- عدم حساسیت نسبی در برابر نوسانات گاز

۵- قابل بیافت بودن ماده جمع‌آوری شده.

۶- خطری از لحاظ ولتاژ بالا وجود ندارد.

۷- خوردگی و زنگ‌زدگی وجود ندارد.

۸- سهولت تعمیر و نگهداری

۹- امکان جمع‌آوری غبار قابل احتراق

۱۰- بهره‌برداری نسبتاً ساده

۱۱- هوای خروجی از صافی قابل بازیابی است.

با نصب دمپر فرش ایر و تبدیل الکترو فیلتر به بگ هاووس به لحاظ بهینه‌سازی انرژی فوق

العاده مطلوبی در این کارخانه اتفاق می‌افتد. که به ترتیب اشاره می‌شود.

۱- حذف مصرف آب روزانه حداقل به مقدار ۵۷۶ متر مکعب در طول شبانه‌روز

۲- حذف مصرف آب روزانه در کولینگ تاور، حداکثر به مقدار ۹۶۰ متر مکعب در طول شبانه‌روز

۳- حذف ۴ دستگاه الکتروپمپ در کولینگ تاور با توان 150kw در ساعت که دو دستگاه آن همیشه در حال کار بوده و دو دستگاه همیشه در حال standby که روی هم رفته در ساعت 300kwh انرژی الکتریکی صرفه جویی می شود.

۴- حذف یک دستگاه الکتروموتور روتاری فیدر کولینگ تاور با توان 75kw

۵- حذف یک دستگاه الکتروموتور اسکروی زیر الکترو فیلتر با توان 50kw

۶- حذف یک دستگاه الکترو موتور اسکروی زیر الکتروفیلتر با توان 100kw

۷- حذف یک دستگاه الکتروموتور روتاری فیدر زیر الکتروفیلتر با توان 75kw

۸- حذف یک دستگاه الکترو موتور چکش های ضربه زن با توان 50kw

۹- حذف ۲ دستگاه ترانس Hv با توان 200kva

۱۰- حذف سروو موتور برگشتی کولینگ تاور با توان 20kw

۱۱- حذف هزینه تعمیر و نگهداری و تعویض نازل های کولینگ تاور

۱۲- حذف هزینه تعویض و خرید روغن ترانسفورماتور HV در الکتروفیلتر

۱۳- حذف هزینه تعمیر و نگهداری صفحات آند و کاتد الکتروفیلتر

۱۴- حذف هزینه تعمیر و نگهداری بدنه کولینگ تاور

- مشکلات بهره برداری ی با انجام این پروژه خودبخود، برطرف می شوند.

۱- مشکل گل کردن و گرفتگی مواد در قسمت پایین کولینگ تاور باعث عدم عملکرد مناسب

نازلها

۲- مشکل خوردگی بدنه کولینگ تاور بعلت وجود رطوبت در داخل برج و عدم وجود زاویه

پاشش مناسب

۳- مشکل یخ زدن لوله‌های و پمپ‌های کولینگ تاور در فصل سرد زمستان و هزینه تعمیر و راه-

اندازی مجدد آنها.

۴- مشکل خارج شدن الکتروفیلتر از مدار بخاطر وجود بالا بودن CO ناشی از احتراق گازها

۵- مشکل افت فیلتراسیون در داخل الکترو فیلتر بخاطر نوسان دمای ورودی و یا بالا رفتن

مقاومت ذرات و یا ایجاد کولینگ بر روی صفحات آند و کاتد و افت میدان مغناطیسی

۶- مشکل گرفتگی مواد در زیر الکتروفیلتر بخاطر مشکل مکانیکی اسکروی الکترو فیلتر یا

روتاری فیدر الکترو فیلتر

۷- مشکل فقدان خطر انفجاری در الکتروفیلتر به خاطر وجود CO در حضور میدان مغناطیسی.

۸- مشکل خارج شدن الکترو فیلتر از مدار بخاطر مشکل آنالیزور و عدم کالیبره بودن آن

۹- مشکل مهم و اساسی خارج شدن غبار و مواد از الکترو فیلتر و اتلاف انرژی موادی که به

راحتی می توانند وارد مسیر برگشتی شوند و بعد وارد چرخه تولید مورد استفاده قرار بگیرند.

مقدار داست خروجی از الکترو فیلتر با توجه به ضریب برگشتی و نیاز خوراک کوره در هر خط

۳۲ تن در ساعت خواهد بود.

ضریب برگشتی ۱۴٪ و تناژ خوراک کوره ۲۳۰ تن ورود ۳۲ تن غبار در ساعت به داخل

اتمسفر یک فاجعه محسوب می‌شود. که خطرات آن برای پرسنل کارخانه، فضای سبز، دستگاهها و

محیط زیست فوق‌العاده می‌باشد.

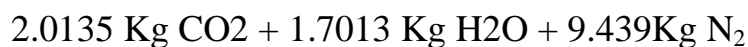
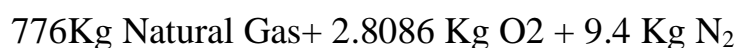
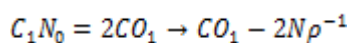
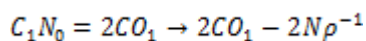
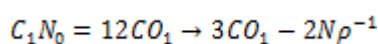
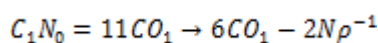
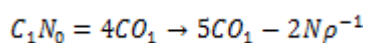
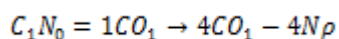
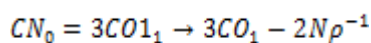
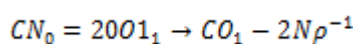
۱۰- حذف هزینه‌های ناشی از توقف کوره بخاطر مشکلات الکتروفیلتر با توجه به شرایط

زمان و نوع مشکل زیان وارده متفاوت است.

۵-۲ محاسبات حجم گازهای حاصل از احتراق

با توجه به استوکیومتری و معادلات مربوط به واکنش احتراق گاز طبیعی و گزارش آنالیز گاز

شرکت گاز پارسیان محاسبات زیر را انجام می‌دهیم.



که در شرایط نرمال یعنی فشار 101.325kPa و دمای 273⁰k با استفاده از قانون گاز ایده-

آل $PV=n RT$ به معادله زیر می‌رسیم:



بنابراین مجموع گاز تولید شده از فرآیند احتراق به ازای 1Nm^3 گاز طبیعی برابر است با :

$$10.6936 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Nm}^3 \text{fuel}}$$

با فرض اینکه مقدار مصرف ویژه انرژی حرارتی در شرایط بهینه کارکرد سیستم برابر

$$825 \frac{\text{KCal}}{\text{kg Clinker}} \text{ و مقدار ارزش حرارتی سوخت گاز برابر بار } 8300 \frac{\text{KCal}}{\text{Nm}^3 \text{ Gas}} \text{ باشد میزان}$$

گازهای حاصل از احتراق به ازای ۱ کیلوگرم کلینکر تولیدی برابر با مقدار زیر خواهد بود.

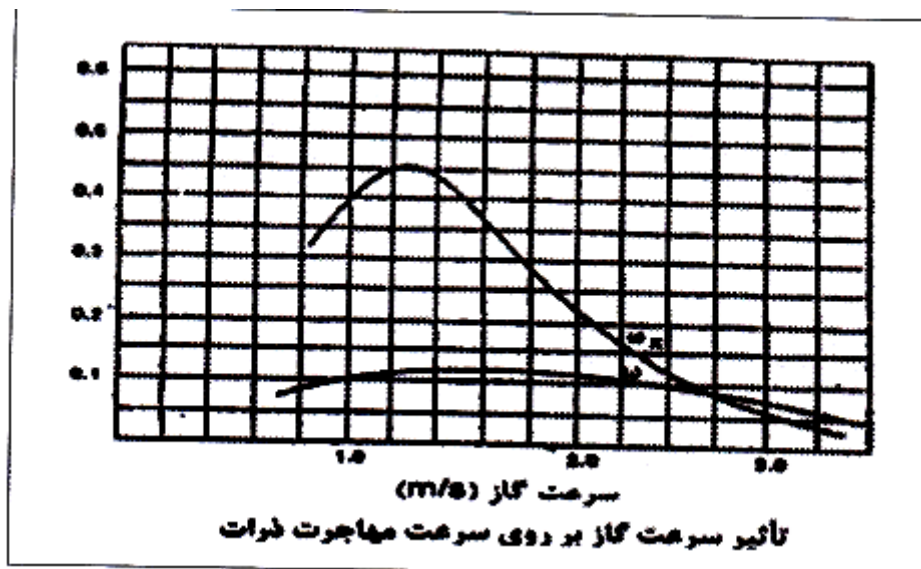
$$10.639 \frac{\text{Nm}^3}{\text{Nm}^3 \text{Gas}} \times \frac{1 \text{ Nm}^3 \text{ Gas}}{8300 \text{ KCal}} \times 825 \times \frac{\text{KCal}}{\text{kg Clinker}} = 10.629 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg clinker}}$$

۵-۲-۱ گازهای ناشی از کلسیناسیون مواد و واکنش پخت

با فرض اینکه ضریب تبدیل مواد به کلینکر برابر $1/633$ باشد به ازای هر کیلوگرم مواد خام

$$\frac{1000 \text{ gr raw material}}{1.633} = 612.3698 \text{ gr clinker} \text{ داریم:}$$

$$1000 - 612.3698 = 387.630 \text{ gr CO}_2$$



شکل (۱-۵) تغییرات راندمان بر حسب دما

جدول (۱-۵) ضریب تبدیل مواد به کلینکر

0.197342 Nm^3	$387/630 \text{ Gr}$	CO_2
0.0062 Nm^3	$5/00 \text{ Gr}$	H_2O
0.2035 Nm^3	$392/63 \text{ Gr}$	Total

با فرض ۰/۵ درصد رطوبت در مواد خام و با استفاده از قانون گاز ایده آل داریم. که به ازای

۱/۶۳۳ کیلوگرم مواد خام مقدار گاز های حاصل از واکنش پخت مواد برابر با:

$$10.2035 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg raw material}} \times 1.633 \frac{\text{kg raw material}}{\text{kg clinker}} = 0.3324 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg clinker}}$$

۵-۲-۲ محاسبه مقدار کل گازهای خروجی از آگزوز اصلی در شرایط

استفاده از گاز طبیعی

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده مقدار اکسیژن در خروجی آگزوز اصلی برابر با ۱۲/۸۶ درصد است که نشان دهنده‌ی وجود FALSE AIR در سیستم است با توجه به انجام تعمیرات مناسب جهت آب‌بندی سیستم پخت و آسیاب مواد پیش‌بینی می‌شود میزان اکسیژن در خروجی دودکش اصلی تا ۹ درصد کاهش یابد و میزان هوای کاذب در سیستم کاهش یابد. حال در ابتدا محاسبات را با مقدار اکسیژن در خروجی آگزوز اصلی برابر با ۱۲/۸۶ درصد و برای ظرفیت ۳۶۰۰ تن در روز انجام می‌دهیم:

گازهای ناشی هوای ناشی در سیستم + گازهای حاصل پخت از واکنش + گازهای حاصل از احتراق = کل گاز خروجی.

$$0.1286(1.0629 + 0.3324 + x) = 0.21X \rightarrow X = 2.2043 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg clinker}}$$
$$\text{مجموع گازهای خروجی} = 1.0629 + 0.3324 + 2.2043 = 3.5996 \frac{\text{Nm}^3}{\text{kg clinker}}$$

که اگر بخواهیم مقدار کل گازهای خروجی را برای ۳۶۰۰ تن کلینکر در روز محاسبه کنیم

برابر می‌شود با:

$$3.5996 \frac{\text{nm}^3}{\text{kg clinker}} \times 360000 \frac{\text{kg Clinker}}{\text{day}} \times 1 \frac{\text{day}}{24 \text{ hr}} = 53994. \frac{\text{nm}^3}{\text{hr}}$$

محاسبات را ابتدا در شرایطی که آسیاب مواد خام در مدار بوده و با احتساب شرایط واقعی

که فشار برابر با ۰/۸۷ bar و دمای خروجی الکتروفیلتر اصلی 91⁰C داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{(91 + 273) \times 1 \times 53994.}{273 \times 0.07} = 727494.25 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

و در شرایطی که آسیاب مواد خام در مدار نبوده و با احتساب شرایط واقعی که فشار برابر با

۰/۸۷ bar و دمای خروجی الکتروفیلتر اصلی ۱۵۰ درجه سانتی گراد داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{(91 + 273) \times 1 \times 53994.}{273 \times 0.87}$$

جدول (۵-۲) مقایسه الکتروفیلترهای کارخانه‌های سیمان با ظرفیت حدود ۳۰۰۰ الی ۳۵۰۰ تن در روز

ظرفیت تولید (tpd)	ارتفاع از سطح دریا (m)	ماکزیمم دبی هوای طراحی ورودی الکتروفیلتر (m ³ /h)	سطح الکترو تصویر شده (m ²)	نسبت حجم هوا به سطح الکترو (m ³ /h m ²)	ماکزیمم سرعت هوا در الکترو فیلتر (m/s)	زمان ماندگاری (sec)
—	—	—	—	(Max,65)	(Max,1.20)	(Min,11)
۳۴۵۰	۱۹۵۰	۷۳۸/۰۰۰	۱۲۶۰۰	۵۸/۵	۱/۲	۱۲/۳
۳۵۰۰	۱۴۰۰	۶۸۰/۰۰۰	۱۱۳۴۰	۶۰	۱/۱۷	۱۲/۸
۳۸۰۰	۳۰۰	۶۸۰/۰۰۰	۱۱۳۴۰	۶۰	۱/۱۷	۱۳
۳۰۰۰	۳۰۰	۵۷۶/۰۰۰	۹۱۰۰	۶۳/۵	۱/۲	۱۱/۳
۳۰۰۰	۱۴۰۰	۵۶۲/۰۰۰	۸۴۵۰	۶۶/۵	۱/۲۵	۱۰/۸
۳۰۰۰	۱۴۰۰	۵۹۵/۰۰۰	۸۴۵۰	۷۰/۵	۱/۳۲	۹/۵
۳۸۰۰	۱۴۰۰	۶۹۵/۰۰۰	۸۴۵۰	۸۲/۳	۱/۵	۸/۶

با توجه به اطلاعات فنی شرکت سازنده، مقدار حجم گاز خروجی از فیلتر با مصرف سوخت

مازوت و در شرایط 3000t/day برابر 140m³/s که معادل $50616 \frac{m^3}{hr}$ است قابل ذکر است

که عدد طراحی در نظر گرفته شده مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده الکتروفیلتر (FLSMIL

JO) مقدار حجم گاز ورودی با الکتروفیلتر $50616 \frac{m^3}{hr}$ در نظر گرفته شده است. در شرایط فعلی

میزان حجم گاز به دلیل وجود FRESH AIR در سیستم به $961621 \frac{m^3}{hr}$ افزایش یافته که در

مقایسه با شرایط طراحی الکتروفیلتر $562000 \frac{m^3}{hr}$ نزدیک به ۷۰ درصد رشد نشان می‌دهد. چنانچه

میزان اکسیژن از ۱۲/۸۶ درصد به ۹ درصد کاهش یابد حجم واقعی گاز $562000 \frac{m^3}{hr}$ خواهد بود

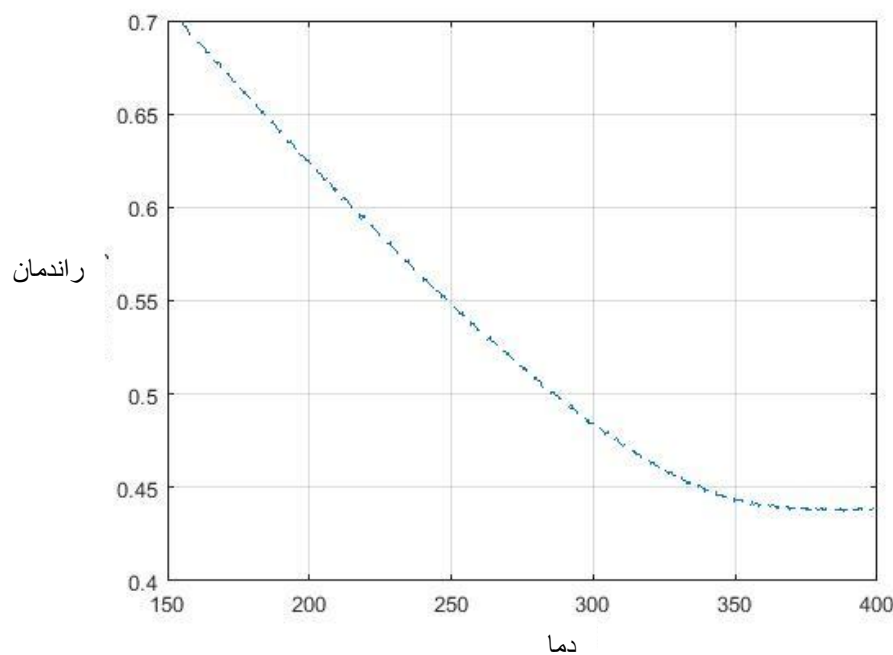
که حدود ۲۰ درصد افزایش دبی نسبت به شرایط طراحی الکتروفیلتر خواهد بود.

۳-۵ نتایج بدست آمده

همانطور که در فصل ۴ مشاهده شد، نتایج بدست آمده از نرم افزار متلب به منظور ارائه

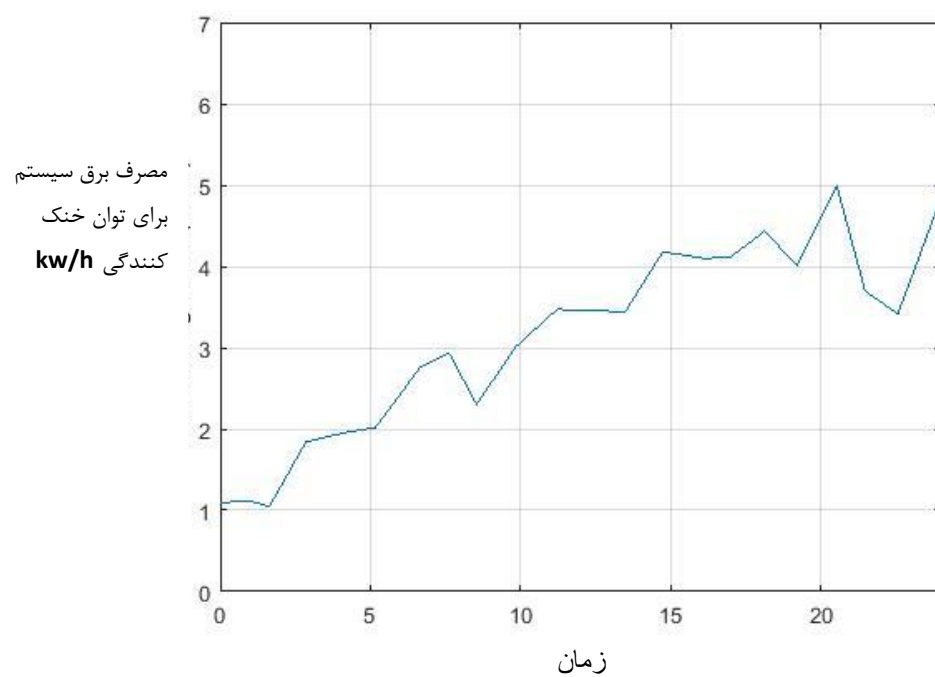
روشی برای بهینه سازی انرژی در برج خنک کن و آنالیز زیست محیطی در شرکت سیمان

خاکستری ساوه ارائه گردید. نتایج بدست آمده بصورت زیر می باشد:



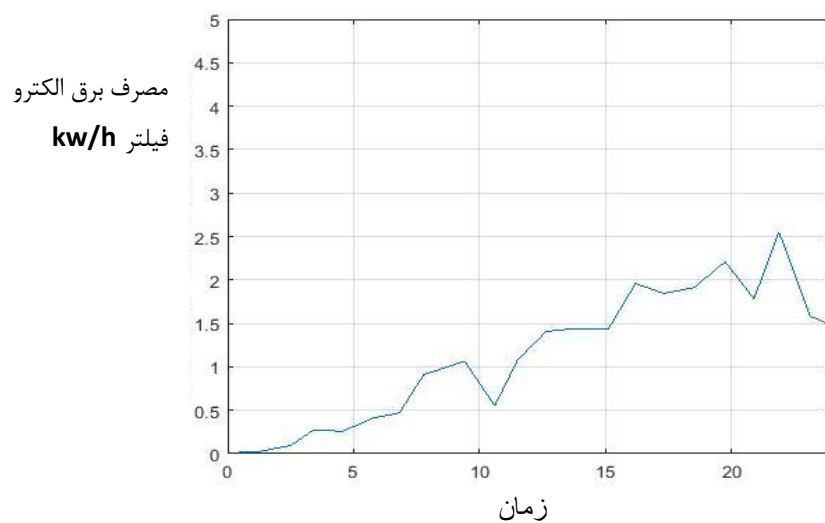
شکل (۲-۵) تغییرات راندمان بر حسب دما

شکل (۲-۵) نشان می دهد که با افزایش دما، راندمان الکتروفیلتر کاهش می یابد.



شکل (۳-۵) مصرف انرژی سیستم با وجود کولینگ تاور در یک شبانه روز

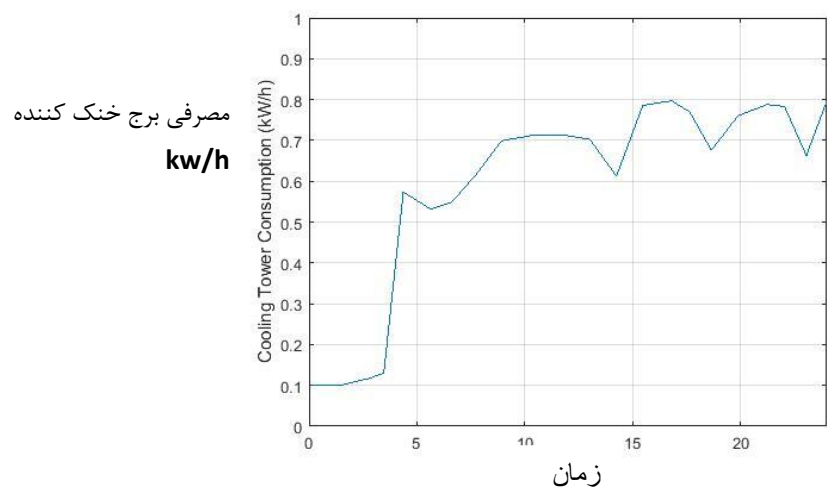
شکل (۳-۵) بیان گر میزان تغییرات انرژی بر حسب ساعت با گذشت زمان است.



شکل (۴-۵) تغییرات انرژی الکتروموتور در یک شبانه روز

شکل (۴-۵) بیان گر میزان مصرف انرژی الکتروفیلتر با گذشت زمان در طول یک شبانه روز

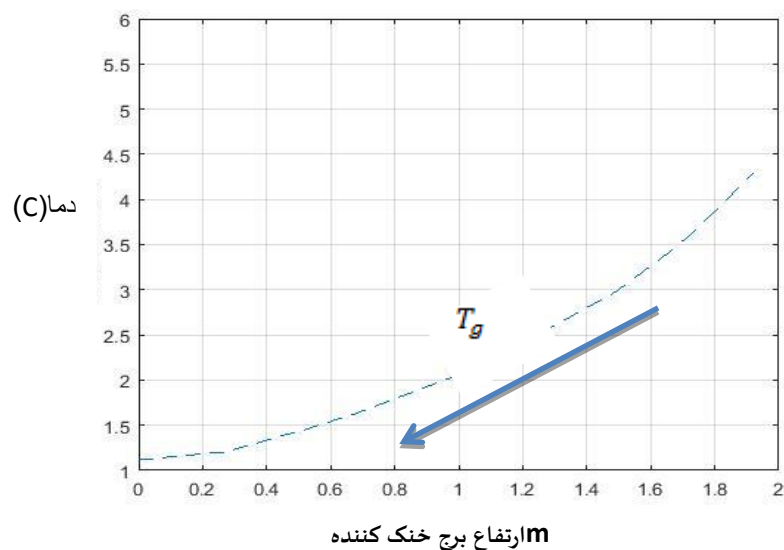
است.



شکل (۵-۵) تغییرات انرژی برج خنک کن در یک شبانه روز

شکل (۵-۵) تغییرات سیستم برج خنک کن را برای خنک کردن سیستم با استفاده از آب در

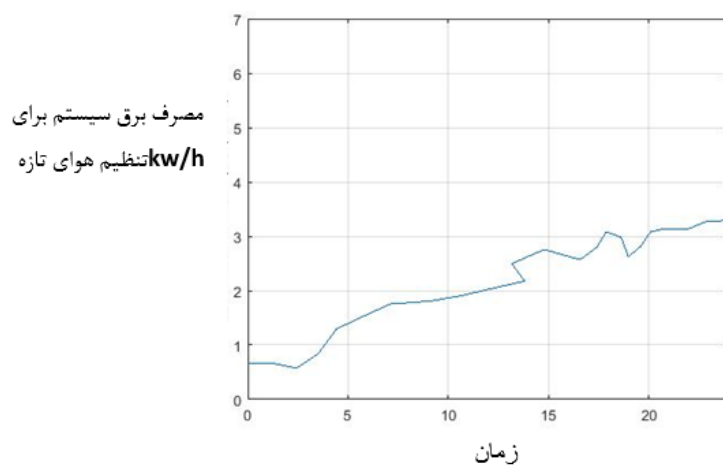
یک شبانه روز نشان می دهد.



شکل (۵-۶) تغییرات دما بر حسب تغییر ارتفاع برج خنک کن

شکل (۵-۶) بیان کننده این است که هر چه ارتفاع برج خنک کن بیشتر شود دمای قطره ای

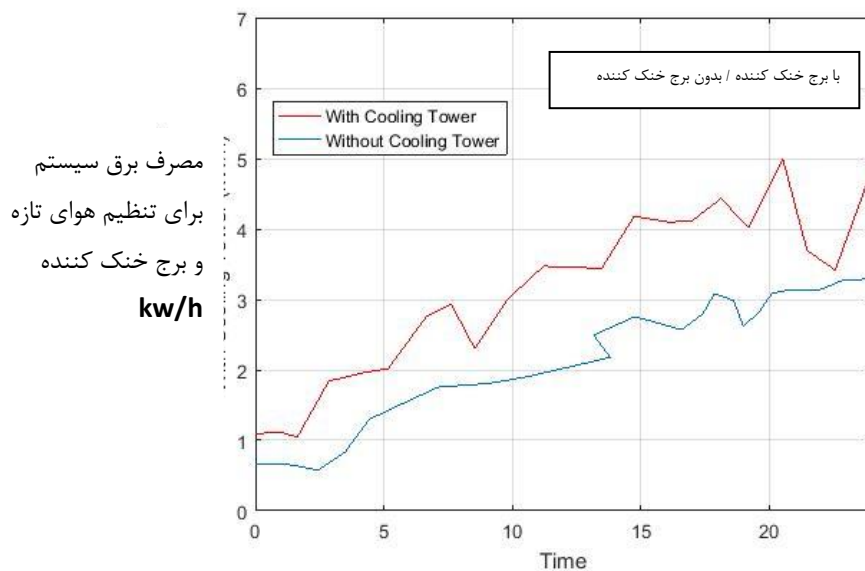
نیز افزایش می یابد.



شکل (۵-۷) تغییرات مصرف انرژی برج خنک کن در یک شبانه روز

شکل (۵-۷) تغییرات مصرف انرژی کل سیستم را پس از حذف کولینگ تاور و به تبع آن

حذف الکترو فیلتر را نشان می دهد.



شکل (۸-۵) مقایسه مصرف انرژی با وجود برج خنک کن (نمودار قرمز) و بدون برج خنک کن (نمودار آبی)

نمودار (۸-۵) مقایسه بین نتایج بدست آمده از مصرف انرژی سیستم با وجود برج خنک کن در مقایسه با روش پیشنهادی یعنی حذف کولینگ تاور و جایگزینی بگ هاوس بجای الکتروفیلتر و فرش ایر دمپر روی داکت خروجی را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود روش پیشنهادی تاثیر قابل توجهی در مصرف انرژی سیستم داشته است.

۴-۵ نصب یک دستگاه بگ هاوس

غبارگیری های پارچه ای که به طور عمده به نام یک فیلتر و بگ هاوس شناخته می شود، یکی از کاراترین انواع فیلترها است. گاز غبار آلود به یکی از خانه های فیلتر وارد شده، ذرات غبار با قطر بزرگتر پس از ورود، تحت تأثیر نیروی وزن خود به طرف هاپر حرکت کرده و مابقی روی کیسه های فیلتر جمع می شوند. زمانی که ضخامت غبار جمع شده بر روی کیسه ها به حدی برسد

که جریان به سختی عبور نماید (افت فشار) پروسه‌ی تمیز کردن کیسه‌ها آغاز می‌شود. تمیز کردن کیسه‌ها به دو طریق Offline, Online انجام می‌شود، در حالت Online محفظه‌ی مورد نظر از خط تولید خارج نشده و همچنان در مسیر گاز قرار دارد ولی در حالت Offline محفظه از خط تولید جدا و ایزوله می‌شود و پس از اتمام عملیات تمیزکاری مجدداً به خط باز می‌گردد.

تمیز کردن کیسه‌ها به سه روش امکان‌پذیر است: روش هوای معکوس (Reverse air)، روش جست هوا (air pulse) و روش مکانیکی (shaker).

در کشورهای توسعه یافته همزمان با رشد صنعت به مسائل زیست‌محیطی توجه ویژه‌ای شده است برای مثال در کشوری مانند آلمان استاندارد غبار خروجی $10\text{mg}/\text{nm}^3$ تعیین شده است برای رسیدن به این هدف تنها گزینه موجود در غبارگیرها bag house است و با الکتروفیلتر به کمتر از $50\text{mg}/\text{nm}^3$ نمی‌توان دست یافت. بنابراین چنانچه بخواهیم در بخش فیلتراسیون کارخانه با دید بلند مدت نگاه کنیم بهترین گزینه موجود نصب بگ‌هاوس خواهد بود. در تناژهای بالاتر از ۳۶۰۰ تن در روز به دلیل افت فشار فلنج تا فلنج آن حدود ۲۰ میلی بار است می‌تواند مانعی در افزایش میزان تولید تا ۴۰۰۰ تن در روز باشد. اگر گاز حاوی ذرات جامد غبار از یک لایه‌ی متخلخل پارچه عبور کند، ذرات غبار از گاز جدا شده و بر سطح بستر پارچه نشست می‌- نماید. پس از آن به صورت دوره‌ای این لایه‌ی غبار از سطح پارچه جدا شده و از طریق قیف‌های تجمع غبار از سیستم خارج می‌گردند. پارچه‌های به کار رفته در این سیستم، از جنس نمد یا از انواع بافته شده بوده که در آنها الیاف طبیعی، مصنوعی و یا غیرآلی «مانند الیاف شیشه‌ای، معدنی یا

فلزی، به کار رفته است. استفاده از فیلترهای بگ هاووس امروزه از جایگاه قابل توجهی نسبت به سایر سیستم‌های غبارگیری برخوردار است. این تکنولوژی تا به امروزه در حال توسعه است و آن را بهتر از سیستم‌های دیگر غبارگیری می‌سازد. فیلترهای بگ‌هاووس که در صنعت سیمان به کار می‌روند، معمولاً کیسه‌هایی به قطر ۳۰۰ میلی‌متر و یا کمتر و ارتفاع تا ۱۵ متر تشکیل شده‌اند. فیلترهای کیسه‌ای، ذرات کوچک در حد میکرون را با راندها بسیار بالا و در حدود ۹۹/۹۵ درصد «البته بسته به نوع کیسه» را جدا می‌کند. این فیلترها برای غبارگیری گاز با درجه حرارت تا ۲۸۵ درجه سانتی‌گراد می‌تواند به کار رود.

مزایای استفاده از فیلترهای بگ هاوس به شرح زیر هستند:

- ۱- بازدهی خیلی زیاد جمع‌آوری ذرات درشت و ریز.
- ۲- هزینه این تجهیزات کمتر از الکتروفیلتر است.
- ۳- سبکتر از الکتروفیلتر و هزینه فونداسیون و سازه کمتر
- ۴- عدم حساسیت نسبی در برابر نوسانات گاز
- ۵- قابل بایافت بودن ماده جمع‌آوری شده.
- ۶- خطری از لحاظ ولتاژ بالا وجود ندارد.
- ۷- خوردگی و زنگ‌زدگی وجود ندارد.

۸- سهولت تعمیر و نگهداری

۹- امکان جمع‌آوری غبار قابل احتراق

۱۰- بهره‌برداری نسبتاً ساده

۱۱- هوای خروجی از صافی قابل بازیابی است.

۵-۵ نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی مصرف انرژی و مصرف آب سیستم خنک کاری برای تصفیه گازهای آلاینده محیط پرداخته شد. هدف از این پژوهش ارائه یک روش برای بهینه سازی مصرف آب و انرژی سیستم کارخانه سیمان ساوه می باشد. در این پژوهش روشی ارائه شد که در آن برج خنک کن از سیستم حذف شد و به تبع آن، بگ هاوس جایگزین الکتروفیلتر گردید.

نتایج بدست آمده نشان می دهد که با این روش، مقدار انرژی قابل توجهی به دلیل حذف الکتروفیلتر و اجزای وابسته به آن بدست می آید. همچنین حذف مصرف آب روزانه در کولینگ تاور، حداکثر به مقدار ۹۶۰ متر مکعب در طول شبانه روز، حاصل گردید.

1. Stern, A. C. (1977). Air Pollution: The effects of air pollution (Vol. 2). Elsevier.
2. McKenna, J. D., & Turner, J. H. (1989). Fabric Filter--Baghouses I: Theory, Design, and Selection:(a Reference Text). ETS.
3. Frederic E. R., "Some effects o f charges in FabricFiltration", journal ofAir pollution controlAssociation Billings C. E. "Handbook of Fabric Filter Technology",Springfield
4. Beachler, D. S., & Jahnke, J. A. (1981). Control of Particulate Emissions, APTI Course 413 Student Manual. EPA 450/2-80-066, October.
5. Stern,A.C: Bar-David, J., & Levy, U. (2017). Dynamic control over the optical transmission of nanoscale dielectric metasurface by Alkali vapors. Nano Letters, 17(2), 1127-1131.
6. Reanoke, VA: Fabric Filter- Baghousees, Theory, Design and Selection
7. Frederick, E. R. (1974). Some effects of electrostatic charges in fabric filtration. Journal of the Air Pollution Control Association, 24(12), 1164-1168.
8. Billings, C. E., & Wilder, J. (1970). Handbook of fabric filter technology (Vol. 1). National Technical Information Service.Beachler, D. S., & Jahnke, J. A. (1981). Control of Particulate Emissions, APTI Course 413 Student Manual. EPA 450/2-80-066, October.
9. Stern, A. C. (1977). Air Pollution: The effects of air pollution (Vol. 2). Elsevier.
10. Roanoke, VA: McKenna, J. D., & Turner, J. H. (1989). Fabric Filter--Baghouses I: Theory, Design, and Selection:(a Reference Text). ETS..
11. Frederic: E.R. Some effects of charges in Fabric Filtration, journal of Air pollution control Association
12. Stern, A. C. (1977). Air Pollution: The effects of air pollution (Vol. 2). Elsevier.

13. Beachler, D. S., & Jahnke, J. A. (1981). Control of Particulate Emissions. US Environment Protection Agency, Washington DC.
14. Cui, H., Li, N., Wang, X., Peng, J., Li, Y., & Wu, Z. (2017). Optimization of reversibly used cooling tower with downward spraying. *Energy*, 127, 30-43.
15. Zhao, S. A., Song, X. J., Guo, F. M., Feng, J., & Zhang, D. W. (2017). Numerical Study on the Performance of a Natural Draft Cooling Tower With Water-Cooled Collectors. *Heat Transfer Engineering*, 38(11-12), 1054-1062.
16. Singh, K., & Das, R. (2016). An experimental and multi-objective optimization study of a forced draft cooling tower with different fills. *Energy Conversion and Management*, 111, 417-430.
17. Li, X., Guan, Z., Gurgenci, H., Lu, Y., & He, S. (2016). Simulation of the UQ Gatton natural draft dry cooling tower. *Applied Thermal Engineering*, 105, 1013-1020.
18. Ramkumar, R., & Ragupathy, A. (2015). Optimization of cooling tower performance with different types of packings using Taguchi approach. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 37(3), 929-936.
19. Wang, J. G., Xiao, Q. P., Wang, J. J., Ma, S. W., Rao, W. T., & Zhang, Y. J. (2014, May). Soft sensor approach for optimal operation of cooling tower for energy conservation. In *Control and Decision Conference (2014 CCDC)*, The 26th Chinese (pp. 3612-3615). IEEE.
20. Lavasani, A. M., Baboli, Z. N., Zamanizadeh, M., & Zareh, M. (2014). Experimental study on the thermal performance of mechanical cooling tower with rotational splash type packing. *Energy Conversion and Management*, 87, 530-538.
21. Ma, P., Wang, L. S., & Guo, N. (2014). Modeling of hydronic radiant cooling of a thermally homeostatic building using a parametric cooling tower. *Applied Energy*, 127, 172-181.
22. Zhang, W., Meng, C., Li, Y., Wu, N., & Liang, T. (2013, July). Optimization Design of the GFRP Hyperbolic Cooling Tower Structure. In *Mechanical and Automation Engineering (MAEE)*, 2013 International Conference on (pp. 76-79). IEEE.
23. Zou, Z., Guan, Z., & Gurgenci, H. (2013). Optimization design of solar enhanced natural draft dry cooling tower. *Energy Conversion and Management*, 76, 945-955.
24. Gololo, K. V. (2011). Synthesis and optimization of cooling water systems with multiple cooling towers. HEFAT 2011.

25. Sayyaadi, H., & Nejatolahi, M. (2011). Multi-objective optimization of a cooling tower assisted vapor compression refrigeration system. *international journal of refrigeration*, 34(1), 243-256.
26. Wang, L., Sun, Y., Wu, Y., & Shi, Y. (2009, November). An optimized solution method of cooling tower load. In *Intelligent Information Technology Application, 2009. IITA 2009. Third International Symposium on* (Vol. 3, pp. 263-265). IEEE.
27. Tyagi, S. K., Wang, S., & Ma, Z. (2007). Prediction, potential and control of plume from wet cooling tower of commercial buildings in Hong Kong: A case study. *International journal of energy research*, 31(8), 778-795.
28. Jin, G. Y., Cai, W. J., Lu, L., Lee, E. L., & Chiang, A. (2007). A simplified modeling of mechanical cooling tower for control and optimization of HVAC systems. *Energy conversion and management*, 48(2), 355-365.
29. Hasan, A., & Gan, G. (2002). Simplification of analytical models and incorporation with CFD for the performance predication of closed-wet cooling towers. *International journal of energy research*, 26(13), 1161-1174.
30. Riffat, S., Oliveira, A., Facao, J., Gan, G., & Doherty, P. (2000). Thermal performance of a closed wet cooling tower for chilled ceilings: measurement and CFD simulation. *International journal of energy research*, 24(13), 1171-1179.
31. Kuritsyn, V. A., Arapov, D. V., & Goril'chenko, R. L. (2012). Optimization of circulation water cooling process in forced-draft towers. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 48(2), 97-108.

Family name: Kargar	Name: Ali
Title: Optimization of energy effect in Colling Tower and Biological Analysis in Saveh Gray Cement Compony	
Supervisor: D.r	
Number of pages: 224	
<p>Abstract :</p> <p>The present research aims at optimizing energy at coolant tower and environmental analysis in Saveh Cement Company. The present study is a practical one regarding its purpose. It is a modeling one regarding information gathering and it is an analytical one regarding data analysis. A method was presented in this research where coolant tower was eliminated from the system and consequently back house was replaced for electro filter. The method is to install fresh air damper on output docket and perimeter was used to utilize ambient air instead of water for cooling the existing gases from pre- heater and removing cooling tower and its components and converting electro filter to back house. The results were analyzed in MATLAB. The obtained results show that a significant volume of energy is gained due to the removal of electro filter and its components with this method. In addition, the removal of daily consumption of water in cooling tower was obtained at most 960 m³ during the day and night.</p>	
Keywords: Energy Optimization, Cooling Tower, Environmental, Saveh Cement Company.	



Energy Institute For Higher Education

Higher education Institute of Energy

Post- graduate Studies

The report of suggestion

Title:

**Optimization of energy effect in Colling
Tower and Biological Analysis in Saveh
Cement Compony**

Supervisor:

Mojtaba Mirzaie, Ph.D

By:

Ali kargar

Reader:

Reza Alaie, ph.D

August 2017