

## مطالعه و بررسی عددی فیلتر های کیسه ای کارخانجات سیمان

محمد علی دبیری<sup>۱</sup>، سید امیر عباس علومی<sup>۲\*</sup>، سید علی آقا میر جلیلی<sup>۳</sup> و امیرحسین نگهی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

دریافت: پاییز ۹۶ پذیرش: زمستان ۹۶

### چکیده

با توجه به فیلترهای موجود در ایران ، که تماماً به صورت مکعبی می باشند و فیلتر سیلندری تاکنون استفاده نشده است. یکی از عمدترين دلایل استفاده نکردن از این فیلتر، حمل و نقل آن به کشور ما وهم چنین عدم استفاده در فیلترهای بزرگ بوده است. با توجه به تجربه و بررسی های به عمل آمده در فیلترهای موجود در ایران تمامی صفحه های مانع در طرح های قدیمی به صورت مستقیم روبه روی ورودی فیلتر گرفته و ورودی فیلتر نیز در بدنه اصلی قرار گرفته و این موضوع باعث پرت فضا به دلیل فاصله صفحه از ورودی خواهد شد که حداقل این فاصله در کوچکترین فیلترها ۳۰۰ میلیمتر می باشد که در صورت محاسبه در طول و عرض و ارتفاع فیلتر فضای قابل توجه ای پرت شده و عملکرد صفحه در طرح قدیم نیز اصلاً خوب نبوده و کاملاً غبار را به یک یا دو سمت فیلتر سوق خواهد داد و توضیع خوبی بین کیسه ها نخواهد داشت. با توجه به موارد ذکر شده در این مقاله به بررسی صفحه مانع های مرسوم در ایران و ارایه طرح جدید صفحه مانع پرداخته می شود.

\*عدهه دار مکاتبات: amiroloomi@iauyazd.ac.ir

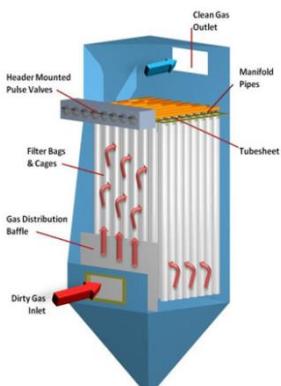
کلمات کلیدی: فیلتر کیسه ای، صفحه مانع، فیلتر پالس جت، گرد و غبار، کارخانه سیمان.

ای، به مقیاس گسترهای در جمع آوری غبار مورد استفاده واقع می شوند. کاربرد آنها در جداسازی ذرات غبار از جریان گازها از دهه سال پیش آغاز شده است[۲]. در حقیقت جداسازی غبار از هوا به عنوان عامل و اساس فلسفه طراحی یک غبارگیر می باشد. هم اکنون فیلتر های کیسه ای در بسیاری از صنایع (همچون صنایع فولاد، سیمان، داروسازی، شیمیابی، فلزی، دفع زباله ها و...) به علت جمع شدن ذرات در اندازه های گوناگون، مورد استفاده قرار می گیرند[۳]. جف لدوینگ و همکاران [۴] پس از بررسی این موارد به بررسی سیستم بگ فیلتر پرداخته که باعث جلوگیری از افت فشار و حرکت غبار های پراکنده به سمت خروجی و به بازده بیشتر سیستم کمک بسزایی کرده است . روناک [۵] در مقاله خود به تئوری های طراحی بگ هاوس در بخش سوم و در ویرایش سال ۲۰۰۲ پرداخته که حرکت غبار و ذرات را در فیلتر به صورت تئوری مورد مطالعه قرار داده است . تیلور و فرانسیس[۶] به بررسی نحوه تکانیده شدن کیسه های بگ فیلتر پرداخته و با توجه به حجم و فشار کم هوا در مخزن ذخیره به بررسی شیپوره پرداخته و نتایج حاصل از این قرار است که در صورت قرار گیری خروجی هوا فشرده در روی کیسه هوا فشرده جهت تمیز کردن کامل کیسه ها کافی نبوده اما با گذاشتن فاصله از

### - مقدمه

هوایی که تنفس می کنیم مخلوطی از گازهای نادر تشکیل شده است. در هوای تنفسی انسان ذرات و گازهای دیگری هم وجود دارد که طبیعت، انسان و فرایندهای صنعتی عامل تولید آن می باشند. غباری که توسط غبارگیرها از هوا جدا می شود از دیدگاه های قوانین زیست محیطی و اثرات اقتصادی بازیافت غبار قابل تأمل است. با توجه به مقوله آلدگی صنعتی در جوامع پیشرفتی جهان، سالهای زیادی است که بشر در تلاش برای رفع این آلایندگی ها قدم های بسزایی برداشته است که در اوایل این تکنولوژی انواع و اقسام فیلترها بررسی و طی سالهای سیار آزمایش شده است که از جمله این فیلترهای قدیمی می توان به فیلترهای شنی اشاره کرد که در صنایع مانند سیمان کاربرد زیادی داشته است[۱]. 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 می توان به فیلترهای الکتروستاتیک و فیلترهای پارچه ای اشاره کرد. فیلتر های پارچه

[۱۵]. اجازه ورود و یا عدم ورود هوای فشرده به داخل لوله‌های پاک کننده از طریق شیرهای دیافراگمی ممکن نیز نیست. هر یک از این شیرهای دیافراگمی توسط یک سولوئید موجود در سولوئید باکس، تحریک شده و توسط سیستم کنترل، وارد عمل می‌شوند [۱۶].



شکل ۱: فیلتر کیسه‌ای با سیستم پالس جت [۱۲].

### ۳- بررسی صفحه مانع در ورودی فیلترهای کیسه‌ای

در ورودی فیلترهای کیسه‌ای صفحه‌ای قرار گرفته است تا از سرعت غبار در ورودی فیلتر کاسته و از برخورد مستقیم غبار که در شرایطی هم دارای دمای قابل تأمل هستند جلوگیری و باعث اغتشاش در فیلتر و عملکرد بهتر و توضیع غبار در فیلتر شود با توجه به تجربه و بررسی‌های به عمل آمده در فیلترهای موجود در ایران تمامی صفحه‌های مانع در طرح‌های قدیمی به صورت مستقیم روبه روی ورودی قرار گرفته و ورودی فیلتر نیز در بدنه اصلی قرار گرفته است و این موضوع باعث پرت فضا به دلیل فاصله صفحه از ورودی خواهد شد که حداقل این فاصله در کوچکترین فیلترها ۳۰۰ میلیمتر می‌باشد که در صورت محاسبه در طول و عرض و ارتفاع فیلتر فضای قابل توجه ای پرت شده است و عملکرد صفحه در طرح قدیم نیز اصلاً خوب نبوده و کاملاً غبار را به یک یا دو سمت فیلتر سوق داده و توضیع خوبی بین کیسه‌ها نداشته است.



شکل ۲: نمای از فیلتر و نمایش کیسه‌ها و صفحه مانع

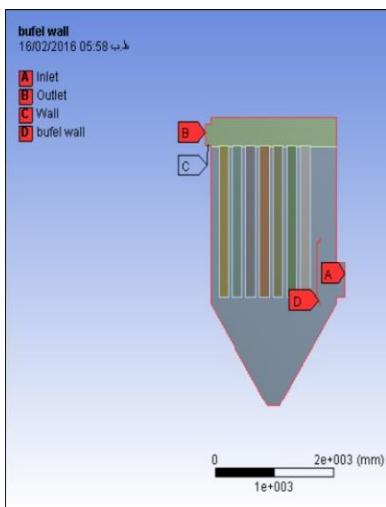
کیسه و همچنین قرار گیری شیپوره روی کیسه علاوه بر هوای فشرده هوای اطراف نیز به داخل کیسه هدایت می‌شود و راندمان تکانیدن کیسه ها بالا می‌رود . الما و همکاران [۷] در مقاله خودشان به مدلسازی عددی نفوذ سیال و ذرات غبار از طریق سیستم‌های غبارگیر پرداخته و نتایج قابل توجهی بدست آورده اند. البرشت و کیتلمن [۸] به بررسی و بهینه سازی پارچه‌های فیلترهای غبارگیر پرداخته اند. محسن محمدی و بنک لی [۹] در مقاله خود به نفوذ پذیری هوا در منسوجات چند لایه پرداخته و در آن به بررسی و مقایسه نتایج عملی و نظری روی آورده اند. اتاویوک و بی نوریل [۱۰] در مقاله خود به برآورده زینه سیستم‌های کنترل هوا و طراحی بهینه جهت کم کردن هزینه ساخت پرداخته اند. ویسلندر و همکاران [۱۱] به افزایش موثر سطح فیلتراسیون و فیلترهای پارچه‌ای پرداخته و به این نتیجه رسیده اند که ما نمی‌توانیم به هر شکل و مقداری که نیاز داریم ارتفاع فیلترها را افزایش دهیم و به رابطه تئوری جهت ارتفاع فیلتر و اثرات جاذبه بر روی ذرات غبار رسیده اند.

### ۲- اصول اصلی و عملکرد فیلترهای پالس جت

فیلترهای پالس جت جهت عملکردهای پیوسته و زمان کارکرد طولانی با داشتن کمترین هزینه نگهداری طراحی و سایز بندی می‌شوند. فیلترهای پالس جت شامل ردیفهای کیسه‌ای است که از صفحات مشکی که در دو ناحیه که گاز عاری از غبار و گاز همراه غبار را از هم جدا می‌کند، آویزان می‌گردند. هر بگ دارای یک سبد سیمی داخلی است که به عنوان سایپورت بگ استفاده شده و از هر گونه آسیب رسیدن به بگ‌ها جلوگیری می‌نماید. جریان توازن با غبار از منیفولد ورودی به فیلتر عبور کرده و وارد فیلتر می‌گردد. غبار بر روی سطح خارجی بگ‌ها نشسته و گاز تمیز عاری از غبار از داخل آنها به قسمت بالایی فیلتر رفته و از آنجا از طریق داکت خروجی و دودکش خارج می‌شود. این غبارها از سطح خارجی بگ‌ها توسط پالس‌هایی از هوای فشرده برداشته می‌شوند [۱۲].

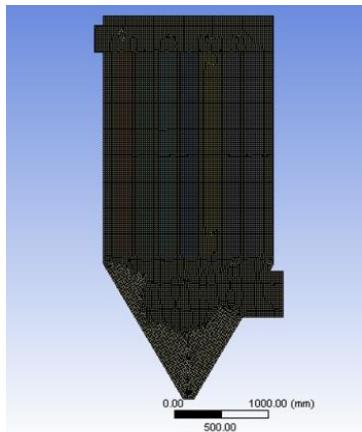
فرمان تمیز کردن بگ‌ها زمانی صادر می‌شود که اختلاف فشار قسمت داخلی و بیرونی بگ‌ها به میزان پیش تعريف شده برسد. (این اختلاف فشار از مقاومت ناشی از انباشت غبار در سطح خارجی بگ‌ها حاصل می‌شود). در طول تمیز کردن بگ‌ها غبارها در داخل هاپرها ریخته شده و توسط سیستم‌های انتقال مواد خارج می‌گردد [۱۳].

پس از ورود غبار مقدار زیادی از غبار سنگین (دانه درشت) مستقیماً درون هاپرخواهد افتاد و گاز با مقدار باقی مانده بین بگ‌ها حرکت خواهد نمود. سرعت گاز با انتخاب مناسب ابعاد (طول بگ و گام یا فواصل بگ‌ها از یکدیگر) در یک سطح قابل قبول نگاه داشته می‌شود. در سیستم تمیز کردن با روش پالس جت درون محفظه‌ای که حاوی هوای تمیز می‌باشد یک سری لوله‌هایی در ردیفهای موازی در داخل تاپ باکس تعییه شده که به منظور تمیز کردن بگ‌ها در نظر گرفته شده‌اند. هر لوله پاک کننده دارای یک سری نازل‌هایی است با سوراخ‌های کوچک که به صورت هم محور با ونتوری هر سبد یا بگ مونتاژ گردیده‌اند. یک منیفولد هوایی فشرده که به صورت خارجی در موقعیت بالایی فیلتر قرار می‌گیرد، به لوله‌های پاک کننده متصل می‌گردد. لوله‌های پاک کننده به روش ساده‌ای با منیفولد خارجی هوا متصل می‌گردد. این لوله‌ها از یک سمت باز توسط سوکت‌هایی به منیفولد هوا وصل شده و از سمت بسته‌شان روی ساپورتی که توسط کلمپ‌هایی فیکس می‌شوند قرار می‌گیرند [۱۴] و

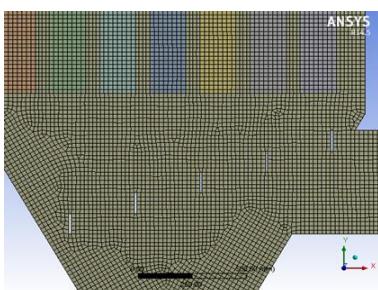


شکل ۳: اعمال شرایط مرزی

**۶- شبکه بندی صفحه مانع طرح جدید**  
شبکه بندی به صورت کاملاً منظم ترسیم و تعداد ۱۸۴۴۰ نود و تعداد ۱۶۵۲۰ المان نیز تشکیل شده است که به جهت برخورد جریان سیال به صفحه مانع شبکه بندی در این قسمت بزرگ نمایی شده که در شکل (۷) و شکل (۸) مشاهده می‌شود. سعی شده شبکه بندی در قسمت صفحه مانع تمرکز داشته باشد تا نتایج دقیق‌تری از رفتار سیال بدست آید.



شکل ۷: شبکه بندی صفحه مانع طرح جدید



شکل ۸: بزرگ نمایی شبکه بندی صفحه مانع طرح جدید

**۴- بررسی شرایط مرزی**

جهت بررسی و آنالیز فیلتر از فیلترهای در حال کار در یک کارخانه سیمان استفاده شده است، سرعت در ورودی ۸ متر برثانیه و فشار فن فیلتر ۳۵۰ میلی بار و دبی هوای فن مکنده را ۱۵۰۰۰ متر مکعب بر ساعت و تعداد کیسه ۳۵ عدد به ارتفاع حدود ۲.۵ متر می‌باشد. محاسبات تعداد فیلتر و ارتفاع آنها بستگی به شرایط غبار و حجم غبار و محاسبات فشار در فیلتر بستگی به فاصله مجرای‌های مکنده غبار از فیلتر و افت فشار در این مجرای‌ها دارد که با توجه به اینکه ما اطلاعی از حجم غبار و فاصله از مکان‌های جمع آوری غبار نداشته بنابراین اطلاعات را از فیلتر موجود گرفته و محاسبات بر این مبنای انجام گرفته شده است.

**۵- محاسبات و اعمال شرایط مرزی**

جهت بدست آوردن شرایط مرزی برای فیلتر ۳۵ کیسه‌ای دبی هوای فن مکنده را ۱۵۰۰۰ متر مکعب بر ساعت و فشار فن را ۳۵۰ میلی بار در نظر گرفته شده و با توجه به اینکه [۱۶] سرعت در ورودی فیلتر نباید از حد مجاز فراتر رود سرعت را ۸ متر برثانیه تنظیم می‌شود بنابراین:

محاسبه دبی حجمی:

$$Q = V * A \quad (1)$$

محاسبه سطح مقطع ورودی غبار:

$$A = \frac{Q}{B} = \frac{1500}{\frac{3600}{8}} = 0.52m^2 \quad (2)$$

محاسبه ابعاد دریچه ورودی غبار:

$$A = W * L = 0.56 = 0.8 * 0.7 m \quad (3)$$

محاسبه قطر هیدرولیکی:

$$DH = \frac{4 * A}{P} = (4 * 0.56) / (2 * (0.8 + 0.07)) = 7.46 \quad (4)$$

محاسبه رینولدز:

$$ReDH = (\rho * v * DH) / \mu = 3989702 \quad (5)$$

محاسبه شدت آشفتگی

$$I = 0.16 * (ReDH)^{\frac{1}{8}} = 0.0242 \quad (6)$$

درنتیجه محاسبات فوق موارد بدست آمده زیر به عنوان شرایط مرزی اعمال خواهد شد. شکل (۳)

سرعت در ورودی غبار ۸ متر برثانیه

شدت اغتشاش ۲.۴ درصد

قطر هیدرولیکی ۷.۴۶ متر

خروجی گاز، فن مکنده با فشار ۳۵۰ میلی بار

ارتفاع فیلتر فضای قابل توجه ای پر شده است و عملکرد صفحه در طرح قدیم نیز اصلاً خوب نبوده و کاملاً غبار را به یک یا دو سمت فیلتر سوق داده و توضیع خوبی بین کیسه‌ها نداشته است.

بعد از آنالیز فیلتر با صفحه مانع طرح قدیم مشاهده شد که در پایین هاپر مشکل بزرگی بوجود می‌آید و آن هم این است که به دلیل سرعت بالای حدود ۱۲ متر بر ثانیه باعث تلاطم در غبار انباشته شده در کف هاپر می‌شود و دوباره غبار به چرخه فیلتراسیون باز می‌گردد و عالم راندمان فیلتر کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است در صورت یک نواخت نبودن غبار بین کیسه‌ها، آن ردیف از کیسه‌ها که در معرض بیشتر غبار قرار دارند خیلی زود مستهلك شده و عمل فیلتر کردن را دچار مشکل می‌کنند و همیشه باید آنها را زودتر از بقیه کیسه‌ها تعویض کرد که این امر خود مستلزم هزینه تعمیر و نگهداری زیاد و هزینه خرید کیسه خواهد بود.

پس از آنالیز فیلتر با صفحه مانع جدید دیده شد که جریان غبار بین تمامی کیسه‌ها بطور یکنواخت تقسیم شده و دیگر جریان بصورت مستقیم در انتهای هاپر وارد نمی‌شود و موجب تلاطم غبار جمع شده در پایین هاپر نخواهد شد. و همچنین با حذف دریچه ورودی غبار از بدنه اصلی و انتقال آن به هاپر از پرت فضا جلوگیری و مقدار قابل توجهی از وزن فیلتر کاسته خواهد شد که این وزن برای شرکت‌های فعال صنعت فیلتراسیون بسیار حائز اهمیت به جهت رقابت و کاهش قیمت خواهد بود.

در کوچکترین سایز فیلتر چیزی حدود ۳۰ سانتی متر از عرض فیلترها کم خواهد شد که در این فضا یا می‌توان به تعداد کیسه‌ها اضافه کرد و یا از حجم فیلتر کم کرد که جهت فیلترهای کیسه ای چیزی حدود ۱۰۰ کیلوگرم از هر فیلتر کاسته خواهد شد. افزایش کیسه در چنین حجمی باعث افزایش راندمان، تعمیر و نگهداری کمتر، تعویض دیرتر کیسه‌ها به دلیل پارگی کمتر و صرفه جویی در هزینه برق به جهت پالس‌های هوایی کمتر در ساعت را در بر خواهد داشت.

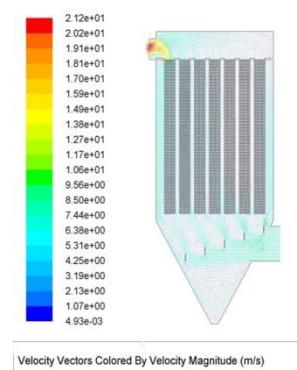
#### فهرست علامت‌ها

##### علامت انگلیسی

<i>A</i>	مساحت، $m^2$
<i>c<sub>p</sub></i>	گرمای ویژه، $J/kg.k$
<i>a</i>	شتاپ، $m/s$
<i>d</i>	قطر، $m$
<i>g</i>	شتاپ گرانش، $m/s^2$
<i>K</i>	ضریب‌هدايت حرارتی، $W/m.k$
<i>V</i>	سرعت، $m/s$
<i>DH</i>	قطر هیدرولیکی، $m$
<i>Ra</i>	عدد رایلی
<i>Re</i>	عدد رینولدز
<i>Q</i>	دبی حجمی، $m^3/s$
<i>I</i>	شدت آشفتگی
	علامت یونانی
<i>ρ</i>	چگالی، $kg/m^3$
<i>β</i>	ضریب انبساط حرارتی، $1/k$

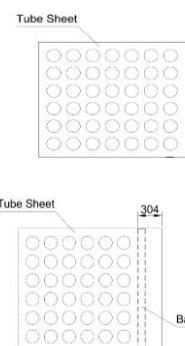
#### ۷- آنالیز صفحه مانع طرح جدید

همانطور که در شکل(۹) مشاهده می‌کنید جریان غبار بین تمامی کیسه‌ها بطور یکنواخت تقسیم شده و دیگر جریان بصورت مستقیم در انتهای هاپر وارد نمی‌شود و موجب تلاطم غبار جمع شده در پایین هاپر نخواهد شد. و همچنین با حذف دریچه ورودی غبار از بدنه اصلی و انتقال آن به هاپر از پرت فضا جلوگیری و مقدار قابل توجهی از وزن فیلتر کاسته خواهد شد که این وزن برای شرکت‌های فعال صنعت فیلتراسیون بسیار حائز اهمیت به جهت رقابت و کاهش قیمت خواهد بود.



شکل ۹ : آنالیز صفحه مانع طرح جدید

در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود که طرح انتقال ورودی هوا به هاپر در صورت اجرا شدن در فیلترهای کیسه ای از وزن این فیلترها کاسته و بسیار ایده آل از نظر وزن کم فیلتر و همچنین رقابت در صنعت فیلتراسیون می‌باشد.



شکل ۱۰ : نمایی از چیدمان ورق با صفحه مانع طرح قدیم در بایین، و چیدمان کیسه بیشتر با صفحه مانع طرح جدید

#### ۸- نتیجه گیری

در فیلترهای موجود در ایران تمامی صفحه مانع‌ها در طرح‌های قدیمی به صورت مستقیم روبه روی ورودی قرار گرفته و ورودی فیلتر نیز در بدنه اصلی قرار گرفته است و این موضوع باعث پرت فضا به دلیل فاصله صفحه از ورودی خواهد شد که حداقل این فاصله در کوچکترین فیلترها ۳۰۰ میلیمتر می‌باشد که در صورت محاسبه در طول و عرض و

- [8] M. Mohammadi& P. Banks-Lee ,Air Permeability of Multilayered Nonwoven Fabrics:Comparison of Experimental and Theoretical Results , Textile Research Journal, July (2002).
- [9] Vatavuk, W. M., and R. B. Neveril, "Estimating Costs of Air-Pollution Control Systems, Part XI: Estimate the Size and Cost of Baghouses," Chemical Engineering, March 22, pp. 153-158,(1982).
- [10] Broadway R M., Cass R W., Fractional Efficiency of a Utility Boiler Baghouse: *Nucla Generating Plant*, August (EPA-600/2-75-013-a, NITS PB 246 641. (1975).
- [11] Wieslander, P. and Francis, S., Cost Effectively Increasing the Filtration Area in Fabric Filters for Large Power Plants. Proceedings of 11th International Conference(2008).
- [12] Debelle H., *Pollution control of cement plant emission*, International cement review, Environmental year book, British Cement Association, U. K. (2000).
- [13] Dr. N. Venkatachalapathi, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology Coal Extraction System with Pulse Jet Bag Filter Abinesh P\**, August. (2014).
- [14] Duda W H., Cement Data Book- Dust collection, *Bauverlag Gmbh*, Wiesbaden und Berlin. (2000).
- [15] Eric S., dust collection design and maintenance, *kice industrial*, Volume 14, Issue 9, December, Pages 3124–3131. (2010).
- [16] Frederic E. R., Some effects of charges in Fabric Filtration, journal of Air pollution control Association.August (EPA-600/2-75-013-a, NITS PB 246 641. (2001).

$\mu$  لزجت دینامیکی,  
زیرنویس  $kg/m.s$

$f$  سیال  
 $H$  هیدرولیکی

## مراجع

- [۱] عابدی، م. ر. مفضلی س. ع.، بازنگری عملکرد فیلترهای پارچه‌ای، قسمت اول، ماهنامه تخصصی فن اوران سیمان، شماره ۵۴ ۱۳۹۱.
- [۲] عطایی آشتیانی م. معطرف، بررسی کمی و کیفی منابع انشtar گرد و غبار و سیستمهای کنترل گرد و غبار. پایان نامه تخصصی، بخش دوم و سوم، ۱۳۸۳.
- [۳] Billings C. E. *Handbook of Fabric Filter Technology*,Springfield, Noyes Publications, Nature -758 pages(1991).
- [۴] Jeff Ladwig and Robin Linton ,13th North American Waste to Energy Conference May 23-25, Orlando, Florida USA(2005).
- [۵] Roanoke, V .A., "Fabric Filter-Baghouses, Theory,Design and Selection" Lesson 3 and Lesson 6, Editation (2002).
- [۶] Nd .Tylor and m .fransis., "Some effects of charges in Fabric Filtration", journal of Air pollution control Association , Volume 24, Issue 12, (1974).
- [۷] L.Ma, D.B.Ingham and X.Wen, "Numerical modelling of the fluid and particle penetration through small sampling cyclones", Journal of Aerosol Sience, v31, n.9,p 1097-1119, (2000).