

# آثار نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید و ضرورت کنترل مستمر آن در کارخانجات سیمان

تهیه کنندگان :  
مهندس سیف ا... گرجی  
مهندس آرمان ساعی

## آثار نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید و ضرورت کنترل مستمر آن در کارخانجات سیمان

### چکیده:

عملکرد فرآیندی، عمر مفید ماشین آلات، قیمت تمام شده محصول، شدت مصرف انرژی، وضعیت زیست محیطی و... در کارخانجات سیمان کشور حاکی از آن است که پدیده نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید بسیار جدی است و باید کنترل سیستماتیک در جهت رفع یا کاهش آن صورت پذیرد.

در این نوشتار علاوه بر تشریح آثار زیانبار فنی و اقتصادی پدیده نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید تعدادی از کارخانجات سیمان کشور و آثار ناهنجار به جامانده در شاخص های تولیدی و راهکار های کنترل سیستماتیک جهت غلبه بر این پدیده زیانبار نیز ارائه خواهد شد.

کلمات کلیدی: هوای کاذب، انرژی حرارتی و الکتریکی، آب بندی، فشار استاتیک و دینامیک، دبی، سرعت، آنالیز گازها

### مقدمه :

هدف اصلی از نگارش این مقاله، بیان ضرورت نهادینه کردن کنترل آب بندی تجهیزات و میزان هوای کاذب در فرآیند تولید کارخانجات سیمان کشور می باشد. به همین منظور آثار زیانبار ناشی هوای کاذب در ۹ کارخانه سیمان کشور از طریق اندازه گیری دستگاهی در بخش های مختلف واحدهای مذکور، طی سالهای ۸۲ و ۸۳ محاسبه گردیده و با شاخص های مورد نظر مقایسه و نقش عدم آب بندی تجهیزات و در نتیجه وجود هوای کاذب و اثر آن در انحراف از شاخص انرژی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

این مقاله در دو قسمت ارائه می شود. قسمت اول شامل مبانی تئوری و نظری نفوذ هوای کاذب بر سیستم تولید و بررسی آثار منفی بجا مانده در مصرف انرژی و شاخص های فرآیندی تولید سیمان می باشد و در نهایت معادلات مورد نیاز جهت محاسبه اتلاف انرژی حرارتی و الکتریکی

با ذکر مثال عینی ارائه شده و تغییرات پارامترهای بهره برداری و شاخص های شدت مصرف انرژی در اثر هوای نفوذی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

در قسمت دوم مقاله عملکرد چهار واحد تولیدی سیمان کشور با ظرفیت تقریباً یکسان به طور دقیق مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار خواهند گرفت ، سر انجام طی محاسبات مربوطه، اتلاف انرژی حرارتی و الکتریکی متأثر از نفوذ هوای کاذب و زیانهای فنی و اقتصادی ناشی از این پدیده زیانبار ، به طور کامل ارائه شده و پیشنهادات اصولی و سیستماتیک جهت غلبه بر این عارضه ارائه خواهد گردید.

### ۱- آثار منفی هوای کاذب بر شدت مصرف انرژی در فرآیند تولید سیمان

منابع انرژی مورد استفاده در فرآیند تولید سیمان به صورت انرژی الکتریکی و انرژی فسیلی ( سوخت ) می باشد.

صنعت سیمان یکی از صنایع بزرگ مصرف کننده انرژی در کشور است به طوری که در حال حاضر بالغ بر ۲۳۰۰ میلیون لیتر مازوت و ۸۱۱ میلیون متر مکعب گاز و بیش از ۳ میلیارد کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی به تنهایی در این صنعت مصرف می شود. [آمار مربوط به سال ۸۴ می باشد]

حدوداً ۲۵-۱۵٪ از انرژی الکتریکی مصرفی در صنعت سیمان به صورت مازاد بر نیاز فرآیند بوده و [۲۰] هدر می رود. بنابراین جادارد با صرفه جویی مناسب از اتلاف انرژی کاسته شود.

یکی از پدیده های مهم و زیانبار در فرآیند تولید سیمان که موجب اتلاف انرژی حرارتی و الکتریکی شده و باعث کاهش ظرفیت تولید تجهیزات و کاهش طول عمر آنها می گردد. نفوذ هوای کاذب است . ورود هوای کاذب به سیستم موجب می گردد تا علاوه بر اتلاف انرژی حرارتی (به هدر رفتن سوخت ) فن های حامل جریان گازها ، بار اضافی را تحمل نمایند.

از طرف دیگر نفوذهای کاذب با دمای محیط به مناطق مختلف فرآیند تولید که اغلب دارای درجه حرارت های بالاتری هستند موجب کاهش دما در این مناطق می گردند. این امر در کوره و طبقات پیشگرمکن و کلساینر بیشتر مشهود است. زیرا دمای گازها در این مناطق بسیار زیاد و

در نهایت افت دما محسوس تر است . این امر اپراتورها را مجبور می نماید تا جهت حفظ پایداری سیستم ، سوخت بیشتری را در فرآیند تولید مصرف نمایند.

#### ۱-۱- محاسبات مربوط به اتلاف انرژی حرارتی

فرض می کنیم هوای کاذب با دبی نرمال  $Q$  بر حسب متر مکعب بر ساعت وارد سیستم پیشگرمکن می گردد. در طبقات مختلف پیشگرمکن در جه حرارت گازها متفاوت است. به عنوان مثال دمای گازها در منطقه ورودی کوره حدوداً ۹۰۰ در جه سانتی گراد است . لذا هوای نفوذی می بایست از دمای محیط تادرجه حرارت گازها در منطقه نفوذ افزایش یابد تا مانع از سرد شدن فرآیند در پیشگرمکن شود.

اگر هوای کاذبی که در منطقه ورودی کوره وارد پیشگرمکن می شود می بایست از دمای محیط حدوداً ۲۵ تا دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد گرم شود. لذا از سوخت بیشتری باید استفاده گردد تا علاوه بر تأمین انرژی حرارتی لازم جهت واکنش های پخت و کلسیناسیون دمای هوای کاذب را نیز متعادل سازد .

بنابراین اتلاف حرارتی زیادی صورت می پذیرد که می توان میزان آن را از معادله ذیل محاسبه نمود [۵].

$$E=Q \cdot P \cdot C_p \cdot (T-298) \quad (1)$$

در معادله فوق داریم :

مقدار اتلاف انرژی حرارتی بر اثر نفوذ هوای کاذب  $E: (Kcal / hr)$

دبی نرمال هوای نفوذی به سیستم  $Q: Nm^2 / hr$

دانسیته گاز (هوا) در شرایط نرمال  $\rho: kg / Nm^2$

ظرفیت گرمایی ویژه هوا  $c_p: kcal / kg^{\circ}c$

دمای گازها در محل نفوذ  $T: (^{\circ}k)$

لازم به ذکر است در قسمت دوم مقاله ، محاسبات مربوط به چها واحد تولیدی به طور کامل اشاره گردیده است.

## ۱-۲- محاسبات مربوط به اتلاف انرژی الکتریکی

متر مکعب بر ساعت هوای کاذب وارد پیشگرمکن گردد. با توجه به اینکه  $Q$  فرض می کنیم مقدار ورود هوای کاذب به سیستم موجب افزایش دبی هوای ورودی به فن های پیشگرمکن فن های آسیاب مواد خام و فنهای الکترو فیلتر می گردد. لذا مصرف انرژی الکتریکی در آنها بیشتر خواهد شد. می توان از رابطه ذیل ، مقدار انرژی الکتریکی مازاد مصرفی را که به دلیل نفوذ هوای کاذب در سیستم ایجاد می شود به دست آورد.

$$E = \frac{k \cdot Q \cdot \Delta p}{y} \quad [۴]$$

در معادله فوق داریم :

انرژی الکتریکی مازاد مصرفی فن ها بر اثر نفوذ هوای کاذب  $E : (kwh)$

دبی هوای کاذب ورودی به سیستم  $Q : (m^3 / hr)$

اختلاف فشار فن  $\Delta p : (Mbar)$

راندمان فن بر حسب درصد  $y :$

ضریب ثابت  $K :$

همانطور که قبلاً ذکر شد در بخش دوم مقاله مثال های عملی برای چند کارخانه بزرگ کشور ارائه گردیده است.

## ۲- بررسی اثر هوای نفوذی در ۹ واحد تولیدی سیمان کشور

برای بررسی دقیق تر آثار زیانبار نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید سیمان . ممیزی فرآیند در ۹ کارخانه سیمان کشور در طی سالهای ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ انجام پذیرفت . جدول شماره (۱). مشخصات ۹ واحد تولیدی را که مورد بررسی قرار گرفته است نشان می دهد.

از آنجایی که میزان مصرف انرژی در واحدهای تولید سیمان سفید و خطوط تولید به روش تر قابل مقایسه با روش خشک نیست . لذا تمامی واحدهای تولیدی مورد بحث . واحدهای تولید سیمان خاکستری به روش خشک می باشند.

ضمناً به دلیل رعایت مسائل امانت داری از ذکر نام کارخانجات خودداری شده و به جای آنها از ... استفاده شده است. C و B و A کدهای پارامترهای بهره برداری مانند دما، فشار استاتیک و دینامیک، دبی، سرعت و آنالیز گازها (شامل  $SO_2$ ,  $NO_x$ , CO,  $CO_2$ ,  $O_2$ ) در بخش های مختلف ۹ کارخانه سیمان کشور به وسیله تجهیزات پرتابل، اندازه گیری و در جداول شماره (۲) الی (۴) ذکر شده است. علاوه بر آن بر اساس نتایج حاصله میزان نفوذ هوای کاذب در بخش های مختلف هر ۹ واحد تولیدی، به طور مجزا محاسبه گردیده و در جداول شماره (۵) و (۶) ذکر شده است.

لازم به ذکر است، کلیه محاسبات مربوطه برای چهار واحد تولیدی منتخب که تقریباً از دیدگاه ظرفیتی و تکنولوژیکی دارای شرایط یکسان می باشند، انجام شده که تحت عنوان قسمت دوم مقاله خواهد آمد. در نهایت میزان مصرف انرژی ویژه الکتریکی و حرارتی در کارخانجات منتخب محاسبه شده و ائتلاف منابع انرژی الکتریکی و فسیلی به دلیل وجود این پدیده زیانبار محاسبه و پتانسیل های صرفه جویی در ۴ کارخانه به طور مجزا ذکر و مزایای اقتصادی و ملی طرح نیز ارائه و پیشنهادات اصولی جهت کنترل سیستماتیک آب بندی در ماشین آلات مطرح خواهد شد.

جدول ۱- معرفی مشخصات کارخانجات ممیزی شده (۱)

کد کارخانه	ظرفیت کارخانه TPD	تاریخ تاسیس	نوع آسیاب مواد خام	مشخصات پری هیتر	نوع سوخت	نوع خنک کن	نوع آسیاب سیمان	مصرف ویژه الکتریکی kWh/ton	مصرف ویژه انرژی Kcal/kg.cli
A	۲۳۰۰	۱۳۷۷	Ball Mill	ILC 5stage	OIL	Grate cooler	Open	۱۰۶	۷۶۰
B	۲۰۰۰	۱۳۳۸	V.R.M	ILC 5stage	OIL	Grate cooler	close	۱۰۹	۸۳۰
C	۳۵۰۰	۱۳۵۲	Ball Mill	S.P	OIL + GAs	Grate cooler	close	۹۴	۸۵۰
D	۲۳۰۰	۱۳۶۸	Ball Mill	ILC 5stage	OIL + GAs	Grate cooler	close	۱۰۳/۵	۸۰۴
E	۵۰۰	۱۳۶۸	Ball Mill	S.P	OIL	Rotary cooler	Open	۱۰۱/۱	۹۳۵
F	۴۰۰۰	۱۳۵۷	V.R.M	S.P	OIL + GAs	SAT.	Open	۹۲/۵	۷۸۰
G	۲۳۰۰	۱۳۷۸	V.R.M	ILC 5stage	OIL + GAs	Grate cooler	close	۹۶/۵	۷۷۵
H	۲۰۰۰	۱۳۶۷	V.R.M	S.P	OIL	SAT.	close	۱۰۴/۱	۷۸۰
I	۲۳۰۰	۱۳۷۰	Ball Mill	ILC 5stage	OIL	Grate cooler	close	۱۰۰	۷۹۰

جدول ۲- در صد اکسیژن در گازهای سیستم تولید در مناطق مختلف (۳)

محل اندازه گیری کد کارخانه	ورودی کوره	خروجی پیش گرمکن	ورودی آسیاب مواد خام	خروجی آسیاب مواد خام	ورودی الکتروفیلتر	خروجی دود کش
A	۱/۸	۶/۲	۹/۲	۱۲/۲	۱۱/۵	۱۲/۵
B	۳/۴	۶/۸	۷/۹	۱۳/۱	۱۳/۳	۱۴/۸
C	۱/۱	۳/۷	۶/۷	۱۴/۳	۱۲/۹	۱۲/۱
D	۲/۸	۷/۸	۸/۳	۱۰/۹	۱/۳	۱۱/۷
E	۳/۴	۸/۲	۸/۴	۱۳/۹	۱۱/۳	۱۲/۲
F	۱/۸	۶/۷	۶/۹	۱۳/۵	۱۳/۸	۱۴/۵
G	۲/۲	۴/۵	۶/۵	۱۰/۷	۱۱/۹	۱۲/۵
H	۲/۱	۱۰/۱	۱۲/۱	۱۴	۱۴/۲	۱۴/۲
I	۲/۱	۹/۱	۱۰/۷	۱۳/۶	۱۴/۶	۱۵/۴

جدول ۳ - میزان دبی گازها در مناطق مختلف بر حسب  $\text{NM}^3 / \text{hr}$  [۳]

کد کارخانه	خروجی پیشگرمکن	ورودی آسیاب مواد خام	خروجی آسیاب مواد خام	ورودی الکتروفیلتر	دودکش
A	۱۶۰۰۰	۱۹۱۰۰۰	۲۵۶۰۰۰	۲۷۱۰۰۰	۲۸۱۰۰۰
B	۲۰۱۰۰	۲۰۸۰۰۰	۴۰۱۰۰۰	۴۶۳۰۰۰	۴۸۴۰۰۰
C	۳۳۰۲۰۰	۲۰۹۶۴۰۰	۲۰۹۲۸۰۰	۵۳۱۶۰۰	۵۳۵۷۰۰
D	۱۶۹۰۰۰	۱۹۲۱۰۰	۲۵۱۰۰۰	۲۷۵۲۰۰	۲۸۳۱۰۰
E	۴۶۱۹۶	۴۹۰۱۹	۵۷۹۲۱	۵۸۶۳۵	۵۹۳۲۵
F	۳۹۱۱۰۰	۲۰۲۱۵۲۰۰	۲۰۲۹۳۸۰۰	۶۱۱۷۰۰	۶۱۴۰۰۰
G	۱۸۱۲۰۰	۲۰۲۱۰۰	۲۸۲۷۰۰	۲۹۳۲۰۰	۲۹۵۱۰۰
H	۱۶۳۳۰۰	۲۰۰۰۰۰	۲۵۴۳۰۰	۲۶۱۸۰۰	۲۶۱۸۰۰
I	۲۰۲۱۰۰	۲۵۳۰۰۰	۲۹۱۰۰۰	۲۹۸۵۰۰	۳۱۱۰۰۰

جدول ۴- میزان دبی ویژه گازها در مناطق مختلف  $\text{Nm}^3 / \text{Kgcl}$  [۳]

محل اندازه گیری کد کارخانه	خروجی پیشگرمکن	ورودی آسیاب مواد خام	خروجی آسیاب مواد خام	ورودی الکتروفیلتر	دود کش
A	۱/۶۷	۱/۹۹	۲/۶۷	۲/۸۳	۲/۹۳
B	۲/۴	۲/۵	۴/۸	۵/۲۳	۵/۸۱
C	۲/۲۶	۱/۳۲	۲/۶۴	۳/۶۵	۳/۶۷
D	۱/۷۶	۲	۲/۶۲	۲/۶۸	۲/۹۵
E	۱/۹۵	۲/۰۶	۲/۴۳	۲/۴۷	۲/۵
F	۲/۳۵	۲/۵۸	۳/۵۳	۳/۶۷	۳/۶۸
G	۱/۸۹	۲/۱۱	۲/۹۶	۳/۰۶	۳/۰۸
H	۱/۹۶	۲/۴	۳/۰۵	۳/۱۴	۳/۱۴
I	۲/۱۱	۲/۶۳	۳/۰۳	۳/۱۱	۳/۲۵

جدول ۵- میزان نشتی هوادر بخشهای مختلف فر آیند  $[N M^3 / hr]$

محل کد کارخانه	پیشگرمکن، IDF، تاوردی آسیاب مواد خام	آسیاب مواد خام	الکتروفیلتر و فن آن	کل فر آیند
A	۰/۴۸	۰/۶۸	۰/۱	۱/۲۶
B	۰/۵۳	۲/۳	۰/۵۸	۳/۱۴
C	۰/۰۷	۱/۳۲	۰/۰۲	۱/۳۹
D	۰/۰۹	۰/۶۲	۰/۵۷	۱/۲۸
E	۰/۱۱	۰/۳۷	۰/۰۷	۱/۳
F	۰/۳۷	۰/۹۵	۰/۰۲	۱/۳۳
G	۰/۱۳	۰/۸۴	۰/۰۲	۱/۱۹
H	۰/۴۴	۰/۶۵	۰/۰۹	۱/۱۸
I	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۱۴	۱/۱۴

### ۳- مقایسه عملکرد چهار واحد تولیدی با ظرفیت مشابه

برای انجام مقایسه بهتر و نتیجه گیری مناسب تر ۴ واحد تولیدی مشابه که در قسمت قبل نام گذاری گردیده اند انتخاب شده اند. مشخصات واحدهای تولیدی مورد بحث I G D A با کدهای زیر اشاره شده است همچنین پارامترهای بهره برداری واحدهای مذکور مانند میزان هوای کاذب نفوذی، آنالیز گازها در

جدول ۶- میزان نشتی ویژه هوادر بخشهای مختلف فر آیند  $[Nm^3 /Kg.cli]$

محل اندازه گیری کد کارخانه	پیشگرمکن، IDF، تاوردی آسیاب مواد خام	آسیاب مواد خام	الکتروفیلتر و فن آن	کل سیستم
A	۴۶۰۷۰	۶۵۱۰۰	۹۵۸۰	۱۲۰۷۵۰
B	۴۴۲۶۰	۱۹۱۶۰۰	۴۸۳۰۰	۲۸۴۱۶۰
C	۹۶۰۰	۱۹۲۵۰۰/۲	۲۹۰۰	۲۰۵۰۰۰
D	۸۶۰۰	۵۹۳۰۰	۵۴۶۰۰	۱۲۲۶۰۰
E	۲۶۱۲	۸۷۹۰	۷۱۰	۳۰۸۰۰
F	۶۱۶۴۰	۱۵۸۳۰۰/۲	۱۶۶۰	۲۲۱۶۰۰
G	۲۲۰۰۰	۹۱۰۰۰	۹۵۸	۱۱۴۰۰۰
H	۳۶۶۰۰	۵۴۱۰۰	۷۶۰۰	۹۸۳۰۰
I	۵۰۸۰۰	۴۴۸۰۰	۱۳۴۰۰	۱۰۱۰۰۰



بخش های مختلف خطوط تولید و .... بایکدیگر مقایسه شده اند.

از جداول شماره (۱) تا (۵) نکات مهم و قابل توجهی بشرح ذیل استخراج می گردد.

اولاً در واحدهای تولیدی مختلف ، بالا بودن میزان درصد اکسیژن در خروجی دودکش اصلی حاکی از زیاد بودن هوای کاذب نفوذی به فرآیند تولیدی نیست. به عنوان مثال میزان درصد اکسیژن نسبت به سایر کارخانجات بیشتر است. (رجوع شود به I گازهای خروجی از دودکش کارخانه نسبت به سه I نمودار شماره (۱). اما از نمودارهای شماره (۴) و (۵) مشخص می گردد که کارخانه

کارخانه دیگر دارای کمترین مقدار هوای کاذب نفوذی به فرآیند می باشند. بطوریکه مقدار درصد به ترتیب ۱۵/۴، ۱۲/۵، I G D A اکسیژن در گازهای خروجی از دودکش برای واحدهای تولیدی ۱۱/۷، ۱۳/۵ درصد است . اما مقدار کل هوای کاذب در کارخانجات مذکور به ترتیب ۱/۱۴، ۱/۱۹، ۱/۲۸، ۱/۲۶ نرمال متر مکعب بر کیلو گرم کلینکر است.

ثانیاً عطف معادلات ارائه شده در قسمت اول مقاله ، مقدار مصرف انرژی الکتریکی در فن های انتقال دهنده گازها به دبی گازهای عبوری از فن ارتباط دارد . بنابراین مصرف انرژی الکتریکی در کارخانجات که بیشترین دبی گازهای خروجی از دودکش را داشته باشند ، بیشتر است (منظور مصرف انرژی الکتریکی در فن ها می باشد).

بنابراین با مقایسه دبی گازهای فرآیند در چهار کارخانه مورد نظر می توان به این نتیجه رسید که نسبت به سایر واحدهای تولیدی کمتر است. I مقدار انرژی جهت انتقال گازهای فرآیند در کارخانه این موضوع با در نظر گرفتن تعداد فن های حامل گاز در چهار واحد تولیدی مذکور صادق است.

لازم به ذکر است که محاسبات کامل مربوط به میزان انرژی الکتریکی مازاد بر اثر نفوذ هوای کاذب برای کارخانجات منتخب در ادامه این مقاله ارائه خواهد گردید .

ثالثاً براساس روابط ریاضی ارائه شده در قسمت اول ، هوای کاذب ورودی به سیستم ، بالاخص هوای کاذب ورودی به پیشگرمکن موجب سرد شدن گازهای موجود در فرآیند و در نهایت اتلاف انرژی حرارتی و افزایش مصرف سوخت در مشعلهای اصلی کوره و یا مشعلهای کلساینر می گردد.

بنابراین مازاد مصرف سوخت بر اثر نفوذ هوای کاذب در سیستم پخت ، ارتباط مستقیم با دبی نشتی هوادر پری هیتر (شامل طبقات پیشگرمکن و کلساینر ) دارد. بازجوع به نمودارهای شماره بیشتر از سایر I (۴) و (۵) مشخص می گردد که هوای کاذب ورودی به پری هیتر در کارخانه با کد

کارخانجات دیگر است. بنابراین انتظار می رود که مقدار اتلاف انرژی حرارتی و میزان مازاد مصرف سوخت در این کارخانه بیشتر از سه کارخانه مشابه دیگر باشد .

با عنایت به مطالب فوق نتیجه می گیریم که اهمیت یک متر مکعب هوای کاذب ورودی به محل به مراتب بیشتر از اهمیت همان مقدار هوای کاذب ورودی به فن (Kiln inlet) ورودی کوره الکتروفیلتر مواد خام می باشد. زیرا مورد اول از دیدگاه مصرف انرژی الکتریکی از چندین فن بزرگ ، عبور کرده و لذا اتلاف انرژی الکتریکی بیشتری در سیستم ایجاد (IDF) بالاخص فن پری هیتر می کند.

علاوه بر آن بدلیل بالا بودن درجه حرارت گازها در طبقات مختلف پیشگرمکن ، ورود هوای کاذب در این مناطق موجب اتلاف انرژی حرارتی زیادتری می گردد . بنابراین می بایست توجه بیشتری به وضعیت آب بندی تجهیزات در این منطقه به عمل آید.

### ۳-۱- محاسبات مربوط به مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی مازاد در اثر نفوذ هوای کاذب

همان گونه که در قسمت اول مقاله ودر بخش مباحث تئوری مطرح گردید، نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید سیمان آثار منفی زیادی از جمله افزایش مصرف انرژی الکتریکی و حرارتی را به همراه خواهد داشت. جهت یادآوری ، معادلات ریاضی مرتبط مجدداً ارائه می گردد:

$$E_{(kWh)} = \frac{Q \cdot \Delta p \cdot k}{y}$$

$$E = kWh$$

مقدار انرژی الکتریکی مصرفی در فن بر حسب

$$Q = \frac{m^3}{hr}$$

دبی هوای عبوری از فن بر حسب

$$\Delta P = mbar$$

افت فشار فن بر حسب

$$y =$$

راندمان فن

$$K =$$

ضریب تبدیل آحاد

همچنین معادله مربوط به محاسبه اتلاف حرارتی ناشی از نفوذ هوای کاذب در فرآیند پخت سیمان به شرح ذیل می باشد:

$$E_l = \rho.v.cp.(T_g - T_a)$$

که در رابطه فوق داریم :

$$E_l = (kcal/hr) \quad \text{اتلاف انرژی حرارتی}$$

$$\rho = (kg/m) \quad \text{دانستیه گاز}$$

$$V = (m/hr) \quad \text{دبی هوای کاذب}$$

$$Cp = (kcal/hr) \quad \text{ظرفیت گرمایی ویژه}$$

$$T_g = (^\circ C) = 625^\circ C \quad \text{درجه حرارت متوسط گازها در پیشگرمکن}$$

$$T_a = \quad \text{درجه حرارت محیط}$$

با استفاده از روابط فوق مقدار تلفات انرژی حرارتی و الکتریکی محاسبه و در نهایت با توجه به انرژی حرارتی متوسط مازوت مصرفی ، مقدار اتلاف سوخت نیز مشخص خواهد شد.

بنابراین برای کارخانجات ۹ گانه مقدار مصرف مازاد سوخت بر اثر نفوذ هوای کاذب و همچنین شدت مصرف سوخت مازاد در جدول شماره ۷ ذکر شده است. اطلاعات مورد نیاز از جمله دبی هوای کاذب به ارزش حرارتی مازوت و ظرفیت گرمایی ویژه هوا در دامنه حرارتی مذکور در ذیل اشاره شده است {۷} از جدول شماره ۵ استخراج گردد: میزان دبی هوای کاذب

$$= 0.322 kcal/kgcli \quad \text{ظرفیت گرمایی ویژه هوا در دامنه حرارتی مذکور}$$

$$= 9150 kcal/lit \quad \text{ارزش حرارتی متوسط مازاد}$$

جهت جلوگیری از طولانی شدن مقاله از آوردن جزئیات محاسبات صرف نظر می گردد. لذا تنها نتایج حاصل از آن در جدول شماره ۷ قید گردیده است.

جدول ۷- مقدار سوخت مازاد مصرفی بر اثر نفوذ هوای کاذب به پیشگرمکن ۹ واحد تولیدی کشور

کد کارخانه	(TPD) ظرفیت تولید	مازاد مصرف سوخت (Lit/year)	شدت مازاد مصرفی (Lit/ton)
A	۲۳۰۰	۸۳۵/۸۰۰	۱۲/۱۱
B	۲۰۰۰	۷۹۷/۴۰۰	۱۳/۲۹
C	۳۵۰۰	۱۷۲/۸۰۰	۱/۶۵
D	۲۳۰۰	۱۵۴/۸۰۰	۲/۲۴
E	۵۰۰	۴۷/۴۰۰	۳/۱۶
F	۴۰۰۰	۱/۱۱۰/۰۰۰	۹/۲۵
G	۲۳۰۰	۳۹۶/۰۰۰	۵/۷۴
H	۲۰۰۰	۶۵۹/۴۰۰	۱۰/۹۹
I	۲۳۰۰	۹۱۵/۰۰۰	۱۳/۹
متوسط			۸/۰۷

محاسبات مربوط به میزان انرژی الکتریکی مازاد مصرفی در فن های حامل گاز در فرآیند تولید کارخانجات ۹ گانه سیمان مورد بحث از طریق معادله شماره (۱) و با استناد به داده های موجود در جداول ۴ و ۵ بدست می آید. همچنین میزان انرژی الکتریکی مصرفی در فن های حامل گاز از جمله فن پری هیتز ، فن های آسیاب مواد خام و فن الکتریکی فیلتر برای تمام کارخانجات ۹ گانه مذکور بر در بخشهای مختلف خط تولید محاسبه گردیده است (۳).  $\text{KWh/Nm}^3$  و  $\text{kWh/ton}$  حسب در نهایت با توجه به دبی حجمی، نشتی هوا در بخشهای مختلف و مقدار انرژی الکتریکی مصرفی مازاد بر اثر نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید محاسبه و در جدول ۸ درج شده است.

#### ۴- اتلاف منابع سوختی کشور بر اثر پدیده نفوذ هوای کاذب در صنعت سیمان

همانطور که در جداول پیشین اشاره شد مقدار متوسط هوای کاذب ورودی به پیشگرمکن شامل وکلساینر را می توان به دست آورد. از آن جایی که (inlet) طبقات مختلف پیشگرمکن ، سر کوره انتخاب کارخانجات سیمان ۹ گانه بر مبنای تنوع تکنولوژی و قدمت تولید بوده است لذا میتوان بادر نظر گرفتن خطای قابل قبول نتایج حاصله از ۹ کارخانه فوق الذکر را به کل کارخانجات سیمان تعمیم داد.

بنابراین بر اساس داده های جدول ۸ مقدار متوسط هوای کاذب نفوذی در سیستم پخت کل می باشد. با در نظر گرفتن تولید سالیانه کلینکر یک  $۰/۳۰۶ \text{ Nm}^3/\text{kg.cli}$  کارخانجات کشور برابر کشور به میزان ۳۰ میلیون تن در سال و همچنین بادر اختیار داشتن اعداد و ارقام بهره برداری مربوط به درجه حرارت

متوسط گازها و پارامترهای ترمودینامیکی مربوطه مقدار اتلاف حرارتی به دلیل نفوذ هوای کاذب در سیستم پخت کارخانجات سیمان کشور به دست می آید:

= مقدار کل هوای کاذب

$$0.1306 \text{ Nm}^2 / \text{kgcl} \times 300000000 \text{ kg} / \text{year} \approx 9.167 \times 10^9 \text{ Nm}^3 / \text{hr}$$

میزان اتلاف انرژی حرارتی یکسان با استفاده از فرمول شماره (۲) به شرح ذیل محاسبه می شود:

$$E_l = \rho \cdot v \cdot c_p \cdot (T_g - T_a)$$

$$E_l = 91167 \times 10^9 \times 1/3 \times 0.322 \times (625 - 25)$$

$$E_l = 2/3 \times 10^{12} \text{ kcal} / \text{year}$$

مقدار اتلاف کل انرژی حرارتی در طی یک سال در کارخانجات سیمان کشور بر اثر نفوذ پدیده  $E_l$  هوای کاذب می باشد. بنابر اطلاعات و آمار جهانی (۶) مقدار ارزش حرارتی هر بشکه نفت خام در بازارهای جهانی برابر با ۶ گیگا ژول است بنابراین داریم :

$$\text{بشکه } 10^6 \times 1/6 - 1433075.10^{20} \times 2/3 = \text{معادل بشکه نفت خام}$$

به عبارت دیگر بر اثر نفوذ هوای کاذب در صنعت سیمان سالیانه حدوداً ۱/۶ میلیون بشکه نفت خام تلف می شود.

همچنین مقدار کل سوخت مصرفی در صنعت سیمان کشور برابر با ۲۴ میلیون بشکه در سال است. (۶) بنابراین متوسط ۶/۶ در صد از سوخت مصرفی در صنعت سیمان کشور به دلیل پدیده زیان بار نفوذ هوای کاذب تلف می شود.

## ۵- اتلاف انرژی الکتریکی کشور بر اثر پدیده زیانبار نفوذ هوای کاذب

در جدول شماره (۸) مصرف مازاد انرژی الکتریکی برای کارخانجات در طی سال و بر اثر نفوذ هوای کاذب اشاره شده است با توجه به تنوع تکنولوژی ساخت و تنوع تجهیزات و همچنین قدمت تولید واحد های مذکور می توان با در نظر گرفتن خطای معقول نتایج حاصل از بررسی وضعیت انرژی الکتریکی متوسط ۹ کارخانه منتخب را برای کل کشور تعمیم داد. بنابراین مطابق با جدول شماره (۸) ۱۵/۶۲  $\text{kwh} / \text{ton}$  مقدار اتلاف انرژی ویژه بر اثر نفوذ هوای کاذب برابر با بدست می آید.

بادر نظر گرفتن مقدار تولید ۳۳ میلیون سیمان که به طور سالیانه در کشور تولید می گردد مقدار متوسط انرژی الکتریکی اتلافی در طی یکسال برابر است با:

$$15/62 \times 515/46 \text{ kwh/ton} = 3300000 \times 10^6 \text{ kwh/year}$$

مقدار مذکور به طور متوسط در حدود ۱۳ درصد از مصرف برق صنعت سیمان کشور را شامل می شود. لازم به ذکر است که مصرف برق در صنعت سیمان در حدود  $10^6 \times 3800$  کیلو وات ساعت در سال می باشد (۱). جهت درک بهتر مطالب و مقایسه بهتر می توان گفت مقدار اتلاف انرژی مذکور معادل ۵۹٪ از ظرفیت تولید یک نیروگاه برق ۱۰۰ مگاواتی می باشد.

### دستآورد:

نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید سیمان یکی از پدیده های زیانبار از دیدگاه فنی و اقتصادی می باشد بطوریکه آثار مستقیم منفی آن اختلالاتی در زمینه تولید این کالای استراتژیک در سطح کلان کشور ایجاد می نماید.

مهمترین آثار منفی مستقیم این پدیده زیانبار افزایش مصرف انرژی الکتریکی و فسیلی می باشد. براساس اندازه گیری های انجام شده در ۹ کارخانه منتخب کشور و عطف به مستندات موثق نتایج ذیل حاصل می گردد:

۱- مقدار اتلاف سوخت به دلیل نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید سیمان کشور معادل ۱/۶ میلیون بشکه نفت خام در سال است. این رقم ۶/۶ درصد از کل سوخت مصرفی در صنعت سیمان کشور را شامل می شود.

۲- اتلاف انرژی الکتریکی بر اثر وجود این پدیده زیانبار برابر با ۵۱۵/۴۶ میلیون کیلو وات ساعت در سال است. این رقم معادل ۱۳ درصد از مصرف کل برق صنعت سیمان کشور و برابر با ۵۹ درصد از ظرفیت تولید یک نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی است.

لازم به ذکر است در قسمت بعدی این مقاله آثار و زیانهای اقتصادی ناشی از پدیده زیانبار نفوذ هوای کاذب در صنعت سیمان کشور بررسی و راهکارهای دقیق و اجرایی کنترل آن بر اساس اصول مهندسی ارائه خواهد گردید.

## ۶- آثار منفی اقتصادی ناشی از نفوذ هوای کاذب روی فرآیند تولید سیمان

در اینجا آثار زیانبار اقتصادی ناشی از نفوذ هوای کاذب روی فرآیند تولید سیمان از دیدگاه خود (در سطح کارخانجات سیمان) و کلان (در سطح ملی) مورد تحلیل قرار می گیرد. این امر از طریق اطلاعات مربوط به اتلاف انرژی فسیلی و اتلاف انرژی الکتریکی صورت میگیرد که در قسمتهای قبلی به طور مشروح بیان شده است.

### ۶-۱- زیانهای اقتصادی ناشی از نفوذ هوای کاذب در واحدهای تولیدی

همان گونه که در قسمتهای پیشین مقاله اشاره شده است، نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید آثار سوء متعددی از دیدگاه فنی و اقتصادی از جمله کاهش ظرفیت تولید، افزایش هزینه های مصرف انرژی و در نهایت افزایش قیمت تمام شده محصول را به دنبال خواهد داشت. در جدول شماره (۷) که در قسمت قبلی مقاله ارائه گردید و در جدول شماره (۸)، میزان مازاد مصرف سوخت فسیلی و انرژی الکتریکی بر اثر نفوذ هوای کاذب ارائه شده است.

جدول شماره ۸- مصرف مازاد انرژی الکتریکی در اثر نفوذ هوای کاذب

کد کارخانه	دبی ویژه نشتی هوا /kg.cl. °Nm	میزان برق مازاد مصرفی در سال (kWh)	شدت مازاد مصرفی انرژی الکتریکی (kWh/ton)
A	۰/۴۸	۱۷/۳۱۲/۰۶۹	۲۵/۰۹
B	۰/۵۳	۱۹/۱۱۵/۴۰۹	۲۱/۸۵
C	۰/۰۷	۲/۶۳۲/۶۲۵	۲/۵
D	۰/۰۹	۳/۲۴۶/۰۱۳	۴/۷
E	۰/۱۱	۲/۹۶۷/۳۴۹	۲۶/۴
F	۰/۳۷	۱۳/۳۴۴/۷۲۰	۱۱/۱۲
G	۰/۱۳	۴/۶۸۸/۶۸۵	۶/۸
H	۰/۴۴	۱۵/۸۶۹/۳۹۶	۱۶/۴
I	۰/۵۳	۱۹/۱۱۵/۴۰۹	۲۷/۷
متوسط	۰/۳۰۶		۱۵/۸۴

در این قسمت بر اساس اطلاعات موجود در جداول ۷ و ۸ افزایش هزینه تمام شده محصول به ازای مازاد شدت مصرف انرژی الکتریکی و فسیلی برای هر کدام از واحدهای تولیدی ۹ گانه محاسبه میگردد. در محاسبات بهای متوسط هر لیتر مازوت ۱۲۰ ریال و بهای متوسط هر کیلو وات ساعت انرژی الکتریکی ۱۲۳/۴ ریال در نظر گرفته شده است.

مقدار هزینه مازاد مصرف سوخت و برق بر اثر نفوذ هوای کاذب محاسبه و در جدول شماره ۹ درج شده است. علاوه بر آن با توجه به مقادیر ظرفیت اسمی کارخانجات (جدول شماره ۱ همین مقاله در مجله پیک سیمان شماره ۵۵) افزایش قیمت تمام شده هر تن سیمان به دلیل مازاد مصرف انرژی محاسبه و در جدول شماره ۹ قید میگردد. جهت جلوگیری از حجم زیاد محاسبات کلیه محاسبات برای به عنوان نمونه انجام و در نهایت برای سایر کارخانجات ۹ گانه نتایج نهایی جداگانه  $F$  کارخانه باکد محاسبه و در جدول شماره ۹ ارائه شده است.

جدول ۹- زیانهای اقتصادی ناشی از نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید در کارخانجات کشور

کد کارخانه	ظرفیت (TPD)	شدت مازاد مصرف برق (kWh/ton)	شدت مازاد مصرف سوخت (Lit/ton)	هزینه مازاد انرژی (سال/ریال)	افزایش قیمت تمام شده (تن/ریال)
A	۲۳۰۰	۲۵/۰۹	۱۲/۱۱	۳/۱۳۸/۸۱۰/۰۰۰	۴۵۴۹
B	۲۰۰۰	۲۱/۸۵	۱۳/۲۹	۳/۳۱۵/۰۰۰/۰۰۰	۵۵۲۵
C	۳۵۰۰	۲/۵	۱/۶۵	۵۳۲/۳۵۰/۰۰۰	۵۰۷
D	۲۳۰۰	۴/۷	۲/۲۴	۵۸۵/۸۱۰/۰۰۰	۸۴۹
E	۵۰۰	۲۶/۴	۳/۱۶	۵۴۶/۰۰۰/۰۰۰	۳۶۴۰
F	۴۰۰۰	۱۱/۱۲	۹/۲۵	۲/۹۷۹/۶۰۰/۰۰۰	۲۴۸۳
G	۲۳۰۰	۶/۸	۵/۷۴	۱/۱۳۲/۸۰۰/۰۰۰	۱۸۸۸
H	۲۰۰۰	۱۶/۴	۱۰/۹۹	۳/۴۸۶/۶۰۰/۰۰۰	۵۸۱۱
I	۲۳۰۰	۲۷/۷	۱۳/۹	۳/۵۰۹/۳۴۰/۰۰۰	۵۰۸۶
متوسط	-	۱۵/۱۴	۸/۰۷	-	۳۳۷۱

نکته مهم: از آنجائی که انتخاب کارخانجات سیمان نه گانه بر مبنای تنوع تکنولوژی و قدمت تولید بوده است لذا می توان بادر نظر گرفتن خطای قابل قبول، نتایج حاصله از نه کارخانه منتخب را به کل کارخانجات کشور تعمیم داد.

$$(۱) - \text{ظرفیت تولید روزانه کارخانه} = ۴۰۰۰ \text{ (TPD)}$$

استخراج از جدول شماره (۱) همین مقاله در مجله پیک سیمان شماره ۵۵

$$(۲) - \text{دبی هوای کاذب ورودی به سیستم} = ۲۲۱۶۰۰ \text{ } nm^3/hr$$

استخراج از جدول شماره (۵) همین مقاله در مجله پیک سیمان شماره ۵۵

$$(۳) - \text{میزان سوخت مازاد بر مصرف (معادل لیتر)} = ۹/۲۵ \text{ } lit/ton$$

استخراج از جدول شماره (۷) همین مقاله در مجله پیک سیمان شماره ۵۶



(۴)  $11/12 \text{ kwh/ton}$  = شدت انرژی الکتریکی مازاد

استخراج از جدول شماره (۷) همین مقاله در مجله پیک سیمان شماره ۵۶

(۵) - ریال ۱۲۰ = بهای متوسط هر لیتر مازوت

ریال ۱۲۳/۴ = بهای متوسط برق (برای هر کیلو وات ساعت)

هزینه مازاد مصرف برق + هزینه مازاد سوخت = هزینه مازاد انرژی مصرفی بر اثر نفوذ هوای کاذب

ریال/تن  $2483 = 25/9 \times 120 + 4/123 \times 12/11$  = هزینه مازاد انرژی مصرفی بر اثر نفوذ هوای کاذب

بنابراین به طور متوسط در کل کارخانجات سیمان کشور افزایش هزینه تمام شده محصول نهایی به دلیل

پدیده هوای کاذب به ازای هر تن سیمان برابر با ۳۳۷۱ ریال می باشد.

## ۶-۲- زیانهای اقتصادی ناشی از نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید سیمان در سطح ملی

بر اساس محاسبات انجام شده در قسمت دوم مقاله ،اتلاف سوخت مصرفی در صنعت سیمان کشور، به

دلیل پدیده زیانبار نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید معادل با  $1/6$  میلیون بشکه نفت خام در سال

می باشد. علاوه بر آن اتلاف انرژی الکتریکی در کارخانجات سیمان کشور به دلیل ایجاد این پدیده مضر

برابر ۶۰ در صد از تولید برق یک نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی می باشد.

واضح است جلوگیری از اتلاف  $1/6$  میلیون بشکه در سال معادل  $720/000/000/000$  ریال در سال صرفه

جویی ملی به همراه خواهد داشت. ضمن اینکه کاهش تولید و انتشار گازهای آلاینده و گلخانه ای به میزان

$1/65$  میلیون تن در سال و افزایش عمر مفید و حجم ذخایر ملی نفت کشور را نیز به دنبال خواهد داشت.

همچنین جلوگیری از اتلاف انرژی الکتریکی معادل ۶۰ در صد از تولید برق یک نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی علاوه

بر صرفه جویی ارزی و ریالی معادل  $6/500/000/000/000$  ریال (شامل طراحی و هزینه های سرمایه

گذاری، نصب، راه اندازی و بهره برداری از نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی ) موجب افزایش پتانسیل کشور در امر

برق رسانی به مناطق محروم و دور افتاده می گردد.

## ۷- آثار پدیده نفوذ هوای کاذب در تولید گازهای آلاینده و گلخانه ای و حفظ محیط زیست

احتراق سوخت های فسیلی در صنایع مختلف ، عمده ترین منبع و ریشه ایجاد آلودگی و تولید آلاینده

های زیست محیطی و گازهای گلخانه ای در کارخانجات کشور می باشد. گازهای آلاینده منواکسید کربن ،

اکسیدهای ازت، دی اکسید گوگرد، دی اکسید کربن از جمله گازهای مخربی هستند که از دود کش کارخانجات سیمان به محیط پیرامون و اتمسفر منتشر می گردند. در این میان نقش مخرب گاز دی اکسید کربن از گازهای دیگر بیشتر است. زیرا مقدار  $\text{CO}_2$  قابل توجهی از کل گازهای خروجی از دودکش اصلی کارخانجات سیمان را تشکیل می دهد.

همانطوریکه در بخشهای قبلی مقاله اشاره شده پدیده نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید موجب افزایش مصرف سوخت می گردد. مقدار متوسط افزایش مصرف سوخت در کارخانجات سیمان کشور به دلیل ایجاد پدیده زیانبار،  $8/07$  لیتر به ازای هر تن سیمان، می باشد. در این قسمت از مقاله در اتمسفر (خروجی از دودکش کارخانجات) را به دلیل مصرف مازاد سوخت  $\text{CO}_2$  مقدار شدت مازاد گاز بر تن کلینکر (محاسبه کرده و در نهایت به  $\text{CO}_2$  نرمال متر مکعب گاز  $\text{Nm}^3/\text{ton cement}$  بر حسب بررسی اثر زیست محیطی آن می پردازیم.

مقدار درصد گاز دی اکسید کربن در گازهای خروجی از ۹ کارخانه منتخب در جدول شماره (۱۰) ذکر خروجی از  $\text{CO}_2$  شده است. علاوه بر آن دبی حجمی کل گازهای خروجی و دبی حجمی گاز دودکش هر کدام در این جدول قید شده است. در بخش های گذشته فرض گردید با توجه به تنوع و قدمت کارخانجات نه گانه منتخب می توان متوسط آماری پارامترهای مختلف در این ۹ کارخانه را با نیز صادق است  $\text{CO}_2$  خطای قابل قبول به کل صنعت سیمان کشور تعمیم داد. این امر در مورد گاز زیرا تنوع سوخت مصرفی در این کارخانجات به گونه ای است که می توان گازهای آلاینده خروجی از دودکش های آنها را به کل کارخانجات کشور تعمیم داد.

به ازای هر تن سیمان در کل صنعت سیمان کشور برابر با  $\text{CO}_2$  بنابراین مقدار متوسط انتشار گاز مقدار متوسط آماری کارخانجات ۹ گانه مذکور قرار داده و در جدول شماره (۱۰) ذکر می نمایم.

جدول ۱۰- وضعیت انتشار گاز دی اکسید کربن به اتمسفر از دودکش اصلی کارخانجات سیمان کشور

کد کارخانه	دبی کل گازهای خروجی Nm <sup>3</sup> /hr	میزان CO <sub>2</sub> در گازها (%)	دبی کل CO <sub>2</sub> گاز Nm <sup>3</sup> /hr	دبی انتشار CO <sub>2</sub> گاز در سال Nm <sup>3</sup> /year	دبی ویژه CO <sub>2</sub> Nm <sup>3</sup> /kgcli	دبی وزنی CO <sub>2</sub> Nm <sup>3</sup> /kgcli
A	۲۸۱۰۰۰	۱۲/۷	۳۵۶۸۷	۲۵۶۷۵۵۹۰۰	۰/۳۷	۰/۷۳
B	۴۸۴۰۰۰	۱۲/۳	۵۹۵۳۲	۴۲۸۷۷۸۰۰۰	۰/۷۱	۱/۴
C	۵۳۵۷۰۰	۱۲/۵	۶۶۹۶۳	۴۸۱۶۸۷۵۰۰	۰/۴۶	۰/۹
D	۲۸۳۱۰۰	۱۲/۸	۳۶۲۳۷	۲۶۰۵۴۴۰۰۰	۰/۳۸	۰/۷۴
E	۵۹۳۲۵	۱۴/۲	۸۲۲۴	۵۳۲۵۰۰۰۰	۰/۳۶	۰/۷
F	۶۱۴۰۰۰	۱۲	۷۳۶۸۰	۵۲۹۹۲۰۰۰۰	۰/۴۴	۰/۸۷
G	۲۹۵۱۰۰	۱۳/۲	۳۸۹۵۳	۲۸۰۵۲۶۴۰۰	۰/۴۱	۰/۸
H	۲۶۱۸۰۰	۱۱/۳	۲۹۵۸۳	۲۱۲۸۹۲۰۰۰	۰/۳۵	۰/۷
I	۳۱۱۰۰	۱۰/۲	۳۱۷۲۲	۲۲۸۷۳۵۰۰۰	۰/۳۳	۰/۶۵
متوسط	-	-	-	-	۰/۴۲	۰/۸۳

متوسط منتشر CO<sub>2</sub> همانطوری که از جدول شماره (۱۰) بدست می آید مقدار دبی ویژه شده در اتمسفر توسط صنعت سیمان کشور برابر با ۰/۴۲ نرمال متر مکعب بر کیلوگرم کلینکر می باشد. از آن جایی که سالیانه مقدار ۳۰۰۰۰۰۰ تن کلینکر در کشور تولید می شود، کل مقدار گاز دی اکسید کربن منتشر شده به اتمسفر برابر است با :

$$30,000,000 \text{ تن/سال} \times 0.42 \text{ CO}_2 \text{ کیلوگرم/نرمال مترمکعب} \times 1000 \text{ تن/کیلوگرم} \times 10^3 \text{ Nm}^3/\text{year} = 126 \times 10^{10} \text{ Nm}^3/\text{year}$$

$$30,000,000 \text{ تن/سال} \times 0.83 \text{ CO}_2 \text{ کیلوگرم/نرمال مترمکعب} \times 1000 \text{ تن/کیلوگرم} \times 10^3 \text{ Ton/year} = 74.7 \times 10^{10} \text{ Ton/year}$$

بنابراین سالانه مقدار  $126 \times 10^{10}$  نرمال متر مکعب معادل ۷۴/۷ میلیون تن دی اکسید کربن از دود کش اصلی کارخانجات سیمان کشور به محیط انتشار می یابد .

اتلاف سوخت مصرفی در صنعت سیمان کشور ، به دلیل پدیده زیانبار نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید معادل با ۱/۶ میلیون بشکه نفت خام در سال می باشد.

علاوه بر آن اتلاف انرژی الکتریکی در کارخانجات سیمان کشور به دلیل ایجاد این پدیده مضر برابر ۶۰ درصد از تولید برق یک نیروگاه ۱۰۰ مگاواتی می باشد.

همانطوریکه قبلاً اشاره شده به طور متوسط مقدار ۸/۰۷ لیتر مازوت بر هر تن سیمان سوخت اضافی بر اثر پدیده نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید سیمان کشور مصرف می گردد. این امر موجب حاصل از احتراق سوخت مازاد در اتمسفر می گردد. CO<sub>2</sub> افزایش انتشار گاز با در نظر گرفتن جرم حجمی متوسط مازوت

کشور برابر با ۰/۹۵ کیلوگرم بر لیتر و همچنین با فرض (قریب به واقعیت) مقدار متوسط درصد کربن سوخته‌های مختلف مایع (مازوت) کشور برابر با ۸۸ درصد وزنی کل، مقدار دی اکسید کربن منتشر شده به محیط توسط احتراق سوخت مازاد مصرفی در صنعت سیمان کشور برابر با ۱/۶۵ میلیون تن در سال است واضح است که در صورت کاهش و جلوگیری از نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید سیمان می‌توان از به محیط به میزان ۱/۶۵ میلیون تن در سال جلوگیری نمود. CO<sub>2</sub> انتشار گاز سهم ایران در تولید گازهای گلخانه‌ای WTO با توجه به اینکه در آینده نزدیک با پیوستن کشورها به محدود خواهد شد، لذا کنترل این گازها در صنعت کشور به خصوص در صنعت سیمان به شیوه‌های مختلف از جمله آب بندی فرآیند تولید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود.

#### ۸- راه کارهای جلوگیری و کاهش نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید

دراکثر کارخانجات سیمان کشور و در زمان تعمیرات بلند مدت گروه تعمیرات به طور تجربی و به روش سنتی (مشاهده مستقیم و عینی) برخی از مکان‌های نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید را شناسایی و نسبت به رفع و آب بندی آن اقدام می‌نماید. هر چند این روش با توجه به امکانات اندازه‌گیری موجود برخی از کارخانجات کشور غیر قابل اجتناب می‌باشد اما روشهای جدید و بر اساس و پایه اندازه‌گیری و محاسبات مهندسی به همراه برنامه ریزی دقیق کنترل هوای کاذب ورودی به سیستم ارجح است. البته خوشبختانه تعدادی از کارخانجات سیمان کشور اقدام به خرید تجهیزات اندازه‌گیری پارامترهای بهره‌بردار مرتبط با میزان نفوذ هوای کاذب نموده‌اند. اما مطالعه این مقاله و محاسبات انجام شده وضعیت نامناسب کل صنعت سیمان کشور را بیان می‌نماید. به هر حال می‌توان با تهیه دستگاههای اندازه‌گیری و با تربیت افراد مجرب و تشکیل گروه آب بندی و نیز برنامه ریزی دقیق مهندسی، جلوی خسارات را گرفت. در این قسمت از مقاله یک روش جهت کنترل مستمر و برنامه ریزی دقیق جهت حذف نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید اشاره می‌گردد.

#### ۸-۱- تشکیل گروه آب بندی

اولین گام در جهت کنترل مستمر هوای کاذب نفوذی به سیستم تشکیل گروه آب بندی است.

این گروه متشکل از سه تیم اندازه گیری و شناسایی ، برنامه ریزی مهندسی و تعمیرات می باشد. شناسایی گلوگاه های ناشی هوا در کل فرآیند تولید بر اساس اندازه گیری پارامترهای بهره برداری و انجام محاسبات مربوطه بر عهده تیم اندازه گیری و شناسایی است. به عبارت دیگر به وسیله اندازه گیری پارامترهای بهره برداری مانند درصد اکسیژن ، درجه حرارت ، فشار ، سرعت ، بخشها و دبی گازهای موجود در فرآیند تولید ، مقدار نفوذ هوای کاذب در بخشهای مختلف کارخانه به طور دقیق مشخص می گردد. پس از تعیین گلوگاه های اصلی نفوذ هوای کاذب ، تکنیک های حذف هوای اضافی (آب بندی سیستم ) در هر بخش به طور مجزا مشخص می گردد و طی گزارشی به تیم برنامه ریزی مهندسی ارائه می گردد. پس از آن توسط تیم برنامه ریزی مهندسی ، برنامه دقیق عملیات اجرایی شامل برنامه زمانبندی اجرا ، تجهیزات مورد نیاز وسایل و لوازم مصرفی و نیروی انسانی انجام فعالیت تحت برنامه ای جداگانه و کامل به همراه گزارش تیم اندازه گیری و شناسایی به تیم اجرایی ارائه می گردد تا مطابق با برنامه ، فعالیتهای مربوطه در زمان ارائه شده انجام گردد.

نکته قابل توجه این است که پیگیری جهت تهیه لوازم و مایحتاج مورد نیاز آب بندی که در برنامه مذکور ارائه شده است توسط تیم برنامه ریزی مهندسی صورت می گیرد.

## **۸-۲- شناسایی گلوگاه های نفوذ هوای کاذب**

منظور از گلوگاه های نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید ، بخشهایی از تجهیزات فرآیند از جمله داکت ها ، دریچه ها و غیره است که مقدار قابل توجهی از هوای کاذب ورودی به کل سیستم از طریق آنها به درون سیستم وارد می شود. نفوذ هوای کاذب به درون سیستم می تواند ناشی از پوسیدگی ، خم شدگی ، زنگ زدگی و... تجهیزات باشد. باتوجه به اینکه همواره امکان ایجاد منافذ ورود هوای کاذب در طی کارکرد تجهیزات وجود دارد می بایست ، کنترل نفوذی هوای کاذب در طی سال و به طور متوالی و مستمر انجام پذیرد. به بیان دیگر با توجه به این که امکان پوسیدگی ، سوراخ شدگی ، سایش و از بین رفتن تجهیزات در حین پروسه تولید سیمان وجود دارد، نیاز به کنترل مستمر و برنامه ریزی دقیق و مدرن جهت شناسایی گلوگاه های نفوذ هوای کاذب وجود دارد.

بنابراین برنامه ریزی مدونی جهت شناسایی گلوگاه های احتمالی در تمام طول سال مورد نیاز است. زمان بندی انجام این فعالیتها حداقل هر سه ماه یکبار است. علاوه بر آن قبل و بعد از هر تعمیرات اساسی نیز باید انجام بپذیرد. شناسایی گلوگاه ها به طور منظم منتج از اندازه گیری پارامترهای بهره برداری در بخشهای مختلف فرآیند تولید و پس از انجام محاسبات مربوط به تعیین میزان دبی نشتی هوا (هوای کاذب) در بخشهای مختلف صورت می گیرد در نهایت گزارش کامل شامل گلوگاه های نفوذ هوای کاذب، میزان پارامترهای بهره برداری در طول فرآیند، دبی نشتی هوای ورودی سیستم در تک تک بخشهای مختلف، مقدار مازاد مصرف سوخت و برق ناشی از ورود هوای کاذب به سیستم تهیه و جهت برنامه ریزی به تیم برنامه ریزی مهندسی ارائه می گردد.

#### **۸-۳- برنامه ریزی مهندسی**

تیم برنامه ریزی مهندسی مسئولیت برنامه ریزی و زمانبندی کامل عملیات اجرایی تعمیرات آب بندی کامل انجام کار بر عهده تیم برنامه ریزی مهندسی است. CPM را بر عهده دارد. به عبارت دیگر تهیه علاوه بر آن پیگیری های لازم جهت تهیه تجهیزات و لوازم مصرفی مورد نیاز تعمیرات را انجام می دهد. در نهایت برنامه زمان بندی کامل اجرایی توسط تیم برنامه ریزی به گروه تعمیرات (اجرایی) واگذار می گردد.

#### **۸-۴- تیم اجرایی**

اعضای تیم اجرایی را کارشناسان و تکنسین های واحدهای مکانیک و تعمیرات تشکیل می دهند و کار آنها انجام موارد اجرایی مذکور در اهداف، براساس برنامه ریزی زمان بندی اعلام شده است. نکته قابل توجه این است که در کل فرآیند انجام کار از مرحله شناسایی تا مراحل برنامه ریزی و اجرا رابطه تنگاتنگی میان اعضاء گروه با هدف هم فکری و تعامل نظر جهت بهبود کار وجود دارد. لازم به ذکر است پس از انجام فعالیتهای اجرایی، تیم شناسایی و اندازه گیری باهدف بررسی نحوه عملکرد گروه و تعیین درصد پیشرفت مفید کار، دوباره اقدام به اندازه گیری و محاسبه نشتی هوای کاذب در بخشهای مختلف فرآیند تولید می نماید تا ضمن بررسی وضعیت موجود هدف گذاری آینده انجام و فعالیتهایی که در راستای کنترل و کاهش نفوذ هوای کاذب می بایست صورت پذیرد تعریف و انجام شود.

## ۹- جمع بندی و نتیجه گیری:

پدیده نفوذ هوای کاذب (نشتی هوا) یکی از معضلات صنعت سیمان کشور می باشد. به طوریکه علاوه بر ایجاد اشکال در فرآیند تولید موجب کاهش ظرفیت تولید، افزایش مصرف سوخت و انرژی الکتریکی و کاهش طول عمر تجهیزات می گردد.

نفوذ هوای کاذب در فرآیند تولید سیمان در کارخانجات سیمان کشور موجب افزایش شدت مصرف سوخت در کوره های دوار به میزان متوسط  $8/07$  لیتر برتن می گردد. با توجه به ظرفیت تولید سیمان کشور این رقم برابر با  $1/6$  میلیون بشکه نفت خام در سال به ارزش  $720/000/000/000$  ریال در سال است. علاوه بر آن موجب افزایش شدت مصرف انرژی الکتریکی به میزان متوسط  $15/6$  می گردد که این رقم معادل  $60$  درصد ظرفیت یک نیروگاه  $100$  مگا  $kwh/ton$  واتی می باشد.

از مجموع عوامل مذکور فوق می توان نتیجه گرفت که نفوذ هوای کاذب به فرآیند تولید به طور متوسط در کل کارخانجات سیمان کشور موجب افزایش قیمت تمام شده محصول به میزان  $3371$  ریال برتن می گردد. از دیدگاه زیست محیطی این پدیده موجب افزایش انتشار گاز  $CO_2$  بمیزان  $Kg/Kgcli$   $0/83$  و معادل با  $2/49$  میلیون تن در سال می گردد. بنابراین کنترل مستمر و انجام برنامه ریزی مدون در قالب تیم های مهندسی با هدف کاهش و حذف این پدیده زیانبار در صنعت سیمان ضروری و در صورت اعمال برنامه دقیق (مذکور در بند ۳ همین مقاله) می توان از زیان های فوق الذکر جلوگیری نمود.

## منابع :

- ۱- آمار و اطلاعات سازمان بهینه سازی مصرف سوخت کشور سال ۱۳۸۲
- ۲- آمار و اطلاعات سازمان بهره وری انرژی ایران سال ۱۳۸۲
- ۳- گزارشات مربوط به ممیزی فرآیند در ۹ کارخانه سیمان کشور - شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان
- ۴- مکانیک سیالات ، اروین اچ شمیز ترجمه : مهندس انتظاری - چاپ دوم سال ۱۳۶۶
- ۵- مکانیک سیالات ، ویکتور استریتر ترجمه : دانشگاه صنعتی شریف - چاپ اول ، سال ۱۳۶۷
- ۶- ترازنامه انرژی ایران در سال ۱۳۸۲