

بسمه تعالی

بررسی امکان استفاده مجدد از غبار برگشتی سیستم پخت تولید سیمان به منظور جلوگیری از دور ریز شدن آن

مهندس حسین چهرگانی

۱- مقدمه

یکی از صنایع بزرگ و استراتژیک کشورمان صنعت سیمان می باشد هرچند آلاینده‌گی آن از دیرباز مورد توجه بوده است. از اصلی‌ترین آلاینده‌های مربوط به آن می توان غبار تولیدی را عنوان نمود که در سالهای اخیر ، کشورهای صنعتی پتانسیل زیادی را صرف کاهش و از بین بردن آن نموده‌اند. غبار در مراحل مختلف یک خط تولید سیمان منتشر می گردد و توسط غبارگیرهای مناسب در هر مرحله ، جمع آوری می شود. غبار بدست آمده غالباً به لحاظ ترکیب مشابه با مواد در حال جریان در همان منطقه از فرآیند می باشد و به همین لحاظ مجدداً به خط تولید برگردانده می شود. لیکن غبار حاصل از کوره سیمان دارای ویژگیهای منحصر بفردی می باشد که استفاده از آن را محدود می سازد. افزودن این مواد به سیستم به دلیل آن که حاوی مواد فراری نظیر K_2O , Na_2O , SO_3 , Cl بیش از حد مجاز می باشند. فرآیند را دچار مشکل می نماید. از طرفی دهن آن سبب آلودگی محیط زیست و تحمیل هزینه و از دست دادن مقدار زیادی از مواد می باشد که فرآیندهای مختلفی اعم از عملیات استخراج ، خردایش ، اختلاط و کلسیناسیون جزئی روی آن صورت گرفته است. بنابراین در این بررسی علاوه بر معرفی این غبار ، سعی شده است تا فهرستی از انواع کاربردهای آن تهیه گردد و بهترین کاربرد برای مصرف غبارهای خروجی از کوره ، مورد مطالعه قرار گیرد. [۱]

۲ - کاربردهای مختلف غبار کوره سیمان

تا جندی پیش به غبار کوره سیمان به عنوان دور ریز صنعتی نگاه می شد. اما اخیراً بر بکارگیری آن تاکید می شود، چرا که اولاً انرژی زیادی جهت آماده سازی و کلسیناسیون جزئی آن صرف شده است و دور ریختن آن سبب اتلاف انرژی و هزینه می شود. دیگر اینکه با توجه به حجم زیاد این مواد، هزینه های زیادی برای دفع آن صرف می شود و انباشته شدن آن به لحاظ ترکیب ویژه شیمیایی اثرات زیست محیطی نامطلوبی دارد. [۲] منابع مختلف علمی و فنی کاربردهای زیر را برای آن معرفی کرده اند:

به عنوان پرکننده در بتون های آسفالتی که به عمر و مقاومت بالای آن کمک می کند [۳]. بدلیل دارا بودن موادی نظیر CaO , K_2O , Na_2O و ... می تواند به تثبیت لجن فاضلابهای شهری کمک مؤثری نماید [۴]. غبار برگشتی کوره های دوار به دلیل دانه بندی ریز می تواند باعث جذب SO_2 تولیدی نیروگاهها گردد [۵]. از طرفی می توان این غبارها را پس از شستشو با آب (که منجر به حل شدن اجزای نامطلوب قلیایی و کلریدی می گردد) و آگیری یا خشک کردن آن، به مواد اولیه و خط تولید برگرداند. البته این امر مستلزم مصرف حجم زیادی آب و آلودگی آن می باشد [۶]. یکی دیگر از کاربردهای آن بکارگیری به عنوان کود در کشاورزی است و یا تولید محصولاتی تا حجم محدود تحت عنوان خاک مصنوعی نیز ذکر شده است. کاربردهای دیگر آن، تولید کلینکر از غبار توسط یک راکتور بستر سیال، تهیه آجر و سایر مصالح ساختمانی می باشد. در بین روشهای مذکور می توان به کاربرد مستقیم غبار برگشتی از کوره در سیمان به صورت افزودنی، توجه خاص داشت. زیرا اولاً باعث افزایش حجم تولید سیمان می شود، ثانیاً سادگی و نداشتن هرگونه هزینه بدون صرف انرژی و بدون نیاز به فرآیندی جهت انجام عملیات، مزیت دیگری است که می توان به آن اشاره نمود و حداکثر بهره وری را می توان بدین ترتیب بدست آورد.

۳ - ارزیابی غبار برگشتی یک واحد تولید سیمان

غبار برگشتی در گازهای خروجی از کوره معلق بوده و به صورت معکوس با جهت حرکت مواد، جریان دارد. این غبار به دلیل حضور مواد قلیایی و فرار ناشی از مواد خام و احیاناً سوخت، فراربت بالایی دارد و ممکن است با سرد شدن در قسمتهایی از فرآیند پخت رسوب یافته و پدیده های گرفتگی و سیکل درونی را سبب گردد. مقدار تولیدی آن بر حسب نوع مواد، تکنولوژی تولید و شرایط بهره برداری در محدوده ۳ تا ۲۰ درصد از محصول می باشد. مثلاً در یک کوره ۲۰۰۰ تنی و در حال تولید سیمان حدود ۱۰ تا ۱۲ تن در ساعت تولید می شود. توزیع دانه بندی غبار کنار گذر (by-pass) کوره سیمان شامل حدود ۸۰/۹ درصد ذرات کوچکتر از ۴۵ میکرون می باشد و ذرات کوچکتر از ۴ میکرون حدود ۳۰٪ از کل غبار را تشکیل می دهد. آنالیز شیمیایی غبار کوره مورد مطالعه بر حسب نوع مواد اولیه و سیستم تولید سیمان تفاوت می کند. یک نمونه از آنالیز غبار این کوره تولید سیمان که توسط آنالیز شیمیایی تهیه شده است، در جدول ۱ درج شده است.

بررسی انجام شده در خصوص نمونه مزبور نشان می دهد که اگر این نمونه را توسط ۲ الک با اندازه سوراخهای ۹۰ میکرون و ۳۱ میکرون به سه قسمت: ذرات غبار باقیمانده روی الک ۹۰ میکرون، بین دو الک و زیر الک ۳۱ میکرون تقسیم کنیم، مقایسه آنالیز شیمیایی این سه بخش نشاندهنده بالاتر بودن میزان مواد فرار نامطلوب مورد مطالعه: K_2O , Na_2O , SO_3 , Cl در بخش ریز دانه (زیر الک ۳۱ میکرون) می باشد.

جدول ۱: آنالیز شیمیایی غبار برگشتی کوره دواری با ظرفیت ۲۰۰۰ تن در روز

Compounds	Percentage
SiO_2	14.35
Al_2O_3	2.80
Fe_2O_3	3.05
CaO	38.55
MgO	2.14
SO_3	0.91
K_2O	3.34
Na_2O	0.16
Cl	2.48
Loss ₁₂₅₀	32.20

۴ - طراحی آزمایشهای لازم جهت بکارگیری غبار سیستم پخت به عنوان افزودنی به

سیمان

۴-۱ - نمونه سازی

جهت ارزیابی درصد بهینه غبار برگشتی افزوده شده به محصول اقدام به تهیه نمونه هایی به شرح ذیل نمودیم. لازم به ذکر است که سیمان بکار رفته در تهیه این نمونه ها سیمان تیپ ۲ تولیدی همین کارخانه بود:

الف) نمونه شاهد جهت ارزیابی و فاقد غبار برگشتی .

ب) نمونه های حاوی غبار برگشتی که به ترتیب بصورت جدول ۲ کدبندی گردیده است. بطور مثال در ردیف اول این جدول نمونه S1 حاوی ۳ درصد غبار برگشتی و ۹۷ درصد سیمان پرتلند می باشد.

جدول ۲: کدبندی نمونه‌هایی با درصدهای مختلف از غبار برگشتی

میزان غبار برگشتی (درصد)	کد نمونه
۳	S1
۴	S2
۵	S3
۶	S4
۷	S5
۸	S6
۹	S7
۱۵	S8
۲۰	S9

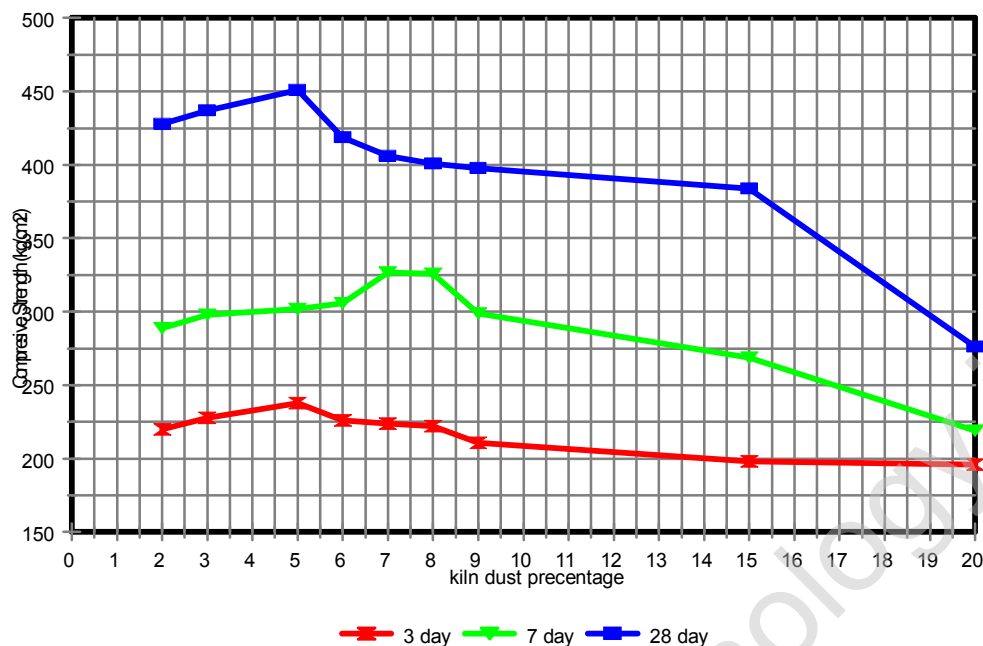
نمونه‌های مذکور همگی مخلوط و هموژن گردیدند. متعاقباً آزمایش‌های مختلفی بمنظور ارزیابی لازم بر روی آنها انجام گرفت که به شرح ذیل می‌باشند.

۲-۴- تست مقاومت فشاری

به جهت ارزیابی تاثیرات غبار برگشتی بر روی خواص سیمان مخلوط‌های تهیه شده در بخش ۴-۱ را بر طبق استاندارد 1164 DIN تحت آزمایش مقاومت خمشی و فشاری قرار دادیم. نمونه‌های آزمایشی از: سیمان، ماسه استاندارد منطبق با EN 196-1 DIN و آب مقطر به نسبت ۱:۳:۰/۵ تهیه گردیده و پس از مخلوط و قالب گیری شدن به مدت ۲۴ ساعت در اتاق نم بحال خود گذاشته شدند. سپس نمونه‌ها از قالب خارج و تا زمان آزمایش در آب $10^{\circ}\text{C} + 20$ قرار داده شدند. سن نمونه‌های مورد آزمایش در تست مقاومت فشاری به ترتیب ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بوده‌اند. نتایج کلی بدست آمده بوسیله نمودار در شکل ۱ ارائه گردیده است.

۴-۳- تست زمان گیرش

جهت تعیین زمانهای گیرش ابتدایی و انتهایی از دستگاه ویکات استفاده گردید. خمیر استاندارد سیمان (Standard Cement Paste) که برای این منظور و همچنین تعیین انبساط سیمان ضروری است از نمونه‌های آزمایشگاهی تهیه گردید. میزان آب بکار رفته جهت تهیه این خمیرها دقیقاً تعیین گردیدند و سپس هر کدام از نمونه‌ها تحت آزمایش تعیین زمان گیرش اولیه و نهائی قرار گرفتند. نتایج این بررسی‌ها در جدول شماره ۳ منعکس است.



شکل ۱: نتایج حاصل از گسترش مقاومت فشاری نمونه های حاوی غبار برگشتی کوره دوار سیمان

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمایش زمان گیرش (سوزن ویکات)

کد نمونه	درصد غبار افزوده شده	نسبت آب به سیمان	گیرش اولیه	گیرش نهایی
Control	0	0.262	182	255
S1	3	0.260	180	258
S2	4	0.255	180	232
S3	5	0.250	176	215
S4	6	0.251	165	207
S5	7	0.256	172	196
S6	8	0.245	160	225
S7	9	0.248	178	236
S8	15	0.244	185	232
S9	20	0.226	156	226

۴-۴- انبساط اتوکلاو

در این مرحله به جهت مشخص شدن تاثیرات احتمالی غبار برگشتی در خواص سیمان هیدراته و بخصوص انبساط اتوکلاو، نمونه های آزمایشی با درصد آب تعیین شده از سنجش زمان گیرش را تهیه و پس از گذشت ۲۴ ساعت از تهیه ملات و قالب گیری آنها در اتاق رطوبت، آنها را دستگاه اتوکلاو به مدت سه ساعت تحت دمای ۲۱۵ °C و فشار 2 Mpa قرار دادیم (ASTM C151-64) پس از گذشت زمان مذکور و سرد شدن

نمونه های آزمایشی ، تغییرات طولی آنها دقیقاً اندازه گیری گردید و میزان انبساط آنها بر حسب درصد میلی متر تعیین شدند که نتایج آن در جدول ۴ آمده است .

جدول ۴ همچنین نشاندهنده نتایج حاصل از آزمایش تعیین سطح ویژه نمونه های آزمایشی می باشد که همانگونه که انتظار می رود با افزایش درصد غبار برگشتی به سیمان بلین آن افزایش یافته است .

جدول ۳: نتایج حاصل از انبساط اتوکلاو و سطح ویژه نمونه های آزمایشی

کد نمونه	درصد غبار افزوده شده	سطح ویژه	انبساط اتوکلاو
Control	0	2800	0.080
S1	3	2900	0.090
S2	4	2960	0.097
S3	5	3010	0.099
S4	6	3100	0.100
S5	7	3160	0.102
S6	8	3200	0.104
S7	9	3220	0.105
S8	15	3420	0.110
S9	20	3550	0.120

۵- بررسی نتایج

مطابق آنچه که از آزمایشهای انجام شده در بخش ۴ ملاحظه گردید، نتایج زیر حاصل می شود:

الف - همانگونه که از شکل ۱ استنباط می گردد افزایش درصد غبار برگشتی به سیمان ابتدا سبب افزایش نسبی مقاومت فشاری نمونه ها می گردد . البته این روند با افزایش بیشتر غبار برگشتی دچار تغییر گردیده و سبب افت تدریجی مقاومت نمونه ها خواهد شد. این روند تقریباً در تمامی سنین، نمونه ها ملاحظه می گردد و دلیل آن کاهش جبران ناپذیر فازهای سیمانی (C_3S , C_2S) با افزایش درصد غبار به سیمان می باشد.

ب - مطابق آنچه که در جدول ۳ درج گردیده است افزایش درصد غبار برگشتی روند یکنواختی در کاهش یا افزایش قابل توجه در نسبت آب به سیمان نمونه های مورد آزمایش ایجاد می نماید. هرچند در این خصوص در برخی از منابع افزایش نسبت آب به سیمان ذکر گردیده است ولی خلاف این نظریه نیز در برخی از آزمونها ملاحظه می گردد. تغییرات مربوط به زمان گیرش اولیه نمونه ها با افزایش درصد غبار برگشتی آنها قابل توجه نیست، ولی گیرش نهایی با افزایش درصد غبار برگشتی بعضاً افزایش و در برخی موارد نیز کاهش نشان می دهد. هرچند روند افزایشی در زمان گیرش نهایی پیش بینی می گردید. چرا که افزایش غبار

برگشتی موجب کاهش فازهای سیمانی نمونه‌ها و در نتیجه فرآیند هیدراتاسیون آنها بمنظور ایجاد گیرش را تحت الشعاع قرار می‌دهد.

ج - نتایج نشان داده شده در جدول ۴ از آزمون انبساط اتوکلاو نمونه‌ها نیز نوسان غیر یکنواختی در میزان انبساط نمونه‌ها نشان می‌دهد. در این حالت نیز پیش بینی می‌گردد که افزایش غبار برگشتی موجب افزایش مواد قلیایی نمونه‌ها شده و انبساط قلیایی آنها را بیشتر نماید. هرچند غبار برگشتی به علت دارا بودن مواد نیمه کلسینه شده، حاوی آهک آزاد (و احياناً MgO) بوده و این افزایش، انبساط نمونه‌ها را محتمل می‌نماید. هرچند نتایج واقعی حاصل از آزمون‌ها چنین تغییر زیادی را نشان نمی‌دهد.

د - افزایش درصد غبار برگشتی در نمونه‌ها، موجب افزایش سطح ویژه آنها گردیده است. این موضوع با توجه به ریز دانه بودن غبار برگشتی قابل پیش بینی بوده و جزء محاسن بکارگیری غبار برگشتی به سیمان محسوب می‌شود.

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

بررسیهای انجام شده نشان می‌دهد که افزودن غبار برگشتی کوره‌های پخت سیمان به سیمان ممکن و به‌عنوان روشی ارزان و آسان کاملاً مورد توجه می‌باشد. این روش سبب حفظ منابع مواد اولیه، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از آلودگی محیط زیست می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل از لحاظ مقاومت، بهترین مقدار جهت افزودن غبار برگشتی به سیمان، شرایط Max منحنی شکل ۱ می‌باشد. در این حالت درصد غبار افزوده شده مقدار بهینه اضافه کردن غبار برگشتی به سیمان را نشان می‌دهد. هرچند افزایش جزئی غبار برگشتی، علیرغم افت مقاومت فشاری نمونه‌ها، هنوز در شرایط قابل قبولی می‌باشد. تغییر سایر پارامترهای مهم مورد آزمون در خصوص کیفیت سیمان نیز در حدود قابل قبول بوده و این روش بکارگیری غبار برگشتی را مورد تایید قرار می‌دهد. بنابراین به دلیل مثبت بودن آزمونهای کیفی سیمان حاصل از مخلوط با درصدی از غبار برگشتی و همچنین شرایط آسان استفاده از این نوع غبار در آسیابهای سیمان کارخانجات، به لحاظ اختلاط مناسب و جلوگیری از آلودگی محیط و حفظ منابع، پیشنهاد مناسبی محسوب می‌گردد. علاوه بر آنچه که گذشت این موضوع در استاندارد ENV 197-1 تحت عنوان افزودنیهای ناچیز (تین صفر تا ۵ درصد) در صورت پاس نمودن تستهای مربوطه نیز مجاز شناخته شده است.

مراجع :

[1] Debell, M. " Pollution control of cement plant emission " International cement Review , Environmental Yearbook, 1997

[۲] چهرگانی، حسین ، " کاهش آلودگی محیط زیست غبار در صنعت سیمان " ، ارائه شده به اولین سمپوزیوم

بین المللی مهندسی محیط زیست ، ۱۳۷۹

[3] HOLDERBANK SEMINAR , " Precess Technology , Dedusting " , World Seminar 2000

[4] Tettmar, B. and et al, " Processing of Kiln dust"

[5] Yazeed, S.A. and Hassan, M. S, " A Comparative study on the environmental Pollution by-pass dust " , 8th International Technical Conference on Cement and Building Materials " , Cairo , Egypt

[6] Makrom, M. " Leaching of by-pass dust for recycling " , Z.K.G. , 11/1999

[۷] چهرگانی، حسین ، مهندسی محیط زیست در صنعت سیمان، چاپ شرکت فن آوری صنعتی انرژی، آذرماه

۱۳۸۳

[8] Abo-El-Enein, S. A. and et al, " Hydration characteristics of mixture of by-pass dust and slag " , Z.K.G. , 3/2001, PP: 158-163

[9] Paus, K. and et al, " Removal of alkali component from Quattamia clay and by-pass dust " , Z.K.G. , 8/2001, PP: 466-469

[10] Wirthwein, R. and et al, " Operating experience gained with a fludized-bed gasifier using wast material for lean gas making " , Z.K.G. , 1/2002, PP: 61-99