

ارتباط بلین و درصد عبور از الک به میزان ۸۰٪ در توزیع دانه بندی ذرات سیمان

خلاصه:

در این مقاله راجع به بکارگیری یک رابطه تجربی توضیح داده شده است. به کمک این رابطه میتوان مصرف انرژی الکتریکی در فرآیند خردایش کلینکر، که از عوامل موثر در هزینه های تولید است، را بطور تقریبی محاسبه کرد. مدل پیشنهادی انرژی خردایش ویژه، اندیس کار و سطح مخصوص (بلین) سیمان تولید شده در آسیای گلوله ای را به هم مرتبط می کند.

علاوه بر این، یک مدل پیشنهادی، انرژی خردایش ویژه را بصورت تابعی از اندیس کار و درصد عبوری از الک به میزان ۸۰٪ در مواد خام و محصول تولیدی نشان می دهد. در راستای این مدل پیشنهادی، میتوان یک رابطه تقریبی بین نرمی سیمان (بلین) و درصد عبوری از الک به میزان ۸۰٪ در سیمان تولیدی را بدست آورد.

۱- مقدمه

صنایع سیمان مشابه با دیگر صنایع دارای فرآیند تبدیل کانی ها (مانند آهکپزی، شیشه، سرامیک ها، استخراج فلزات و ...) دارای مصرف انرژی بالایی است. برای تولید هر تن سیمان نه تنها مقدار زیاد سوخت مورد نیاز است (سوخت هایی مانند ذغال سنگ، مازوت و گاز طبیعی) بلکه مقادیر قابل توجهی از انرژی الکتریکی نیز به مصرف می رسد (در حدود ۱۱۰ KW).

در مجموع توانایی سیمان در ترکیب با آب شدیداً تحت تاثیر نرمی (ریز دانگی) آن می باشد. به عبارت دیگر، با فرض ثابت بودن ترکیب شیمیایی، سرعت واکنش سیمان با آب تابعی است از نرمی سیمان و به تبع آن افزایش مقاومت بتن نیز تابعی است از نرمی سیمان پدید آورنده بتن مذکور. البته ذکر این نکته نیز ضروری است که هزینه های تولید و گرمای هیدراتاسیون عوامل بازدارنده افزایش بیش از حد نرمی سیمان هستند. فرآیند تولید سیمان بطور کلی موارد ذیل را شامل می شود:

- خردایش سنگ آهک و دیگر مواد خام، جهت دست یافتن به ترکیبات شیمیایی مناسب، در یک مدار خشک و همچنین رسیدن به درصد عبوری از الک ۹۰ میکرون به میزان ۹۰٪.
 - تولید کلینکر بوسیله واکنش های شیمیایی بین ترکیبات سازنده مواد خام. واکنش های مذکور در دماهای بالا در کوره دوار رخ می دهد.
 - خردایش کلینکر سیمان تا رسیدن به عبوری از الک ۹۰ به میزان ۱۰۰٪ در یک مدار خشک.
 - در حدود ۱،۵ تن مواد خام جهت تولید ۱ تن سیمان مورد نیاز است.
- بر اساس موارد ذکر شده در بالا چه در ابتدا و چه در انتهای فرآیند تولید سیمان مراحل خردایش، در شرایط خشک بودن مواد، وجود دارد و در کل خردایش مواد از اهمیت بسزایی در تولید سیمان برخوردار است. بنا به دلایل زیست محیطی و همچنین کاستن از هزینه های تولید استفاده بهینه از سوخت های جایگزین (تایرهای فرسوده، حلال های مصرف شده، لجن های صنعتی و دیگر مواد مشابه) و سازگار با مدیریت ضایعات، تجارب مشترکی در بیشتر کشورهای اروپایی و همچنین کشورهای توسعه یافته است.

۲- مصرف انرژی در تولید سیمان

مقادیر بدست آمده از مصرف انرژی جهانی برای تولید سیمان [۱-۲] عبارت است از:

(۱) ۲,۱۱ میلیارد تن سیمان تولیدی ضربدر 4 GJ (متوسط مصرف انرژی سوختی برای تولید هر تن سیمان) برابر است با $8,44 \times 10^9 \text{ GJ}$.

(۲) مجموع مصرف انرژی الکتریکی به ازای هر تن سیمان تولیدی (شامل خریدایش اولیه و خریدایش انتهایی، هموژناسیون، پخت و خنک کردن کلینکر، حمل و نقل، بسته بندی و بارگیری و دیگر موارد) 110 KWhr می باشد که با توجه به تولید سالانه سیمان، کل مصرف انرژی الکتریکی برابر با 10^9 KWhr $232,1$ که معادل 10^9 GJ با 835 خواهد بود. راندمان متوسط تبدیل انرژی سوختی به انرژی

الکتریکی 40% است. در این صورت انرژی سوختی مورد نیاز برابر است با $2,088 \times 10^9 \text{ GJ}$.

(۳) کل انرژی مصرفی شامل انرژی های سوختی و الکتریکی برابر خواهد بود با 10^9 GJ $10,32$.

تا سال ۲۰۰۴ میلادی کل مصرف انرژی سالانه برابر 420 کواد BTU معادل با 10^9 GJ $443,1$ بوده است. بنابراین درصد مصرف انرژی در صنایع سیمان $2,33\%$ کل مصرف انرژی جهانی است.

۳- فرآیند خریدایش کلینکر

مصرف انرژی الکتریکی برای تولید هر تن سیمان 110 KWhr می باشد. در حدود 30% از انرژی الکتریکی برای آماده سازی مواد خام (خردایش، پودر کردن و خشک کردن) و در حدود 30% دیگر برای خریدایش و پودر کردن کلینکر و افزودنیها (در مرحله تولید سیمان) بکار می رود. همانطوری که در شکل ۱ مشهود است در مراحل خریدایش و پودر کردن در حدود $56,1\%$ کل انرژی الکتریکی به مصرف می رسد.

در بیشتر سالهای قرن بیستم، سیمان بوسیله آسیای گلوله ای طویل دو خانه ای و همچنین سپراتور بصورت مدار بازودر فرآیند خشک تولید می شد. متأسفانه پیشرفت های خفیفی، تنها در کشورهای توسعه یافته، در فن آوری تولید سیمان حاصل شده است. تقریباً 95% خوراک آسیاهای سیمان، کلینکر و مابقی افزودنی های دیگر است که شامل کمک سایش ها نیز می باشد. در مدار خریدایش کلینکر ابعاد خوراک ورودی از 80% عبوری از الک های بین 20 mm تا 12 mm تا 100% عبوری از الک 90 میکرون در سیمان تولیدی کاهش می یابد. جهت کاهش اندازه مواد، بطور قراردادی از یک آسیای گلوله ای دوخانه ای که طول خانه اول آن کوتاهتر از خانه دوم است، به منظور کاهش زمان اقامت، استفاده می شود.

در خانه اول، کلینکرهایی که از ابعاد درشتی برخوردار هستند بوسیله گلوله های بزرگ (با ابعاد mm $80, 60, 50$) خرد می شوند در صورتیکه در خانه دوم مرحله پودر کردن کلینکر، توسط گلوله های با اندازه کوچکتر از 25 mm به انجام می رسد (البته در آسیاهای مختلف ابعاد گلوله ها می تواند متفاوت با ابعاد داده شده باشد). یک دیافراگم (شکل ۲) که دو خانه را از هم جدا می کند اجازه عبور مواد با اندازه کمتر از حد از پیش مشخص شده ای را می دهد. مواد پودر شده از طریق تیغه های تخلیه کننده (دلیل وجود تیغه ها جلوگیری از تخلیه گلوله ها می باشد) از آسیا خارج می شوند و پس از آن بوسیله سپراتور جدا سازی می شوند. بخش نرمتر، محصول نهایی یا سیمان تولیدی است در حالیکه بخش زبرتر به آسیا باز گردانده می شود. جدا سازی مواد بوسیله دیافراگم میانی آسیا بدون هیچ خطای آشکاری صورت می گیرد و خریدایش مواد در دو خانه بطور موفقیت آمیزی به انجام می رسد. فاز اول کاهش اندازه در خانه اول بوسیله گلوله های درشت و فاز دوم کاهش اندازه در خانه دوم بوسیله گلوله های کوچک صورت می پذیرد. نسبت کاهش اندازه مواد در خانه

اول را معمولا با R1 و نسبت کاهش اندازه مواد در خانه دوم را معمولا با R2 نشان می دهند. نسبت کاهش اندازه نهایی را نیز با R نشان می دهند ($R=R1 * R2$)

۴- نرمی سیمان و اهمیت آن

خواص و کارایی بتن حاصله از سیمان تابع نرمی آن می باشد. نرمی سیمان کاملا تحت تاثیر توزیع دانه بندی ذرات سیمان است که با اندازه گیری سطح مخصوص و با اندیس بلین مشخص می شود. اندیس بلین بوسیله آزمون گذر دهی هوا (به کمک دستگاه اندازه گیر بلین) مشخص می شود و با واحد های cm^2/gr یا m^2/kg شناخته می شود. روش "بلین" نرمی و همچنین تخلخل سیمان را مشخص می کند. سیمان نرمتر (ذرات کوچکتر دارای سطح بیشتری هستند) با سرعت بیشتری با آب واکنش می دهد و در نتیجه از گیرش سریعتر و مقاومت های بالا تری، خصوصا مقاومت های کوتاه مدت، برخوردار خواهد بود.

در صورت مشخص بودن توزیع دانه بندی، عدد بلین با دقت بالایی قابل پیش بینی است [۶-۷] هرچند که مطالعات نشان می دهند که اگر چه سطح مخصوص دو نوع سیمان ممکن است یکسان باشد ولی توزیع دانه بندی آنها می تواند به نحو چشمگیری متفاوت باشد (شکل ۳).

صنعت سیمان برای سال های بسیاری کنترل نرمی سیمان را به عنوان پارامتر اصلی برای کنترل فرآیند نهایی پودر کردن سیمان پذیرفته بود. در هر صورت ذکر این نکته ضروری است که سیمان هایی با ترکیبات شیمیایی و سطح مخصوص یکسان می توانند دارای عملکرد های متفاوتی، بویژه در مقاومت های کوتاه مدت و استحکام طبیعی (کارپذیری) باشند. تحقیقات گسترده تر نشان می دهند که ذرات بسیار ریز سیمان (با قطر کمتر از ۳ میکرون) بر کار پذیری و خمش واز هم پاشیدگی بتن تاثیری محسوس ولی بر استحکام فشاری بتن تاثیر اندکی دارد. ذرات سیمان با قطر بیش از ۳۲ میکرون نیز بزرگتر از آن هستند که در مدت زمان واکنش هیدراتاسیون کاملا هیدراته شوند. بنا بر این می توان نتیجه گرفت که محدوده بهینه برای اندازه ذرات سیمان بین ۳ تا ۳۲ میکرون است [۸]. در شکل ۴ توزیع دانه بندی سیمان با بلین $3587 cm/gr$ نشان داده شده است. این توزیع دانه بندی نشان می دهد که اندازه ذرات عبوری از الک ۳۰ میکرون ۸۰٪ ($d_{80}=30$)، و همچنین درصد ذرات کوچکتر از ۳ میکرون ۱۵٪ می باشد.

۵- توسعه مدل های تجربی

(۱) کاملا مشخص است که مصرف انرژی الکتریکی در خردایش نهایی کلینکر برای تولید سیمان بستگی دارد به [9-10]:

- اندازه دانه های کلینکر در خوراک
- ساختارهای مکانیکی کلینکر (سختی، اندیس کار، وزن حجمی)
- توزیع دانه بندی ذرات (PSD) سیمان که متناسب است با سطح ویژه (بلین) آن.
- ابعاد آسیا (طول، قطر، نسبت طول به قطر)
- شرایط عملیاتی آسیا (ضریب پر بودن آسیا F I، سرعت بحرانی آسیا Fc، درصد پر بودن آسیا از گلوله).

در بسیاری از موارد، برای پیش بینی مصرف انرژی الکتریکی و هزینه های تولید، مصرف انرژی الکتریکی ویژه (تن کلینکر /KWhr) باید مشخص باشد. بنا براین، آنالیز رگرسیون های خطی چند گانه که داده های مورد نیاز آن را از تولیدات آسیا بدست می آورند [11-12] به مدل های تجربی ذیل منتج می گردد:

$$E=10 \cdot 0.000174 \cdot F_{bl} + 0.035 \cdot w_i + 0.4714 \quad (1)$$

در این معادله، E انرژی خریداریش ویژه (تن سیمان /KWhr)، F_{BL} بلین سیمان با واحد cm^2/gr و w_i

اندیس کار کلینکر (تن انگلیسی کلینکر /KWhr) است. ضریب تبدیل تن انگلیسی (۱ تن انگلیسی = ۰,۹۰۷ تن

متریک) در معادله بالا اعمال شده است. معادله ۱ بر روی کاغذ شبه لگاریتمی برای مقادیر متفاوت اندیس کار

w_i (تن انگلیسی کلینکر /KWhr و ۱۸، ۱۴، ۱۶ و ۱۲) و مصرف انرژی الکتریکی ویژه بدست آمده از آن (E)

در شکل ۵ ترسیم شده است.

(۲) همچنین مصرف انرژی الکتریکی ویژه E [14] به توسط این معادله قابل محاسبه است:

$$E=23.7 \cdot w_i \cdot R$$

$$0.193 \cdot d_{80} - 0.769 \quad (2)$$

شرایط w_i مانند معادله قبلی است.

R مساوی است با نسبت Df به d_{80} که نسبت کاهش ذرات است.

Df اندازه ذرات در خوراک ورودی با واحد میکرون (۸۰٪ عبوری از یک الک مشخص)

d_{80} اندازه ذرات در محصول با واحد میکرون (۸۰٪ عبوری از یک الک مشخص)

جایگزینی R بجای d_{80} / Df در معادله (۲) منتج می شود به معادله ذیل:

$$E=23.7 \cdot w_i \cdot Df$$

$$0.193 \cdot d_{80} - 0.962 \quad (3)$$

با فرض دو خانه ای بودن آسیا (شکل ۲) معادله (۳) بصورت ذیل در می آید:

$$E=E_1+E_2 \quad (4)$$

E1 انرژی مورد نیاز برای اولین مرحله خردایش (نسبت کاهش اندازه R1) و E2 انرژی مورد نیاز برای دومین مرحله خردایش (نسبت کاهش اندازه R2).

شکل ۶ توزیع توان الکتریکی تقریبی در خردایش کلینکر در آسیاها را بطور قراردادی (خردایش خشک در آسیاهای گلوله ای). با نگاهی دوباره به شکل ۲

افت انرژی ذکر شده در بالا که در حدود ۱۳٪ تخمین زده می شود (۴,۵+۸,۵) و در شکل ۶ نموده شده است به حساب مصرف انرژی الکتریکی گذاشته می شود که بیشتر در خانه دوم به مصرف می رسد. به هر صورت ، با در نظر گرفتن مفروضات بالا ، می توانیم E1 را بصورت زیر محاسبه کنیم :

$$E1=23.7*wi*Df 0.193 *din -0.962 \quad (5)$$

و همچنین E2 را :

$$E2=0.87*23.7*wi*din 0.193 *d80 -0.982 \quad (6)$$

به هر حال ، کل مصرف انرژی الکتریکی برای کاستن از ابعاد ذرات در مراحل خردایش کلینکر در هر دو خانه آسیا بشرح زیر قابل محاسبه است :

$$E=23.7*wi*Df 0.193 *din -0.962 +.87*23.7*wi*din 0.193 *d80 -0.962 \quad (7)$$

۶- پیش بینی مشخصه اندازه d80 سیمان تولیدی از مقدار بلین

(۱) مقدار بلین سیمان که در شکل ۴ نموده شده است برابر است با $(Fbi) 3587 \text{ cm/gr}$.

با فرض یک اندیس کار قابل قبول برای کلینکر (تن انگلیسی $wi= 14.5 \text{ KWhr/}$) و گذاشتن آن در معادله (۱) مقدار E برابر با تن $40,09 \text{ KWhr/}$ خواهد بود.

همچنین با در نظر گرفتن $Df=16\text{mm}=16000\text{micron}$ (80% عبوری از الک) و مشاهده شکل ۴ که در آن d80 تقریباً برابر است با ۳۰ میکرون، نسبت نهایی کاهش اندازه مساوی است

$$R=16000/30=533.33 \quad \text{با:}$$

به عنوان یک نتیجه گیری کلی ، حل معادله (۳) برای d80 منتج می شود به :

$$d80 = ((23.7*14.5*533.33 0.193) /40.09) 1/0.769 = 79.03 \text{ micron}$$

محاسبات بالا مقدار d80 را بسیار متفاوت از آنچه که در شکل ۴ آمده است نشان می دهد.

(۳) بر خلاف آن، با در نظر گرفتن یک نسبت کاهش اندازه فرضی مانند $R1=15$ برای اولین مرحله خردایش ($din=16000/15=1066.67 \text{ micron}$) و قرار دادن آن در معادله (۷) و با احتساب $wi=14.5 \text{ KWhr/تن}$

$$E=40.09 \text{ و } Df=16000 \text{ micron و } din=1066.67 \text{ micron}$$

منتج خواهد شد به $d80 = 35.18 \text{ micron}$.

مقدار بدست آمده به میزان قابل قبولی به 30 micron بدست آمده از روی شکل ۴ نزدیک است. بنابراین

$$R=16000/35.18=454.82 \quad \text{نسبت کاهش اندازه نهایی برابر است با}$$

$$R2=1066.67/35.18=30.3 \quad \text{و نسبت کاهش خانه دوم برابر است با}$$

با توجه به اندازه های بزرگ دانه های خوراک ورودی و همچنین کوتاه تر بودن طول خانه اول نسبت به خانه دوم ، کمتر بودن مقدار R1 در مقایسه با R2

(۴) بکار گرفتن رویه مشابهی برای سیمین های متفاوت در شکل ۷ نشان داده شده است. مقادیر متناظر d80 محاسبه شده و در جدول ۱ آورده شده اند.

از نتایج نشان داده شده در جدول ۱ چنین بر می آید که روش های ارایه شده به اندازه کافی برای پیش بینی مقادیر d80 بر اساس نرمی سیمان های متفاوت قابل قبول می باشد. در شرایطی که نسبت کاهش اندازه اختیاری انتخاب شود ، خطای چشمگیری حاصل نخواهد شد. مقادیر مذکور بر حقایقی که قبلا بیان شده اند مهر تایید میزنند به این صورت که سیمان هایی با نرمی یکسان می توانند توزیع دانه بندی کاملا متفاوتی داشته باشند.

۷) نتیجه گیری

کلیه روش های آورده شده در این گزارش ، امکان مرتبط کردن نرمی سیمان تولیدی با d80 را دارا می باشند. مقادیر محاسبه شده d80 که در این گزارش نمایانده شده اند ، مبین این حقیقت هستند که سیمان هایی با نرمی یکسان می توانند دارای توزیع دانه بندی های کاملا متفاوتی باشند ، هر چند که برای مثال های آورده شده در این گزارش ، مقادیر پیش بینی شده d80 با آنچه که از توزیع دانه بندی ها بدست آمده اند تفاوت بسیار زیادی ندارند.

کار های انجام شده نشان می دهند که معادله پیشنهادی با موفقیت قابل قبولی مصرف انرژی الکتریکی در فرآیند خردایش کلینکر را بدست می دهد. شناخت این روش ها بخوبی به پیش بینی انرژی خردایش ویژه و تعیین هزینه خردایش کمک می کند. در مجموع ، این معادلات در خدمت مدل سازی فرآیند تولید سیمان بطور موفقیت آمیزی عمل کرده و همچنین به پیش بینی نمای کلی جهت تولید سیمان کمک می کنند.

تشکر به خاطر کمک ها

مولفان این گزارش بطور جدی مدیون پروفسور E.Mitsoulis و پروفسور A.Frangiskos ، به دلیل بحث ها و پیشنهادات بسیار مفیدی که ارایه داده اند ، می باشند .

گردآورنده: جناب آقای مهندس توپچی

کارشناس تحقیقات شرکت سیمان سپاهان