

راهکارهای عملیاتی برای کاهش انرژی مصرفی و قیمت تمام شده سیمان

- مهندس معصوم جنت
- شرکت سیمان ارومیه

مقدمه

صنعت سیمان جزو صنایع پرمصرف انرژی الکتریکی و فسیلی بوده و با توجه به رشد صنعت سیمان ایران در حال حاضر و برآورد رشد سریع آن در سال‌های آتی، مصارف انرژی در این صنعت روز به روز بیشتر می‌شود و با ملاحظه حذف تدریجی یارانه‌های انرژی، شایسته است رویکردهای اساسی در این صنعت مورد توجه اکید قرار گیرد.

رویکرد اول - گرایش به سمت تولید سیمان‌های مخلوط در راستای:

- کاهش انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی سیمان تولیدی
- افزایش تولید سیمان متناسب با درصد ماده افزودنی
- قیمت پایین مواد افزودنی در مقایسه با کلینکر
- عملکرد بهتر سیمان‌های مخلوط در اکثر موارد در مقایسه با

سیمان پرتلند خالص

- کاهش اثرات تخریبی زیست محیطی

هر کدام از موارد فوق بطور خلاصه توضیح داده می‌شود

● کاهش انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی سیمان تولیدی

در تولید سیمان‌های مخلوط، انرژی کمتری در مقایسه با سیمان پرتلند خالص مصرف می‌شود. بطوریکه هر چقدر درصد ماده افزودنی بیشتر باشد متناسب با آن انرژی مصرفی نیز کمتر خواهد شد. نمودار تغییرات انرژی مصرفی برای انواع سیمان‌ها در پیوست در نمودار آورده شده است.

در تولید سیمان‌های پوزولانی می‌توان از کلینکر با آهک آزاد نسبتاً بالا استفاده کرد. بالا بودن نسبی آهک آزاد در کلینکر بشرطی

که منجر به ایجاد انبساط در سیمان تولیدی نشود از نظر کاهش مقدار سوخت در کوره و افزایش سایز پذیری حائز اهمیت است.

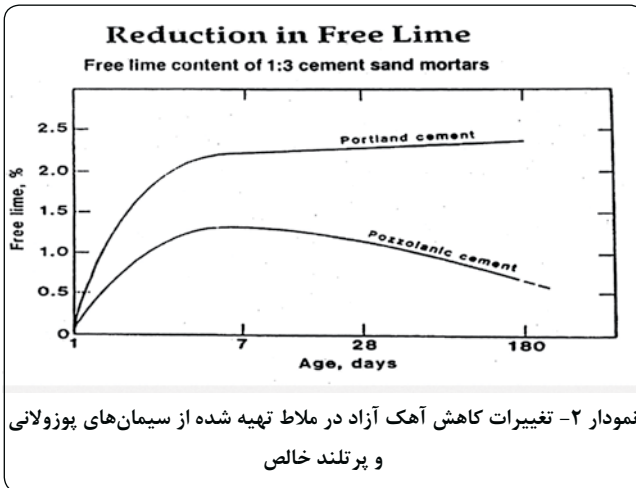
با توجه به بررسی موردی انجام شده در شرکت سیمان ارومیه افزایش مقدار آهک آزاد کلینکر تا ۲/۲ درصد هیچ گونه تأثیر منفی در آزمایش اتوکلاو (انبساط طولی) سیمان پوزولانی تولیدی نداشته در حالی که در مقادیر آهک آزاد ۱/۶ قالب اتوکلاو سیمان تیپ یک کاملاً از هم پاشیده بود.

هر ۰/۲ درصد افزایش آهک آزاد کلینکر، منجر به کاهش ۲۸ کیلو کالری بر کیلوگرم کلینکر و کاهش یک درصد توان مصرفی برق در آسیاب سیمان خواهد شد.

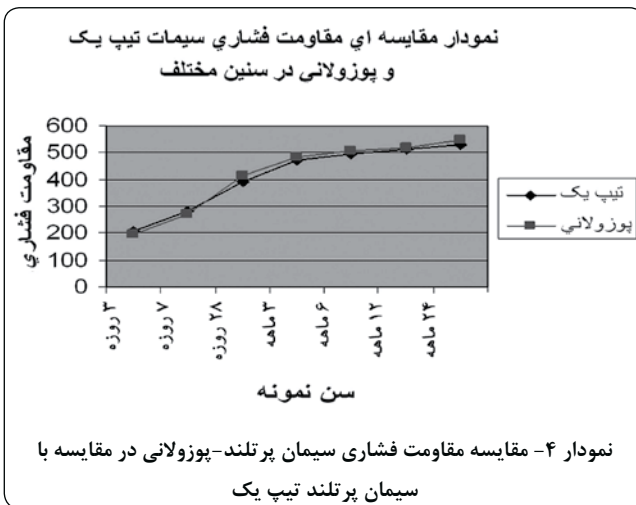
در بتن تهیه شده از سیمان پوزولانی، بواسطه واکنش سیلیس موجود در پوزولان با آهک آزاد سیمان، ژل سیلیکات کلسیم هیدراته ثانوی تشکیل می‌شود که عمل فوق باعث کاهش اثرات تخریبی انبساط آهک آزاد سیمان می‌شود. نمودار ۲ تغییرات کاهش آهک آزاد در ملاط تهیه شده از سیمان‌های پوزولانی و پرتلند خالص را نشان می‌دهد.

● افزایش تولید سیمان متناسب با درصد ماده افزودنی

معادل درصد مواد افزودنی به کلینکر، افزایش تولید در سیمان رخ می‌دهد. اگر ماده افزودنی راحت تر از کلینکر ساییده شود علاوه بر افزایش تولید سیمان، شاهد افزایش راندمان آسیاب سیمان و کاهش انرژی مصرفی نیز خواهیم شد. در سیمان ارومیه افزایش پوزولان طبیعی به مقدار ۱۵ درصد به کلینکر حدود ۵۰ درصد راندمان آسیاب سیمان را افزایش داده است. (نمودار ۳)



نمودار ۲- تغییرات کاهش آهک آزاد در ملات تهیه شده از سیمان‌های پوزولانی و پرتلند خالص



نمودار ۴- مقایسه مقاومت فشاری سیمان پرتلند-پوزولانی در مقایسه با سیمان پرتلند تیپ یک

سیمان پرتلند پوزولانی در مقایسه با سیمان پرتلند خالص مربوط به شرکت سیمان ارومیه در نمودار ۴ آورده شده است. همانطورکه ملاحظه می‌گردد مقاومت طولانی مدت سیمان‌های پوزولانی فراتر از سیمان پرتلند خالص می‌باشد. ارتقاء کیفیت سیمان‌های پوزولانی از طریق بالا بردن کیفیت پوزولان مصرفی، بهبود سایش سیمان پوزولانی، استفاده از مواد افزودنی شیمیایی در جهت پایین آوردن مقدار آب مورد نیاز بتن تهیه شده از آن و... امکانپذیر است. در میانگذر دریاچه ارومیه از سیمان پرتلند پوزولانی شرکت سیمان ارومیه استفاده شده است. با انجام اقداماتی روی فرآیند تهیه بتن توسط شرکت صدرا، مقاومت فشاری بتن تقریباً دو برابر شده است بطوریکه مقاومت فشاری ۷ روزه سیمان پوزولانی استفاده شده از حوالی 270 kg/cm^2 به 500 kg/cm^2 در بتن رسانده شده است.

● کاهش اثرات تخریبی زیست محیطی

☐ با توجه به محاسبات صورت گرفته در فرآیند تولید سیمان بطور تقریبی برای تولید هر تن سیمان یک تن نیز گاز CO_2 متصاعد می‌شود. از این مقدار گاز CO_2 حدود ۰/۵۵ تن آن ناشی

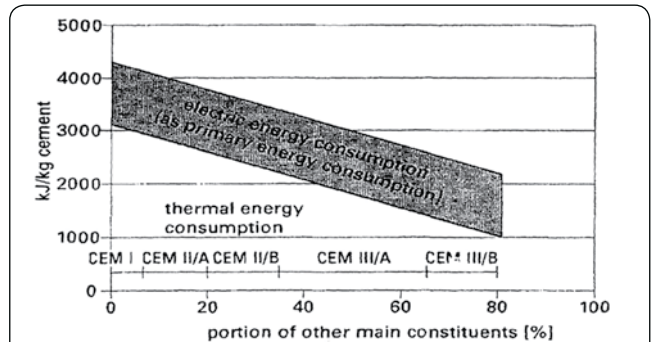
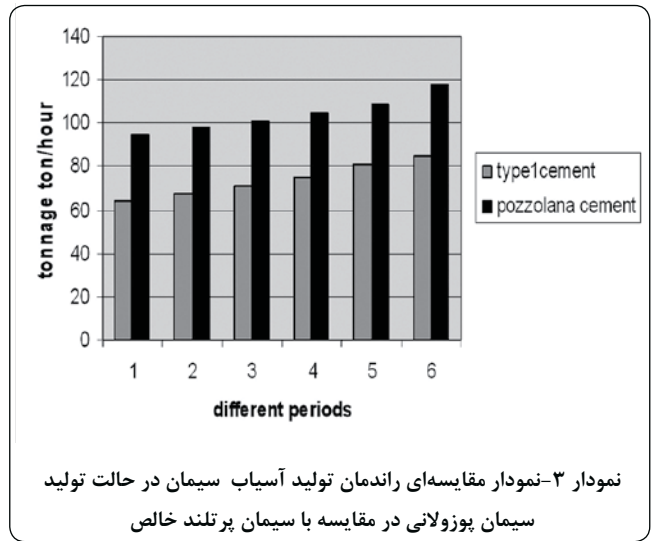


Fig. 7: Primary energy consumption of blended cements

نمودار ۱- کاهش انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی سیمان‌های مخلوط در مقایسه با سیمان تیپ یک تولیدی (تقسیم‌بندی سیمان‌ها بر اساس استاندارد اروپا می‌باشد)



نمودار ۳- نمودار مقایسه‌ای راندمان تولید آسیاب سیمان در حالت تولید سیمان پوزولانی در مقایسه با سیمان پرتلند خالص

● قیمت پایین مواد افزودنی در مقایسه با کلینکر

گرانبهارترین مواد در سیمان معمولاً کلینکر است بنابراین به حداقل رساندن مقدار کلینکر در سیمان، بهترین روش در کاهش هزینه تولید می‌باشد که بجای آن ترکیبات مینرالی با کیفیت و قیمت‌های مناسب جایگزین آن می‌شود. روش اصولی برای کاهش عامل کلینکر در سیمان استفاده از کلینکر و ماده افزودنی با کیفیت بالا و تنظیم نرمی و توزیع دانه‌بندی سیمان و ترکیبات آن می‌باشد.

● عملکرد بهتر سیمان‌های مخلوط در اکثر موارد در مقایسه

با سیمان پرتلند خالص

☐ بتن باید بتواند شرایط محیطی را تحمل نماید و در طول سالیان معین گسیخته نشود. به چنین بتنی نام بتن بادوام اطلاق می‌شود که سیمان‌های پوزولانی چنین خواصی را به شرح زیر در بتن ایجاد می‌نمایند:
بهبود مقاومت در برابر سولفات و مواد خوردنده دیگر، کاهش نفوذ پذیری، افزایش مقاومت طولانی مدت، کاهش واکنش قلیایی-سنگدانه، پایین آوردن گرمای هیدراتاسیون و...
جهت استحضار نمودار مقاومت فشاری کوتاه مدت و دراز مدت

از کلسیناسیون مواد خام می‌باشد. با تولید سیمان‌های مخلوط با توجه به این که از سهم کلینکر کاسته شده و به جای آن مواد افزودنی جایگزین می‌گردد لذا متناسب با کاهش سهم کلینکر در سیمان مخلوط تولیدی از تصاعد گاز CO₂ نیز کاسته می‌شود.

● روند تولید سیمان‌های مخلوط

در دنیا بیشتر از ۵۰ درصد سیمان تولیدی سیمان‌های مخلوط می‌باشد. در آلمان میانگین درصد مواد افزودنی به کلینکر بیشتر از ۲۰ درصد می‌باشد. در ایران در سال ۱۳۸۶ متوسط درصد مواد افزودنی در سیمان‌های پوزولانی حدود ۱۲ درصد بوده است. در سال جاری به علت وجود مازاد افزایش تولید، درصد افزایش پوزولان به شدت در حال کاهش می‌باشد.

با توجه به ساخت کارخانجات جدید سیمان در ایران و افزایش تولید سیمان، بیشتر کارخانجات سیمان مواد افزودنی به کلینکر را قطع نموده و یا کاهش داده‌اند. حال این سؤال مطرح می‌شود که اگر سیمان ایران به دنبال افزایش تولید با نگرش کاهش قیمت تمام شده سیمان، کاهش انرژی مصرفی، کاهش موارد زیست محیطی، بهبود دوام بتن و... می‌باشد، می‌بایستی جواب سوالات زیر را بررسی کرده و بر اساس آن برنامه‌ریزی‌های لازم را در این زمینه انجام دهد:

■ اینکه چرا تولید و مصرف سیمان‌های مخلوط روز به روز در دنیا در حال گسترش بوده ولی ما برنامه‌ریزی مشخصی برای تولید این نوع سیمان‌ها نداریم؟

■ چرا با وجود مزایای ویژه و خواص مطلوب سیمان‌های پوزولانی، این سیمان‌ها دارای پذیرش کافی از طرف مشتریان نمی‌باشد؟

■ چرا از طریق نظارت و همکاری دولت با تشکیل کارگروه‌های تخصصی متشکل از نمایندگان واحدهای تولیدی و مصرف‌کنندگان سیمان، دلائل عدم پذیرش سیمان‌های مخلوط در بین مصرف‌کنندگان مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است؟

■ چرا دولت ظرفیت اولویت افزایش تولید سیمان را به جای ساخت کارخانجات جدید سیمان از طریق افزودنی‌ها و گسترش تولید سیمان‌های مخلوط در برنامه کاری خود قرار نداده است؟

رویکرد اول: فرهنگ سازی مصرف درست انواع سیمان‌ها

بالاخص سیمان‌های مخلوط

در حال حاضر اکثر سیمان‌های تولیدی در سطح کشور متناسب با مشخصات خود مصرف نمی‌شود.

همانطور که قبلاً نیز اعلام شد با توجه به ویژگی‌ها و خواص مطلوبی که در سیمان‌های مخلوط نسبت به سیمان‌های پرتلند خالص وجود دارد با ارتقاء کیفیت سیمان‌های فوق می‌توان در اکثر موارد آن را جایگزین سیمان پرتلند خالص تیپ یک کرد (در کشورهای اروپایی بیشتر از نصف سیمان تولیدی در رده ۴۲۵-۱ سیمان‌های مخلوط می‌باشد).

در سایر موارد سیمان پرتلند پوزولانی را به جای سیمان تیپ دو (ASTM) و سیمان پرتلند پوزولانی ویژه را به جای سیمان تیپ پنج (ASTM) استفاده کرد و همین‌طور سیمان‌های پرتلند آهکی و سیمان بنایی را با قیمت‌های مناسب در ساختمان‌های معمولی استفاده کرد.

رویکرد دوم: ایجاد سیستم بهره‌وری پویا در کارخانجات سیمان

در این راستا تمرکز اصلی بر افزایش بهره‌وری در نیروی انسانی صورت می‌گیرد تا بوسیله آنها بتوان هزینه‌های تولید (نظیر کاهش انرژی مصرفی، کاهش سوخت مصرفی، استفاده از مواد اولیه با قیمت پایین، استفاده بهینه از دستگاه‌ها و تجهیزات خط تولید، استفاده مطلوب از تمامی روش‌های کاری و تجهیزاتی که پرسنل با آن سروکار دارند و...) را کاهش داده و سودآوری کارخانجات را افزایش داد. متأسفانه در ایران به این موضوع اهمیت چندانی داده نمی‌شود.

رویکرد سوم: مصارف و کاربردهای جدید برای سیمان

با توجه به روند افزایش تولید سیمان بایستی کاربردهای جدیدی برای این محصول پیدا شود یکی از موارد اصلی کاربرد جدید سیمان می‌تواند در زمینه آسفالت باشد. به طوریکه در اکثر موارد می‌توان به جای آسفالت از بتن استفاده کرد راه‌سازی با استفاده از بتن علاوه بر اینکه حدود بیست درصد هزینه تمام شده آن را نسبت به آسفالت کاهش می‌دهد باعث افزایش دو برابری دوام آن نیز می‌شود.

در این حالت نیز استفاده از سیمان پوزولانی در جاده سازی به خاطر ویژگی‌های خاص آن (مقاومت در برابر سولفات، مقاومت در برابر حالت ذوب-یخ شدن و...) بر سیمان پرتلند خالص اولویت دارد.

بالقوه بتن مطرح نمود بیشمار بوده و بررسی این اشکالات و ارائه راه حل لازم نیز امری تخصصی و دشوار محسوب می‌گردد. توجه بیشتر به عمل آوری و نگهداری بتن تهیه شده از سیمان‌های پوزولانی نسبت به سیمان‌های معمولی عمل هیدراتاسیون سیمان‌های پوزولانی نسبت به سیمان‌های معمولی زمان بیشتری را می‌طلبد به همین جهت بایستی حساسیت بیشتری نسبت عمل آوری و مراقبت بتن تهیه شده از سیمان پوزولانی صورت گیرد. بر طبق آزمایشات انجام شده در شرکت سیمان ارومیه، مقاومت فشاری بتن نگهداری شده از سیمان پوزولانی در محیط داخل آب نسبت به محیط بیرون از آب اختلاف چشمگیری داشته است در حالیکه این اختلاف در سیمان معمولی خیلی کمتر می‌باشد. (نمودار ۵)

پیشنهادات و نتیجه گیری

■ با هماهنگی وزارت صنایع، انجمن صنفی کارفرمایان صنعت سیمان و نمایندگان مصرف کنندگان سیمان، کمیته‌های تخصصی لازم برای مطالعه و بررسی تولید سیمان‌های مخلوط با کیفیت مطلوب در دستور کار قرار گیرد.

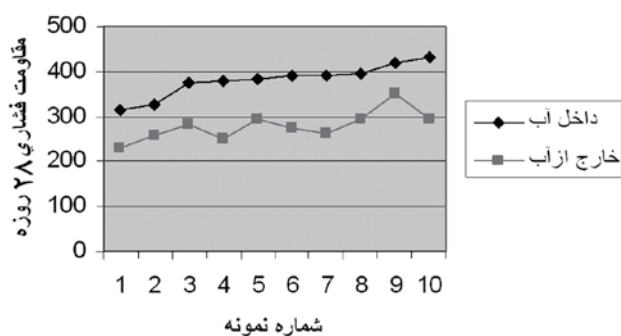
■ متخصصین صنعت عمران کشور و مصرف کنندگان عمده سیمان با خواص، ویژگی‌ها و عمل آوری سیمان‌های مخلوط بالاخص سیمان‌های پوزولانی شناخت لازم را کسب نمایند. (متأسفانه اکثر متخصصین صنعت ساختمان کشور، آشنایی کافی با این نوع سیمان‌ها نداشته و بعضاً پوزولان را نوعی خاک دانسته و سیمان پوزولانی را سیمان تحمیلی می‌دانند).

■ در پروژه‌های جدید سیمانی که هنوز نسبت به ساخت دستگاه‌های خط تولید خود اقدام نکرده‌اند. در آنها فقط قسمت آسیاب سیمان نصب گردد این واحدها با خرید کلینکر از بازار امکان تولید انواع سیمان‌ها بالاخص سیمان‌های مخلوط را خواهند داشت.

■ در جهت ایجاد انگیزه بیشتر برای مصرف سیمان‌های پوزولانی، قیمت فروش آن در مقایسه با سیمان تیپ یک تعدیل شود.

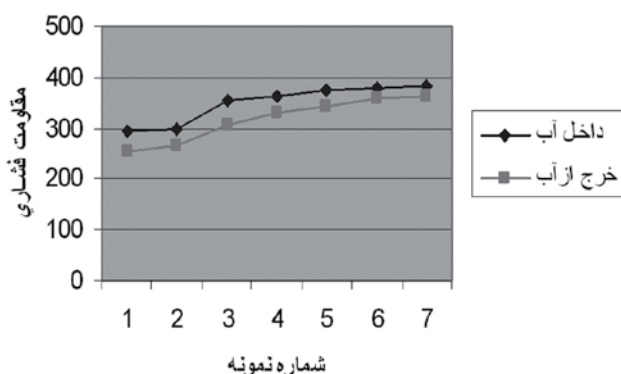
■ به مسائل تحقیقاتی و آموزشی کارخانجات سیمان توجه ویژه شده و از راهکارهای لازم برای افزایش بهره‌وری نیروی انسانی استفاده شود.

مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن سیمان پوزولانی در دو شرایط مختلف



نمودار ۵- مقایسه مقاومت فشاری بتن سیمان پرتلند- پوزولانی در شرایط مختلف نگهداری

مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن سیمان تیپ یک در دو شرایط مختلف نگهداری



نمودار ۶- مقایسه مقاومت فشاری بتن سیمان پرتلند تیپ یک در شرایط مختلف نگهداری

رویکرد چهارم: ارتقاء کیفیت بتن

طراحی مخلوط بتن و طرز تهیه صحیح آنها، مبحث وسیع و پیچیده‌ای است که تولید کنندگان سیمان ارتباط و دخالت مستقیم در آن ندارند.

مسئله اگر تهیه و ساخت بتن با دانش فنی کافی صورت گیرد علاوه بر آنکه کیفیت و دوام آن به حد قابل ملاحظه‌ای بالاتر خواهد بود، قیمت تمام شده آن نیز به مراتب پایین‌تر بوده و از سیمان کمتری در بتن می‌توان استفاده کرد. در تهیه بتن متأسفانه همیشه کیفیت سیمان (غالباً به اشتباه) مورد انتقاد و سوء ظن قرار می‌گیرد. در حالیکه تعداد مسائل و عیوبی که می‌توان آنها را بعنوان مشکلات