

تخریب خلاقانه هرچند ریسک‌های بزرگی را به همراه دارد، ولی سودهای کلانی را نیز رقم می‌زند.

جوزف شومپیتر

استفاده از بهبود دهنده‌های آلی:
راهبردی مناسب برای
توسعه مصرف سیمان‌های آمیخته در بتن
و
بهبود مصرف انرژی

شرکت پارس‌مان شیمی

(۱) پیشگفتار

نزدیک به سه دهه از تدوین اولین استانداردهای تولیدی سیمان آمیخته در کشور می‌گذرد. در طی این دوره سمینارهای متعددی برای ترویج فرهنگ مصرف این سیمان‌ها در کشور برگزار شده است که غالب مدعوین آن از تولیدکنندگان و مصرف کنندگان بتن آماده بوده‌اند.

در این سمینارها مباحث متعددی در خصوص مزایای این سیمان‌ها در بهبود دوام، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، حفظ و صیانت از معادن و بالاخره کاربری‌های ویژه و منحصر بفرد این سیمان‌ها مدنظر مخاطبین قرار گرفته است. با این وجود هنوز هم این بخش از مصرف کنندگان، اقبالی برای مصرف این سیمان‌ها در بتن نشان نمی‌دهند.

رونق استفاده از این سیمان‌ها در مصارف کیسه‌ای نیز منوط به شرایط خاص زمانی بازار و کمبود عرضه و تقاضای بالای سیمان است. هر چند در برخی از کارخانجات سیمان، تولید سیمان‌های آمیخته در قالب کیسه‌ای از تداوم بیشتری برخوردار است، اما تعداد این کارخانجات نیز آنچنان زیاد نیست.

تجربه نشان می‌دهد که طرح مواردی همچون بهینه‌سازی مصرف انرژی، دوام بتن، کاهش آلاینده‌های زیست محیطی، هیچگونه انگیزه‌ای را برای مصرف مشتریان (اعم از بتنی - بنائی) به عمل نمی‌آورد. اگرچه در حوزه پروژه‌های عمرانی نظیر سدسازی‌ها، به دلایل خاص، استفاده از سیمان‌های آمیخته بعضاً مورد استقبال واقع می‌شود.

در این مقاله، ما در ابتدا به ذکر چالش‌های موجود در مسیر تولید و مصرف سیمان‌های آمیخته در کشور پرداخته و در ادامه به نقش بهبود دهنده‌های آلی (کمک سایش‌های کمی و کیفی) در برطرف سازی برخی از این چالش‌ها خواهیم پرداخت.

(۲) مقدمه:

صنعت سیمان یکی از پرمصرف کننده ترین صنایع در مصرف انرژی (اعم از فسیلی و الکتریکی) است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این صنعت در رتبه دوم و یا سوم مصرف انرژی در کشور بعد از فولاد و پتروشیمی است. هم اکنون محدودیت در عرضه انرژی به صنایع مختلف (از جمله صنعت سیمان) و نیز افزایش قیمت آن به عنوان دو نمونه از چالش‌های مهم این صنعت شناخته می‌شود. چنین به نظر می‌رسد که سهم هزینه انرژی در بهای تمام شده سیمان نیز نسبت به گذشته روند رو به رشدی را داشته است. لذا موضوع تولید سیمان‌های آمیخته به عنوان یکی از راهبردهای مهم کاهش یا برون رفت از این معضل شناخته می‌شود. با این وجود، موضوعات ذیل مانع از اتخاذ استراتژی تولید سیمان‌های آمیخته در ملات و بتن از سوی کارخانجات سیمان و استقبال خرید آن از سوی مشتریان می‌شود:

- (۱) افت مقاومت سنین زودرس ملات و بتن، بویژه از سوی مشتریان سیمان بر و پروژه‌های عمرانی
- (۲) افزایش مازاد ظرفیت تولید کلینکر نسبت به تقاضای سیمان
- (۳) عدم محاسبات دقیق مالی برای ارزیابی سودآوری واقعی کاهش کلینکر فاکتور
- (۴) عدم توجیه مالی کارخانجات سیمان برای کاهش عرضه با قیمت پائین تر سیمان‌های آمیخته نسبت به سیمان تیپ
- (۵) احتمال بروز نوسانات کیفی بیشتر سیمان‌های آمیخته در بتن
- (۶) عدم توجه به رویکرد تست‌های بتنی بر روی این سیمان‌ها از سوی تولید کنندگان سیمان
- (۷) انتظار غیر معقولانه از نتایج کارکرد سیمان در بتن از سوی مشتریان بتنی

(۳) بررسی چالش‌های موجود برای تولید و مصرف سیمان‌های آمیخته:

۱-۳) افزایش مازاد ظرفیت تولید کلینکر نسبت به تقاضای سیمان

برآوردها نشان می‌دهد که در حال حاضر پتانسیل ظرفیت تولید کلینکر در کارخانجات سیمان کشور حدود ۲۰ میلیون تن بیشتر از تقاضای سیمان تیپ است. لذا شاید چنین به نظر رسد که تولید سیمان‌های آمیخته در این برهه هیچگونه توجیهی برای کارخانجات سیمان نداشته باشد. اما به دلایل ذیل کماکان تولید این سیمان‌ها توجیه پذیر است.

■ کاهش قیمت تمام شده سیمان :

در حال حاضر قیمت تمام شده سیمان با توجه به افزایش هزینه‌های مربوطه نظیر تعمیر و نگهداری تجهیزات، نوسازی، نیروی انسانی، انرژی، مواد اولیه و استخراج و... بسیار بالا رفته است. در نتیجه کارخانجات سیمان برای دستیابی به حاشیه سود مناسب، مجبور به عرضه قیمت بالاتر سیمان در بورس کالا می‌باشند. اما از یک سو محدودیت‌های اعمالی از سوی شورای رقابت و از طرف دیگر کاهش تقاضای سیمان به دلیل توقف بسیاری از پروژه‌های عمرانی و نیز کاهش ساخت و ساز در فصول سرد سال زمینه افزایش قیمت سیمان را فراهم نمی‌سازد.

لذا کارخانجات سیمان مجبور به کاهش قیمت تمام شده سیمان در راستای دستیابی به افزایش سود بیشتر می‌باشند.

■ محدودیت تولید به رغم توانایی کارخانجات سیمان:

کارخانجات سیمانی در فصل سرد سال به علت محدودیت گاز و در فصل گرم سال به دلیل محدودیت برق، لاجرم مجبور به توقف کوره خود بوده و حتی با پتانسیل بالای تولید کلینکر، عملاً قادر به تولید حداکثری خود نیستند.

■ صادرات کلینکر:

تولید سیمان‌های آمیخته می‌تواند فرصت لازم را برای صادرات بیشتر کلینکر فراهم سازد.

۲-۳) عدم توجیه مالی کارخانجات سیمان برای کاهش عرضه با قیمت پائین تر سیمان‌های آمیخته نسبت به سیمان تیپ:

اگرچه عرضه سیمان‌های آمیخته با قیمت پائین تر سیمان، یک عامل انگیزشی قوی برای مشتریان قلمداد می‌شود، لکن صرفنظر از تامین نیاز کیفی مشتریان از طریق این سیمان‌ها تجربه نشان می‌دهد که این امر زمانی محقق می‌شود که تفاوت قیمتی آن با سیمان تیپ محسوس باشد که البته این موضوع برای مشتریان بتنی از اهمیت بیشتری برخوردار است.

اگرچه قیمت گذاری پایه سیمان‌های مختلف در بورس کالا تابع میزان تقاضا است، اما به نظر می‌رسد که هنوز تصمیم راسخی برای تفاوت قیمت گذاری سیمان‌های آمیخته با سیمان تیپ، بگونه‌ای که بتواند تمایل بیشتر مشتریان را برای خرید این سیمان‌ها در طول سال فراهم سازد، اتخاذ نشده است.

اما به هرحال آنچه که مسلم است کارخانجات سیمانی به عنوان بنگاه اقتصادی به دنبال تحصیل سود بیشتری هستند و کاهش درآمد حاصل از قیمت پایین فروش سیمان‌های آمیخته نسبت به سیمان‌های تیپ، یکی از عوامل اصلی عدم رویکرد به این سیمان‌ها از سوی کارخانجات است و صد البته که اساساً قیمت برابر نیز توجیهی را برای خرید این سیمان‌ها از سوی مشتریان ایجاد نمی‌نماید.

۳-۳) احتمال بروز نوسانات کیفی بیشتر سیمان‌های آمیخته در بتن

یکی از مهمترین گلايه مندی‌های تولیدکنندگان بتن آماده از تولیدکنندگان سیمان، وجود نوسانات مقاومتی در سیمان تحویلی است و این درحالی است که سیمان‌های تیپ تنها از دو جزء کلینکر و گچ تشکیل شده‌اند و عملاً با کنترل کیفی این دو، می‌توان به نوسانات کیفی حداقلی در این سیمان دست یافت.

قطعاً حضور یک یا دو جزء دیگر مواد معدنی برای تولید سیمان آمیخته، شرایط کنترلی را سخت‌تر می‌کند. به‌ویژه این امر در شرایط خردایش توامان و تفاوت قابلیت خردایش قابل توجه بین اجزاء، عدم توزین دقیق و کنترل شده اجزاء معدنی به دلیل عدم وجود بین یا سیلوی ذخیره مجزا مجهز به تجهیز اندازه‌گیری تناژ، ایجاد نوسان را افزایش می‌دهد.

ایجاد نوسانات کیفی سیمان موجب تغییر عیار سیمان در بتن شده که این موضوع به دلیل عدم امکان تغییرات مکرر طرح اختلاط بتن. نهایتاً موجب ایجاد نوسان مقاومت بتن تولیدی می‌شود.

۳-۴) عدم توجه به رویکرد تست‌های بتنی و کاربردی بر روی سیمان‌های آمیخته :

تست‌های آزمایشگاهی بر روی سیمان، غالباً متمرکز بر دیدگاه‌های استاندارد است و کمتر بر موارد کاربردی توجه دارد. این در حالی است که به خصوص در بتن، شرایطی ایجاد می‌شود که ارزیابی تست‌های سیمانی قادر به تجزیه و تحلیل معایب آن نمی‌باشد. این موضوع به ویژه برای کاربردی سیمان‌های آمیخته در بتن در مقایسه با سیمان تیپ از اهمیت بالاتری برخوردار است.

ارزیابی‌های جذب آب بیشتر که در یک نسبت آب به سیمان ثابت، روانی اسلامپ را کاهش می‌دهد، ایجاد چروکیدگی (Shrinkage) که سبب ایجاد ترک‌های گسترده در بتن می‌شود، از جمله مواردی است که برای مشتریان بتنی در مصرف سیمان‌های آمیخته می‌بایست کنترل گردد.

۳-۵) انتظارات بالای مشتریان بتنی از کارکرد سیمان در بتن :

سهم سیمان در کسب مقاومت بتن چه میزان است؟

واقعیت این است که هم اکنون مقاومت سیمان‌های تولیدی در کارخانجات سیمان به مراتب بالاتر از حداقل‌های تعیین شده از سوی استاندارد ملی ایران است. به طوریکه در حال حاضر سیمان‌هایی با کلاس مقاومتی ۴۲۵ و بعضاً ۵۲۵ جایگزین سیمان‌های تیپ با کلاس مقاومتی کمتر از ۳۲۵ شده است. لذا چنانچه سیمان‌های آمیخته نیز با چنین کلینکر تولیدی به مشتریان عرضه شود، سیمان‌های بکارگرفته شده به خوبی در بتن در حد انتظارات معقول ایفای نقش می‌نمایند. اما متأسفانه به دلیل فرهنگ مصرف غلط سیمان و به رغم هزینه بالای تولید سیمان، انعطاف‌پذیری مشتریان بتنی برای بکارگیری سیمان‌های آمیخته در بتن بسیار کم است.

۳-۶) افت مقاومت بتن حاصله از تولید سیمان‌های آمیخته :

یکی از مهمترین دلایل عدم استقبال مشتریان سیمان بر از مصرف سیمان آمیخته، افت مقاومت در ملات سیمان و بتن در سنین اولیه و نهایتاً تا ۲۸ روز است.

اینکه افزودنی‌های معدنی چگونه اثرات خود را بر افت مقاومت ملات در سنین مختلف اعمال می‌کنند، بستگی به عوامل مختلفی دارد.

به عنوان مثال، میزان خواص هیدرولیکی مواد افزودنی، میزان نرمی آن، نوع خردایش آن از منظر خردایش توامان با کلینکر و یا جداگانه، تماماً در دستیابی به مقدار مقاومت تاثیرگذار است.

ما به عنوان مثال اثرات کمی و نرمی سنگ آهک را بر مقاومت ملات سیمان پرتلند آهکی (PKZ)، در این مقاله مد نظر قرار می‌دهیم.

خوانندگان محترم این مقاله می‌توانند اثرات سایر افزودنی‌ها نظیر پوزولان و سرباره و خاکستر بادی و... را بطور مشابه مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند.

اثرات مقاومتی سنگ آهک در سیمان پرتلند آهکی از دوطریق اثر فیلری و اثر رقیق سازی قابل بحث است.
اثرات فیلری و رقیق سازی سنگ آهک به ترتیب معرف نرمی و کمی آن است.
به عنوان مثال در این مقاله اثرات فیلری سنگ آهک در سه نرمی :

1- $X < 20$ میکرون

2- $X < 10$ میکرون

3- $X < 5$ میکرون

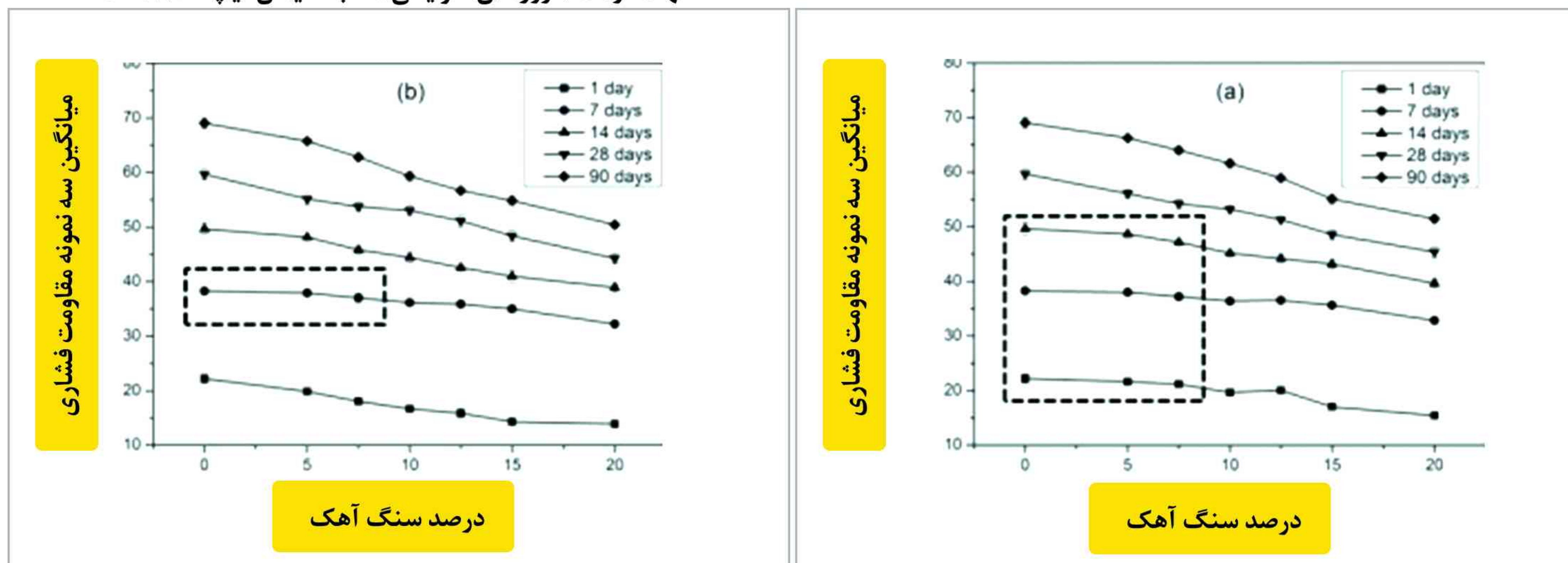
مورد بررسی قرار گرفته است .

از سوی دیگر اثر رقیق سازی سنگ آهک شامل درصد سنگ آهک در مقادیر ۰ تا ۲۰٪ برای جایگزینی کلینکر مورد توجه قرار گرفته است.

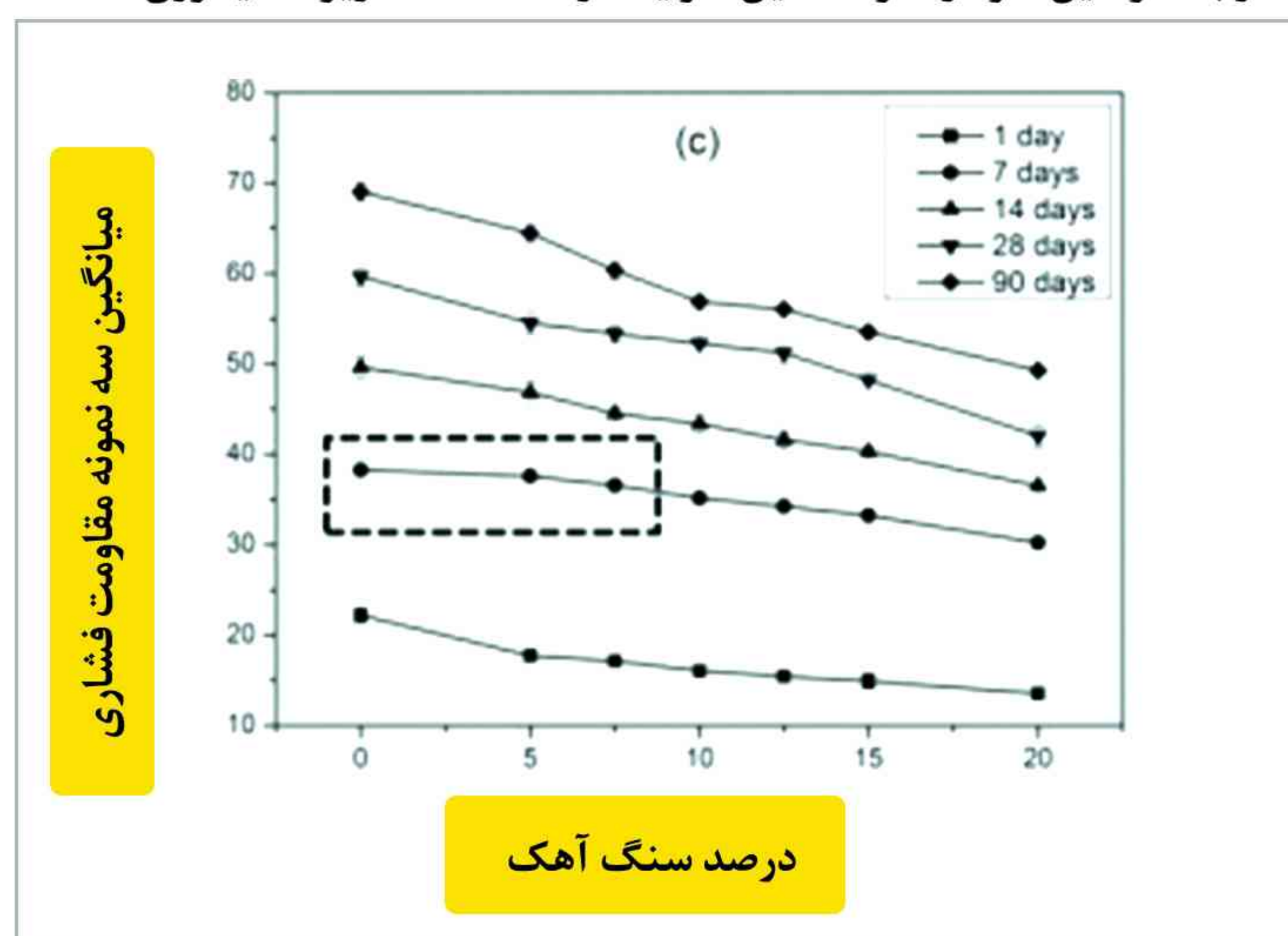
بررسی‌ها نشان می‌دهد که چنانچه سنگ آهک تا زیر ۵ میکرون نرم شود، درصد رقیق سازی سنگ آهک می‌تواند تا حد ۷٪ بدون تغییر در مقاومت ملات سیمان در سنین ۱ تا ۷ روزه نسبت به سیمان تیپ، باقی بماند.

نمودار زیر مبین شرایط باسنگ آهک زیر ۵ میکرون است.

نمودار زیر شاخصی برای همین ارزیابی با سنگ آهک در زیر ۱۰ میکرون است که تنها مقاومت ۷ روزه آن شرایطی مشابه سیمان تیپ تا ۷٪ است.

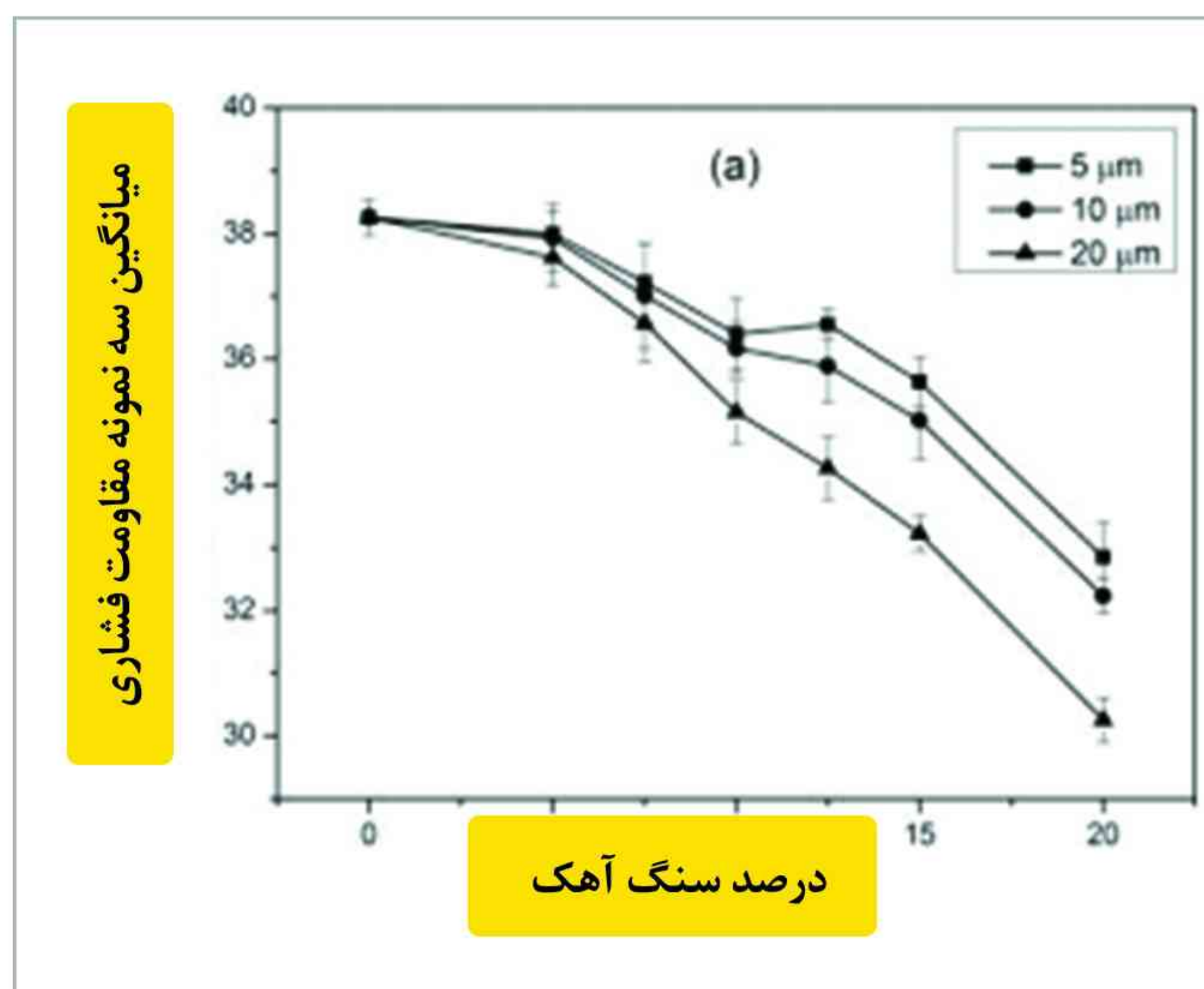


و بالاخره این نمودار معرف همین شرایط در سنگ آهک زیر ۲۰ میکرون است.



در این شرایط نیز مشاهده می‌شود که تنها در سن ۷ روزه، و نهایتاً ۷٪ درصد سنگ آهک، مقاومتی شبیه سیمان شاهد تیپ حاصل می‌شود. آنچه که در کارخانجات سیمان رخ می‌دهد غالباً خردایش توامان است و ما قادر به تشخیص جداگانه ریزدانه‌گی سنگ آهک تا مقدار مشخص نیستیم. اما می‌توانیم در خردایش توامان، با افزایش بلین سیمان پرتلند آهکی تا مقادیر مختلف ۳۴۰۰، ۳۶۰۰ و ۳۸۰۰ سانتیمتر مربع برگرم، مقادیر مقاومت سیمان پرتلند آهکی را مورد بررسی قرار دهیم. نمودار زیر اثرات نرمی سنگ آهک را بر مقادیر مقاومت ملات سیمان در سه نرمی زیر ۵٪، زیر ۱۰ میکرون و زیر ۲۰ میکرون نشان می‌دهد.

در حال حاضر بسیاری از کارخانجات سیمان، استفاده از سنگ آهک را در قالب سیمان تیپ ۲ مادامیکه مقدار افت حرارتی (LOSS) از مقدار ۳٪ تجاوز نکند، در دستور کار خود قرار می‌دهند. اما این مقادیر حداکثر حدود ۵٪ از سنگ آهک است. موضوعی که ما تحت عنوان سیمان آمیخته اشاره می‌کنیم مقادیر افزودنی به مراتب بیشتر از این مقدار و حداقل ۱۰-۱۲٪ است. همانطوریکه از این نمودارها مشاهده می‌شود رقیق‌سازی کلینکر از طریق سنگ آهک (کاهش کلینکر فاکتور) در مقادیر بالاتر از ۷٪، در کلیه سنن باعث افت مقاومت ملات شده است.



مخلوط	آب مورد نیاز (g)	گیرش اولیه	گیرش نهائی
سیمان شاهد	۱۳۲	۱۴۲	۱۸۰
سنگ آهک ۵ میکرون			
۱۰٪ سنگ آهک	۱۳۳	۱۰۸	۱۴۰
۱۲٫۵٪ سنگ آهک	۱۳۲	۹۷	۱۲۵
۱۵٪ سنگ آهک	۱۳۰	۸۹	۱۲۰
سنگ آهک ۱۰ میکرون			
۱۰٪ سنگ آهک	۱۳۲	۱۱۷	۱۵۰
۱۲٫۵٪ سنگ آهک	۱۳۰	۱۱۴	۱۴۰
۱۵٪ سنگ آهک	۱۲۸	۱۰۹	۱۳۵
سنگ آهک ۲۰ میکرون			
۱۰٪ سنگ آهک	۱۲۷	۱۲۹	۱۵۰
۱۲٫۵٪ سنگ آهک	۱۲۶	۱۲۳	۱۵۰
۱۵٪ سنگ آهک	۱۲۵	۱۲۱	۱۴۵

موضوع دیگر قابل بحث در این سیمان، میزان آب نرمال و افت زمان گیرش است که می‌تواند به نوعی تأثیرات منفی در بتن بگذارد. جدول رو به رو نشان می‌دهد که در شرایط نرمی بالای سنگ آهک، مقدار آب نرمال تفاوت چندانی نمی‌کند اما در سنگ آهک‌های درشت دانه و در مقادیر مختلف سنگ آهک، آب نرمال کاهش می‌یابد. اثرات این کاهش یا افزایش آب نرمال در ملات سیمان می‌تواند در میزان جذب آب در بتن موثر باشد. به عنوان مثال در نسبت آب به سیمان ثابت، مقدار اسلامپ افت می‌کند.

با این وجود هم اثرات فیلری و هم رقیق‌سازی سنگ آهک، زمان گیرش را کاهش می‌دهد. این کاهش زمان گیرش بسته به نوع مصرف بتن می‌تواند مفید یا مضر باشد. به عنوان مثال در ساخت قطعات پیش ساخته، کاهش زمان گیرش یک حسن محسوب می‌شود. کلیه این شرایط، کم و بیش برای سایر سیمان‌های آمیخته نظیر مرکب و پوزولانی نیز صادق است.

۴) توجیه فنی و اقتصادی استفاده از بهبود دهنده‌های کیفی (کمک سایش‌ها) برای بهبود مقاومت و مصرف انرژی همانگونه که پیش از این اشاره شد، طرح مواردی نظیر افزایش دوام، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلودگی‌های زیست محیطی هیچ انگیزه‌ای را برای مصرف سیمان‌های آمیخته از سوی مشتریان بوجود نمی‌آورد زیرا تحصیل این موارد موجب تامین منافع آن‌ها نمی‌شود. مگر آنکه حس ملی آن‌ها را نسبت به حفظ و حراست از منابع ملی برانگیزاند. لذا باید به دنبال راهکارهایی باشیم که توانان منافع تولیدکننده و مصرف کننده سیمان‌های آمیخته به‌ویژه در بتن را تامین نماید.

به عنوان مثال آیا افزودنی‌های آلی (کمک سایش‌ها) می‌تواند کمبود و افت مقاومت‌های سنین زودرس سیمان‌های آمیخته را جبران نماید؟ مضافاً اگرهم چنین باشد، آیا استفاده از کمک سایش‌ها در جهت جبران کاهش مقاومت سیمان‌های آمیخته از جهت اقتصادی توجیه پذیر است؟ واقعیت این است که از دیدگاه فنی و کیفی، هر شرکت سیمانی می‌بایست تحقیقات جداگانه‌ای را در این زمینه به عمل آورد. اما ما به عنوان نمونه، یکی از تحقیقات آزمایشگاهی و پایلوت به عمل آمده از یک مقاله خارجی را با عنوان :

Use Of Cement Grinding Aids To Optimise clinker factor در اینجا مد نظر قرار می‌دهیم. سیمان مورد بررسی در این تحقیق از نوع سیمان پوزولانی براساس استاندارد ASTM C-۱۵۰ می‌باشد. در این تحقیق خواص مختلف سیمان شامل:

آب مورد نیاز و نرمی برحسب بلین و باقیمانده روی الک و مقاومت، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. آسیاب مورد استفاده در این تحقیق، آسیاب آزمایشگاهی (حجم ۵۰ لیتر، قطر درام ۴۰۰ میلی متر، طول درام ۴۰۰ میلی متر، سرعت چرخش، ۵۰ دور در دقیقه) که به یک شمارنده الکتریکی برای نظارت متصل است بار خرد کننده آسیاب شامل ۸۰ کیلوگرم به شرح ۳۶ کیلوگرم گلوله ۲۰ میلیمتر و ۴۴ کیلوگرم گلوله ۳۰ میلیمتر است. هر سه ماده کلینکر و پوزولان و گچ قبل از آسیاب شونده‌گی در کراشر تا حد ۱۰ میلیمتر خرد شده اند. مواد مورد استفاده برای تولید سیمان پوزولانی:

۱. کلینکر مورد استفاده از نوع تیپ I
 ۲. پوزولان طبیعی که الزامات استاندارد ASTM C618 نوع N را برآورده می‌سازد.
 ۳. گچ
- با مقادیر سختی کلینکر و پوزولان و گچ مصرفی به ترتیب ۶، ۴/۵ و ۲ می‌باشد.

کمک سایش‌های مصرفی در این تحقیق:

- ۱) کمک سایش‌های بر پایه آمین، شامل تری ایزوپروپانول آمین (TIPA)، تری اتیلن آمین (TEA)
 - ۲) کمک سایش‌های بر پایه گلیکول شامل دی اتیلن گلیکول (DEG) و پلی گلیکول (PG) با دوزهای مختلف از ۰/۱ تا ۱۴/۰ درصد می‌باشد.
- نتایج اثرات دو کمک سایش مذکور در سیمان پوزولانی مورد نظر بر انرژی ویژه مصرفی و میزان آب مورد نیاز و مقاومت فشاری در سه سن ۳ و ۷ و ۲۸ روزه در جدول ذیل گردآوری شده است.

	Control	Amine-based GA				Glycol-based GA			
Clinker: %	95	92	88	85	80	92	88	85	80
Gypsum: %	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Pozzolan: %	0	3	7	10	15	3	7	10	15
E_c : kWh/t	40.0	40.0	39.4	38.8	38.2	40.0	39.5	39.1	38.7
Dosage rate*: %	0	0.030	0.050	0.080	0.130	0.030	0.055	0.090	0.110
Water demand: %	27.65	27.65	27.7	28.2	28.45	27.6	27.7	27.85	28.0
Blaine value: cm ² /g	3370	3350	3380	3410	3450	3410	3380	3330	3260
Compressive strength: MPa									
3 days	11.2	10.8	11.6	11.4	10.5	10.8	11.6	10.9	10.4
7 days	28.4	29.8	29.9	29.1	26.3	27.7	28.7	26.9	25.9
28 days	36.1	36.8	37.2	36.7	33.9	36.2	37.7	35.2	31.4

از نتایج این جدول می‌توان متوجه شد که در هنگام استفاده از کمک سایش آمینی: تقریباً می‌توان اذعان داشت که تا کلینکر فاکتور ۸۵٪، اثرات مقاومت ملات سیمان در کلیه سنین بعضاً بالاتر و برخی کمی پائین‌تر (اما در هر صورت قابل اغماض) از سیمان شاهد (تیپ) است. در کلینکر فاکتور ۸۰٪، مقاومت فشاری ۲۸ روزه کاهش نسبتاً قابل ملاحظه‌ای دارد. اما در سایر سنین این کلینکر فاکتور، شرایط مشابه سیمان تیپ است. درصد آب مورد نیاز در هنگام کاهش کلینکر فاکتور تا ۸۰٪، نسبت به مقدار قبل اندکی افزایش یافته است که می‌تواند ناشی از بلین بیشتر نمونه باشد. مقادیر انرژی ویژه مصرفی با افزایش دوز مصرف این کمک سایش کاهش یافته است. بطوریکه از ۴۰ به ۸٫۳۸ کیلووات ساعت بر تن رسیده است.

در هنگام استفاده از کمک سایش گلیکولی:

مقادیر مقاومتی نسبت به زمانی که از کمک سایش آمینی استفاده می‌شد، کمتر است. یا به عبارت دیگر اثر گذاری کمک سایش‌های آمینی نقش به مراتب بیشتری بر بهبود مقاومت سیمان آمیخته مورد نظر داشته است. اما بعضاً نیازهای مقاومتی سنین اولیه را در حدود اندازه سیمان شاهد تامین نموده است. در مورد کاهش مصارف انرژی، این کمک سایش نیز به مثابه کمک سایش آمینی عمل نموده است. این بررسی فنی یک برداشت از اثرات فنی جبران سازی مقاومت سیمان‌های آمیخته است. چیزی که مورد نیاز تولید کنندگان بتن آماده است. اما باید دید که از منظر اقتصادی، استفاده از کمک سایش‌ها برای جبران افت مقاومت سیمان‌های آمیخته منطقی است. برای بررسی این موضوع ابتدا به فرمولی که می‌تواند بطور تقریبی اثرات افزودنی‌های معدنی را در کاهش انرژی ویژه مصرفی نشان دهد، توجه کنیم:

$$KWh/t = [(0/1E + 0/85A + B) \times M + C] \times (1 - N) + NE + D + F$$

که در آن:

- A: مصرف انرژی الکتریکی ویژه در بخش سنگ شکن مارل
- B: مصرف انرژی الکتریکی ویژه در آسیاب مواد خام
- C: مصرف انرژی الکتریکی ویژه در کوره
- D: مصرف انرژی الکتریکی ویژه در آسیاب‌های سیمان
- E: مصرف انرژی الکتریکی ویژه در بخش سنگ شکن سنگ آهک
- F: مصرف انرژی الکتریکی ویژه در بخش بارگیرخانه
- M: ضریب تبدیل مواد خام به کلینکر
- N: درصد افزودنی‌ها شامل گچ، پوزولان، سنگ آهک و غیره

به عنوان مثال، مصرف واقعی انرژی الکتریکی ویژه یک کارخانه سیمان در کشور در سال ۱۳۷۹ به شرح ذیل بوده است :

E: 2.91 M: 54/1 F+D: 46/43 B: 13/32 C: 59/28 A: 06/2 N: 04/0

به عبارت دیگر این سیمان از نوع تیپ ۲ بوده است.

بر اساس این فرمول، مقدار کل مصرف انرژی الکتریکی این کارخانه **36/131 kwh/t** بوده است. چنانچه این واحد صنعتی مصمم به کاهش کلینکر فاکتور از ۹۶٪ به ۸۵٪ باشد، با فرض تثبیت کلیه مصارف پارامترهای فوق، انرژی مصرفی به **125 Kwh/t** تقلیل می‌یابد. این در حالی است که سایش موادی نظیر پوزولان و آهک در سیمان‌های پرتلند پوزولانی و پرتلند آهکی و مرکب، خود نقش مثبتی در روند کاهش انرژی ویژه مصرفی آسیاب سیمان دارد و تجربه نشان می‌دهد که با این مقدار از افزودنی، حداقل حدود **1 Kwh/t** صرفه جویی انرژی نیز در آسیاب سیمان بدست می‌آید.

لذا در مجموع حدود ۷ کیلووات ساعت بر تن صرفه جویی انرژی حاصل می‌شود.

چنانچه در محاسبات هزینه- فایده تولید سیمان‌های آمیخته با به کارگیری کمک سایش‌ها، تنها محاسبه فوق مدنظر متولیان تولید سیمان باشد، عملاً با احتساب قیمت برق مصرفی معادل ۳۵۵ تومان به ازای هر کیلووات برق مصرفی (مصوبه دولت برای واحدهای صنعتی در سال ۱۴۰۲ جهت ساعات پیک مصرف)، حداکثر ۲۵۰۰ تومان به ازای هر تن سیمان، فایده کاهش حاصل کاهش انرژی ویژه مصرفی ناشی از کاهش کلینکر فاکتور ۸۵ درصدی سیمان خواهد بود. و این در حالی است که هم اکنون هزینه استفاده از کمک سایش‌ها به ازای هر تن سیمان به مراتب بالاتر از این مقادیر است. حتی نازل‌ترین کمک سایش در حال حاضر قیمتی کمتر از کیلویی ۵ تا ۶ هزار تومان نیست.

و این موضوعی است که مدیران شرکت‌های سیمانی را برای استفاده از کمک سایش اعم از مصارف بتنی و کیسه‌ای در تولید سیمان به اشتباه می‌اندازد.

در واقع کاهش کلینکر فاکتور تنها موجب کاهش انرژی ویژه مصرفی الکتریکی نمی‌شود بلکه بطور تقریب تمامی هزینه‌های موثر برای تولید یک تن سیمان را کاهش می‌دهد.

به عنوان مثال مقایسه اقتصادی توجیه پذیری کمک سایش را در مقایسه کلینکر فاکتور ۸۵٪ می‌توان از فرمول ذیل بررسی نمود:

۰.۱۱ (سیمان تن یک شده تمام قیمت- افزودنی تن یک سازی آماده شده تمام قیمت)

به هر میزان قیمت تمام شده سیمان در کارخانه‌ای بالاتر باشد و قیمت تمام شده آماده‌سازی مواد افزودنی معدنی کمتر باشد، این توجیه پذیری به مراتب بیشتر است.

۵) نتیجه گیری نهایی

قطعاً تولید و عرضه سیمان‌های آمیخته به مشتریان بتنی، آن هم با کمک سایش، مشکلات خاص خود را به دنبال دارد. شاید در چنین وضعیتی هیچ کارخانه سیمانی حاضر به قبول چنین ریسکی نباشد. اما به قول شون پیترز (از صاحب نظران حوزه کارآفرینی)، تخریب خلاقانه هرچند ریسک‌های بزرگی را به همراه دارد، ولی سودهای کلانی را نیز رقم می‌زند.

کارخانجات سیمانی که بتوانند با انجام تحقیقات و آزمایشات پایلوت و صنعتی، این مهم را در دستور کار خود قرار دهند، درواقع توانسته‌اند تا همچون کارآفرینان هوشیار از فرصت‌های موجود برای افزایش سودآوری خود استفاده نمایند. ضمن آنکه گامی مثبت در جهت توسعه پایدار کشور خود برمی‌دارند.

مهم این است که شروع به تحقیق و طرح ایده‌های جدید نمایید. مهم آن است که شروع به امتحان و تجربه نمایید. آنگاه شما برنده نخستین این رقابت هستید.