

## بررسی آزمایشگاهی تولید سیمان ۴۲۵ از سیمان تیپ ۲ در آسیای گلوله ای (مطالعه موردی: کلینک‌های کارخانه سیمان آبیک)

محسن یعقوبی<sup>۱</sup>

۱- کارشناس ارشد تولید شرکت سیمان اردستان

**چکیده:** در صنعت سیمان عمدتاً از دو شاخص میزان مواد بزرگتر از  $90\ \mu m$  و بلین بعنوان معیارهای تاثیر دانه بندی سیمان بر مقاومت آن استفاده می شده است. در این تحقیق تولید/آزمایشگاهی سیمان ۴۲۵ با استفاده از کمک سایشها (*Grinding Aids*)، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در آزمایش بلین و مقاومت، معیار تولید سیمان ۴۲۵، افزایش بلین بود. در آزمایش بلین و مقاومت، تاثیر دوز  $3/2$  گرم کمک سایشهای تجاری A, B, C, D, E, F, G در زمان خردایش ثابت (۶۵ دقیقه) بر سطح بلین و مقاومت نمونه های سیمان مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج مقاومتهای ۲۸ روزه نشان داد که با بالا بردن بلین، دسترسی به سیمان ۴۲۵ امکان پذیر است، اما بیشترین مقاومت ۲۸ روزه در بیشترین بلین اتفاق نمی افتد. بنابراین شاخص بلین، معیار کاملی برای ارزیابی دانه بندی بر مقاومت سیمان نیست. به همین منظور در آزمایشی دیگر، با انتخاب سه کمک سایش A, D, C که بیشترین بلین و مقاومت را در آزمایش اول ایجاد کرده بودند، تاثیر مقادیر  $1/0$ ,  $2/0$ ,  $3/0$ ،  $4/0$  و  $5/0$  درصد، بر روی بلین و ذرات موثر بر مقاومت ۲۸ روزه ملات سیمان (عمدتاً ۳ تا ۳۰ میکرون)، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که مقدار بهینه کمک سایشهای A, D و C برای تولید سیمان ۴۲۵،  $4/0$ ،  $3/0$  و  $4/0$  درصد در نظر گرفته شود. کلمات کلیدی: آسیای گلوله ای، سیمان ۴۲۵، کمک سایش، بلین

۱- مقدمه: تقاضای جهانی برای توسعه و نیاز برای تولید سیمانهای مقاومت بالا (تیپ ۱ کلاسهای ۴۲۵، ۵۲۵ و ۶۲۵) باعث بروز مشکلاتی شامل افت ظرفیت آسیاها و افزایش بیش از حد شاخص انرژی الکتریکی در صنعت سیمان شده است. گسترش  $HSC^1$  در طی چهار دهه اخیر اتفاق افتاده است. در ابتدا حتماً باید اشاره کرد که HSC یک اصطلاح نسبی است، که بر اساس زمان، نیازها و تکنولوژی تعریف می گردد. مزایای HSC زیادند. برای مثال استفاده از HSC اجازه ساخت ساخت عناصر ساختمانی با سطح مقطع کمتر را می دهد که خود باعث کمتر شدن هزینه مواد اولیه و اشغال فضای کمتری می شود. سازندگان می توانند هزینه ساخت را با ساخت در فضای کمتر و یا ساخت در فضای یکسان کم نمایند. این فاکتورها به ویژه در مناطق شهری متراکم که زمین و فضا محدود است بسیار مهم است. ضمن اینکه در مهندسی عمران، HSC مدول الاستیسیته بالاتر، سختی بیشتر، کج شدن و خزش کمتری دارد که این پارامترها، همان پارامترهای مورد نظر برای مقابله با زلزله و کاهش خسارت ناشی از آن است. همچنین استحکام اولیه بالای HSC یعنی ساخت در مقاطع زمانی کمتر از دیگر مزایای HSC به شمار می رود [۱].

روشهای تولید سیمان کلاس ۴۲۵ را در ایران می توان به دو دسته کلی شیمیایی و فیزیکوشیمیایی تقسیم کرد. در روش فیزیکوشیمیایی، معیار تولید سیمان ۴۲۵، افزایش سطح بلین با استفاده از مواد شیمیایی کمک سایش است.

افزایش بلین در آسیاهای سیمان متضمن کاهش ظرفیت است. به منظور جبران کاهش ظرفیت و افزایش مصرف انرژی در صنعت سیمان از کمک سایشها استفاده می شود. J.Kolacz و K.L.Sandvic در سال ۱۹۷۷ در تحقیقاتشان به این نتیجه رسیدند که کمک سایش های گوناگون به شیوه های متفاوتی در فرایند خردایش عمل می کنند. به هر حال انتخاب میزان صحیح این افزودنیها، برای دستیابی به بیشترین تاثیر یا به گونه ای که تاثیر منفی در فرایند خردایش را سبب نشود، لازم به نظر می رسد. به هر حال میزانهای خیلی بالا می تواند اصطکاک را نه فقط بین دانه ها، بلکه بین دانه ها و واسطه های نرم کنی کاهش دهد. این مورد سبب پایین آمدن کارایی خردایش خواهد شد. اما به هر حال، آزمایشهای ناپیوسته به منظور تعیین نوع و میزان مصرف کمک سایش در مدار بسته می تواند مفید و موثر واقع شود [۳۲]. M.Yasar ، A.T.Albayrak و M.A.Gurakynak در سال ۲۰۰۵ به بررسی تاثیر اسیدهای چرب بر روی مقاومت فشاری بتن و قابلیت خردایش سیمان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که همیشه از راه افزایش سطح بلین نمی توان به مقاومت های بالا رسید، چرا که دو نمونه با سطح بلین یکسان ممکن است دارای دانه بندی و مقاومت های متفاوت باشند [۱]. بنابراین می توان عنوان کرد که لزوما شاخص بلین نمی تواند ملاک مناسبی برای ارزیابی دانه بندی بر مقاومت سیمان باشد. بررسیهای تحقیقاتی روز دنیا نشان می دهد که ذرات درشت تر از ۳۰ میکرون نقش قابل ملاحظه ای بر روی سیمان ندارند و جهت گیری ما در تولید سیمان با مقاومت بالاتر از طریق سیستم خردایش می بایست در جهت تامین ذرات ۳ تا ۳۰ میکرون باشد [۱].

روش تحقیق - به منظور تولید سیمان ۴۲۵ به روش آزمایشگاهی و تاثیر کمک سایش و روان سازها بر نحوه تولید آن پس از انتخاب ۷ کمک سایش با نامهای تجاری که همگی ادعای کاهش نسبت  $W/C$  و بالتبع افزایش مقاومت سیمان را داشتند، در مرکز تحقیق و توسعه صنعت سیمان آزمایشی انجام شد که تولید آزمایشی سیمان ۴۲۵ از دو جنبه افزایش سطح بلین (به منظور افزایش مقاومت) و کاهش نسبت آب به سیمان مد نظر قرار گیرد. شکل آزمایش به صورتی بود که اولاً در زمان ثابت و با حضور کمک سایش ها سطح بلین به چه میزان افزایش می یابد و ثانیاً در یک روانی ثابت، کمک سایشها به چه میزان نسبت  $W/C$  را کاهش می دهند. برای انجام آزمایش ۵۰ کیلوگرم کلینکر از خط تولید نمونه برداشته شد. سپس در آزمایشگاه با استفاده از یک سنگ شکن فکی نمونه اخذ شده به ۱۰۰٪ زیر ۲ mm رسانده شد. برای انجام آزمایش نمونه شاخص، ۹۷٪ کلینکر را با ۳٪ افزودنی (سنگ گچ) مخلوط کرده و در یک آسیای آزمایشگاهی با شارژ سیلیس زمان را به نحوی تنظیم می کنیم که به سطح بلین  $3000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  (سطح بلین سیمان تیپ ۲ کارخانه) برسیم. برای رسیدن به هدف فوق به صورت تجربی طی چهار آزمایش، زمان مورد نظر را به دست آوردیم.

جدول (۱) - مراحل انجام آزمایش خردایش در آسیای آزمایشگاهی

زمان (دقیقه)	سطح بلین (سانتیمتر مربع بر گرم)
۹۰	۳۶۰۰
۷۳	۳۲۰۰
۶۳	۲۸۸۰
۶۵	۲۹۵۲

زمان ۶۵ دقیقه را به عنوان زمان خردایش ثابت برای همه آزمایشها در نظر می گیریم.

پس از افزودن مقادیر لازم از افزودنیها، در آزمایشهای جداگانه خردایش را در زمان ۶۵ دقیقه انجام داده و در پایان زمان تعیین شده از خروجی آسیا نمونه می گیریم. بلین نمونه های اخذ شده به در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲) - نتایج آزمایش سطح بلین برای نمونه های سیمان

محصول	زمان (ثانیه)	سطح بلین $\frac{cm^2}{gr}$
شاهد	۴۴	۲۹۵۲
A	۵۶	۳۳۳۰
B	۵۰	۳۱۴۶
C	۵۴	۳۲۷۰
D	۵۶	۳۳۳۰
E	۴۹	۳۱۱۵
F	۵۰	۳۱۴۶
G	۴۹	۳۱۱۵

پس از اتمام آزمایش بلین به منظور تعیین مقاومتهای فشاری ۲، ۷ و ۲۸ روزه، ملاتی متشکل از ۴۵۰ گرم سیمان با ۱۳۵۰ گرم ماسه دین و ۲۵۰ سیسی آب را در دستگاه میکسر مخلوط کرده و در قالبهای فلزی با ابعاد  $40 \times 40 \times 160 \text{ cm}$  قرار داده می شود. نمونه ها را پس از یک روز به اتاق رطوبت برده و پس از مدت زمانهای لازم، نمونه ها را از قالب خارج کرده و با دستگاه Toni/Technik مقاومتهای فشاری ۲، ۷ و ۲۸ روزه اندازه گیری می شود. نتایج مقاومت در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) - مقاومت‌های ۲، ۷ و ۲۸ روزه ملات سیمان

محصول	مقاومت‌های فشاری $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$		
	۲ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
شاهد	۱۱۹	۳۰۸	۴۹۹
A	۱۳۳	۳۸۸	۵۶۳
B	۱۲۹	۳۳۱	۴۹۸
C	۱۲۰	۳۳۹	۵۱۲
D	۱۶۷	۳۷۶	۵۱۰
E	۱۲۰	۳۱۱	۴۷۸
F	۱۴۹	۳۶۶	۴۵۷
G	۱۲۹	۳۲۲	۵۴۷

همانگونه که از نتایج مشخص است برای نمونه شاهد با بلین  $2952 \frac{gr}{cm^2}$  مقاومت  $499 \frac{kg}{cm^2}$  به دست آمده است و این در حالی است که نمونه های تهیه شده با کمک سایشهای E و F علیرغم مصرف کمک سایش و افزایش بلین دارای مقاومت‌های ۲۸ روزه به مراتب کمتری نسبت به نمونه شاهد است. به همین منظور به منظور رفع نواقص آزمایش اول، در آزمایش دوم با انتخاب سه کمک سایش A، B و C که بلین و مقاومت‌های ۲۸ روزه بیشتری نسبت به بقیه نمونه ها داشتند، به میزانهای ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد از هر یک از کمک سایشها تهیه گردیده و علاوه بر بلین تاثیرشان بر روی دانه بندی سیمان و ذرات موثر بر مقاومت ۲۸ روزه سنجیده شد. به همین منظور در آزمایش دوم در زمان خردایش ۶۵ دقیقه در آسیای آزمایشگاهی در دوزهای مختلف کمک سایش اضافه گردیده و خردایش انجام شد. نتایج آزمایش بلین و دامنه ذرات موثر بر مقاومت ۲۸ روزه در جداول (۴) و (۵) ارائه شده است.

جدول (۴) - نتایج بلین نمونه های تهیه شده با کمک سایشهای A، D و C در دوزهای مختلف

میزان کمک سایش (%)	بلین $\left(\frac{cm^2}{gr}\right)$		
	کمک سایش A	کمک سایش D	کمک سایش C
۰	۲۸۱۴	۲۸۱۴	۲۸۱۴
۰/۱	۲۹۱۸	۲۹۵۲	۲۸۸۴
۰/۲	۳۰۱۸	۳۱۷۷	۲۹۱۸
۰/۳	۳۰۵۰	۳۲۳۰	۳۰۵۰
۰/۴	۳۱۴۶	۳۲۰۸	۳۱۷۷
۰/۵	۳۰۱۸	۳۱۱۵	۳۰۸۳

جدول (۵) - ذرات موثر بر مقاومت ۲۸ روزه از دانه بندی گرفته شده با *Lazer particle sizer*

میزان کمک سایش (%)	ذرات موثر بر مقاومت ۲۸ روزه ملات سیمان (۳ تا ۳۰ میکرون) (%)		
	کمک سایش A	کمک سایش D	کمک سایش C
۰	۵۹/۸۲	۵۹/۸۲	۵۹/۸۲
۰/۱	۶۰/۸۶	۶۲/۹۹	۶۰/۴۵
۰/۲	۶۲/۸۳	۶۳/۲۴	۶۱/۷۷
۰/۳	۶۳/۱۱	۶۴/۱۸	۶۳/۸۳
۰/۴	۶۴/۶۸	۶۲/۷۶	۶۲/۶۷
۰/۵	۶۳/۶۶	۶۰/۲۶	۶۴/۶۹

بنابر این با داشتن معیارهای بلین و درصد ذرات موثر بر مقاومت ۲۸ روزه ملات سیمان می توان گفت که برای سیمان تهیه شده با کمک سایش A که در دوز ۰/۴ درصد به بیشترین میزان بلین و ذرات موثر بر مقاومت رسیده است می توان دوز بهینه ۰/۴ درصد را انتخاب کرد. برای سیمان تهیه شده با کمک سایش D که در دوز ۰/۳ درصد بیشترین میزان بلین و درصد ذرات موثر بر مقاومت رسیده است می توان دوز ۰/۳ را انتخاب کرد. اما نمونه تهیه شده با افزودنی C که در دوز ۰/۴ درصد به بلین بیشینه خود رسیده است در دوز ۰/۵ درصد دارای حداکثر ذرات تاثیر گذار بر مقاومت است. در مورد کمک سایش C با توجه به قیمت می توان یکی از دوزهای ۰/۴ یا ۰/۵ درصد را انتخاب کرد.

## بحث

انجام آزمایش سطح بلین و مقاومت از چند جهت قابل بحث است. سیمان شاهد با فرض چشم پوشی از خطای آزمایش در زمان ۶۵ دقیقه و سطح بلین  $3000 \text{ cm}^2/\text{gr}$  در زمان ۲۸ روز به مقاومت  $499 \text{ kg}/\text{cm}^2$  رسیده، و این در حالی است که در مقیاس صنعتی، سیمان به دست آمده با این سطح بلین، حداکثر به مقاومت  $380 \text{ kg}/\text{cm}^2$  می رسد. مورد مذکور، خود نشان دهنده کارایی پایین طبقه بندی کننده های دینامیکی کارخانه است. در صنعت سیمان برای اینکه چنین فاصله ای کمتر شود، از طبقه بندی کننده های راندمان بالا (High Efficiency Separator) استفاده می کنند. کارایی پایین طبقه بندی کننده های دینامیکی، به معنای کارایی پایین در طبقه بندی ذراتی است که نقش اساسی را در مقاومت ۲۸ روزه سیمان (عمدتاً ذرات بین ۳ تا ۳۰ میکرون) بر عهده دارند. هدف از آزمایش سطح بلین و مقاومت برای دستیابی به سیمان ۴۲۵، افزایش سطح بلین تا  $3300 \text{ cm}^2/\text{gr}$  بود. با افزایش سطح بلین تا مقادیر نزدیک به  $3300 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ، مقاومت ۲۸ روزه ملاتهای تهیه شده به حداقل  $425 \text{ kg}/\text{cm}^2$  رسید. اما همانطور که از نتایج سطح بلین و مقاومت های ۲۸ روزه مشخص است با اینکه سطح بلین نمونه های درست شده با کمک سایشهای A و D دارای مقدار به مراتب بیشتر از بقیه نمونه ها است اما در نمونه تهیه شده با کمک سایش G برای سیمان با سطح بلین  $3115 \text{ cm}^2/\text{gr}$  مقاومت ۲۸ روزه  $547 \text{ kg}/\text{cm}^2$  به دست آمده است. بنابر این نظر به اینکه در آزمایش بلین و مقاومت، با توجه به اینکه در همه موارد حتی نمونه شاهد با سطح بلین  $2952 \text{ cm}^2/\text{gr}$  به مقاومت ۲۸ روزه حداقل  $425 \text{ kg}/\text{cm}^2$  رسیدیم، اما نتایج سطح بلین و مقاومت برای نمونه G نشان داد که افزایش سطح بلین بیشتر به معنای افزایش بیشتر مقاومت نیست و لزوماً حداکثر مقاومت ۲۸ روزه در بیشترین سطح بلین اتفاق نمی افتد. می توان نتیجه گرفت که همیشه از راه افزایش سطح بلین نمی توان به مقاومت های بالا رسید، چرا که دو نمونه با سطح بلین یکسان ممکن است دارای دانه بندی و مقاومت های متفاوت باشند. به عبارت دیگر می توان گفت که همیشه بیشترین مقاومت (مقاومت ۲۸ روزه) در بیشترین سطح بلین اتفاق نمی افتد بنابراین در کنار تمامی شاخصهایی که برای بررسی ارزیابی کمک سایشها به کار می رود، می توان گفت که "ارزیابی دانه بندی" و مخصوصاً ذرات موثر بر مقاومت، شاخص مناسبی برای ارزیابی به حساب می آید. بنابراین در کنار تمامی شاخصهایی که برای بررسی ارزیابی کمک سایشها به کار می رود، می توان گفت که "ارزیابی دانه بندی" و مخصوصاً ذرات موثر بر مقاومت، شاخص مناسبی برای ارزیابی به حساب می آید. بنابراین در آزمایش بلین و ذرات موثر بر مقاومت ۲۸ روزه، تاثیر میزانهای مختلف کمک سایش بر روی فراکسیونهای مختلف دانه بندی سیمان، بررسی شد.

## نتیجه بحث

- ۱- در آزمایش اول سیمان ۴۲۵ از جنبه افزایش بلین بررسی شد. نتایج مقاومت‌های ۲۸ روزه برای نمونه شاهد و بقیه نمونه ها، مقاومت حداقل  $425 \text{ kg/cm}^2$  را نشان داد.
- ۲- مقاومت  $499 \text{ kg/cm}^2$  برای نمونه شاهد نشان دهنده راندمان پایین سپراتورهای دینامیکی کارخانه است. در صورت استفاده از سپراتورهای راندمان بالا و لحاظ کردن مصرف کمک سایش می توان به سیمان ۴۲۵ رسید .
- ۳- معیار افزایش بلین، معیار کاملی برای ارزیابی دانه بندی بر مقاومت آن نیست.
- ۴- برای بررسی تاثیر دانه بندی، تلفیق معیارهای بلین و درصد ذرات موثر بر مقاومت ۲۸ روزه (عمدتا ۳ تا ۳۰ میکرون) می تواند مفید واقع شود.
- ۵- بهترین روش برای تعیین دوز بهینه کمک سایش در آسیای سیمان، استفاده از آزمایشهای آزمایشگاهی در دوزهای مختلف و تاثیر بر روی دانه بندی و بلین سیمان است.

## تقدیر و تشکر

بدین وسیله از پرسنل مرکز تحقیق و توسعه صنعت سیمان که در انجام آزمایشهای خردایش و مقاومت نهایت همکاری را داشته اند، تشکر و قدر دانی می شود.

## منابع

- ۱- محمودی کهن، سعید. خطیبی طالقانی، جاوید. پور داود، فرهاد. "بررسی امکان تولید سیمان پرتلند مطابق EN با کلاس مقاومتی ۴۲/۵، ۵۲/۵، ۶۲/۵"، شرکت سهامی عام سیمان فارس و خوزستان، مرکز تحقیق و توسعه صنعت سیمان، بهار ۸۱
- 2- H. E.El-Shal, "Grinding aids", Department of metallurgy and Mineral Processing Engineering, Montana College of Mineral Science and Technology, Butte, Montana.No 5(1988), pp(159-177).
- 3- J. Kolacz, K.L.Sandvik, "The effect of grinding aids on fine grinding", SINTEF-Rock and Mineral Engineering, No 2(1977), pp(251-260).
- 4- A. T. Albayrak, M. Yasar, M.A.Gurkaynak, I.Gurgey, "Investigation of fatty acids on the compressive strength of the concrete and grindability of the cement", Cement and Concrete Research, No 35(2005), pp(400-404).
- ۵- رفیعی، محمود. "دانه بندی، علم و کاربرد آن در صنعت سیمان"، مجتمع صنعتی سیمان آبیگ، مرکز تحقیق و توسعه شرکت سهامی عام سیمان فارس و خوزستان، شهریور ۱۳۸۱.