Archive of SID

تحقیقات بتن
سال دوازدهم، شمارهٔ دوم
تابستان ۹۸
ص ۱۲۵ – ۱۱۱
تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۱۴
تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱

یادداشت پژوهشی

بررسی نقش افزودنی‌های معدنی در آسیای کلینکر بر قابلیت خردایش و کیفیت سیمان

عطاالله بهرامی *
استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه
جعفر عبدالهی شریف
استاد گروه مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه
محسن علیلو
کارشناس ارشد مهندسی استخراج معدن
فاطمه کاظمی
دانشجوی دکتری مهندسی معدن

چکیده

هدف این تحقیق بررسی تاثیر افزودنی‌های معدنی بر بازدهی پروسه تولید سیمان و خواص محصول است. بدین منظور با آماده‌سازی نمونه‌هایی از کلینکر سیمان با افزودنی‌های معدنی و همچنین کمک ساینده‌های آلی به بررسی بازدهی خردایش آنها پرداخته شده است. سپس بلوک‌های بتنی ساخته و بر روی آنها آزمایش تعیین مقاومت فشاری در سنین مختلف انجام گرفته است. براساس نتایج، استفاده از افزودنی‌های معدنی موجب افزایش عدد بلین شده است. طرح اختلاط ۸۵ درصد کلینکر و ۱۵ درصد پوزولان منجر به حصول بیشترین مقدار بلین سیمان به میزان (m^2/kg) ٤٥٤٦ شده است. استفاده از افزودنی‌ها در سنین ۲ و ۳ روزه بتن موجب کاهش مقاومت فشاری شده است. در سن ۲۸ روزه بتن، وجود افزودنی‌ها موجب افزایش مقاومت فشاری آن نسبت به حالت عدم استفاده از افزودنی شده است. ترکیب ۱۵ درصد وزنی پوزولان، ۸۵ درصد کلینکر، ٤ درصد گچ و ۳ گرم کمک ساینده آلی، بهینه‌ترین ترکیب سیمان است.

واژه‌های کلیدی: افزودنی‌های معدنی، سیمان، آسیای کلینکر، مصرف انرژی، مقاومت فشاری بتن.

* نویسنده مسئول: a.bahrami@urmia.ac.ir

www.SID.ir

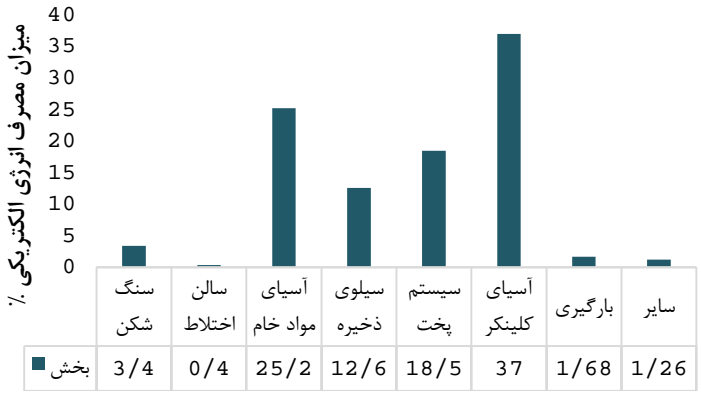
Archive of SID

۱- مقدمه

بخش صنعت مصرف کننده قسمت اعظم انرژی در جهان است. در میان صنایع مختلف، صنایع غیرفلزی با مصرف حدود ۱۲ درصد از انرژی جهانی، پس از صنایع شیمیایی و پتروشیمی و صنایع فلزی، در جایگاه سومین مصرف کننده عمده انرژی در جهان هستند [۱]. صنعت تولید سیمان بعنوان یکی از زیربخش‌های مهم صنایع غیرفلزی، به شدت به انرژی وابسته بوده و مصرف‌کننده بیش از ۸/۵ درصد از کل انرژی مصرفی در بخش صنایع غیرفلزی است [۲-۴]. با توجه به شرایط عملیاتی متفاوت در فرایند تولید سیمان، الکتریسیته و سوخت‌های فسیلی (گاز طبیعی و سوخت نفتی) دو منبع اصلی مولد انرژی مصرفی در این صنعت هستند. میزان مصرف انرژی الکتریکی و سوخت‌های فسیلی مصرفی بطور متوسط (در ایران) در یک کارخانه سیمان به ترتیب ۱۱۹ KWh/ton و ۱۰۵ lit/ton است [۵]. در شکل ۱ میزان مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف یک واحد صنعتی تولید سیمان آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، فرایندهای آسیاکنی مواد خام و کلینکر سیمان، عمده مصرف کننده انرژی در این بخش هستند (مجموعا بیش از ۵۵ درصد انرژی).

صنعت تولید سیمان علاوه بر مصرف بالای انرژی، تاثیر بسزایی در انتشار گازهای مضر از جمله CO_2 به محیط و آلودگی اتمسفر دارد (به ازای تولید هر یک کیلوگرم سیمان، ۰/۷ کیلوگرم CO_2 و دیگر آلاینده‌ها وارد محیط زیست می‌شود). سه منبع اصلی منتشر کننده گاز CO_2 در صنعت سیمان شامل کربونیزه شدن $CaCO_3$ مواد خام (آهک)، سوزاندن سوخت‌های هیدروکربنی در طی فرایند پخت در کوره‌ها و دیگر تجهیزات و تولید انرژی الکتریکی موردنیاز در پروسه تولید سیمان هستند [۷،۸]. با توجه به هزینه‌های چشمگیر تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی و مسائل زیست محیطی ناشی از آن، لزوم بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی در صنعت تولید سیمان همواره مورد توجه محققان بوده است [۹]. براساس گزارش‌های منتشر شده از آژانس بین‌المللی انرژی[1]، این نهاد نیز در نظر دارد که انرژی مصرفی در بخش سیمان را تا سال ۲۰۲۵ (با تاکید بر کاهش انرژی مصرفی در بخش خردایش) به مقدار قابل توجهی کاهش دهد [۱۰]. کارایی بیشتر واحدهای خردایش در صنعت تولید سیمان پایین است. بنابراین ارائه راهکارهایی جهت بهینه‌سازی مدار خردایش، تاثیر بسزایی در کاهش مصرف انرژی و هزینه‌ها خواهد داشت. راهکارهای تولید کلینکر سیمان با هدف کاهش انرژی مصرفی و به تبع کاهش انتشار گاز CO_2، متفاوت بوده و به موقعیت قرارگیری کارخانه (از نظر مواد خام طبیعی و مواد خام ثانویه تولیدی در کارخانه)، قوانین جمعیتی کشورها در رابطه با حفاظت محیط زیست و ... وابسته است [۱۱].

مطالعات انجام گرفته در زمینه ارزیابی مصرف انرژی در صنعت سیمان، بر روی امکان بهینه‌سازی مصرف انرژی و ذخیره‌سازی آن، تمرکز داشته‌اند [۹، ۱۲-۱۹]. براساس شکل ۱ برای تولید هر تن سیمان، ۱۱۹ Kwh انرژی الکتریکی مورد نیاز است، که حدود ۳۰ درصد از آن برای آماده‌سازی و خردایش مواد اولیه و ۳۷ درصد برای خردایش کلینکر سیمان مصرف می‌شود. طی مرحله آسیای کلینکر سیمان، ابعاد ذرات بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و فرایند نرم‌کنی تا حصول ذرات با اندازه و بلین موردنظر (d_{80} ذرات خروجی آسیای کلینکر معمولا کمتر از ۹۰ µm است) ادامه می‌یابد [۲۰].



شکل ۱ـ مصرف انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف صنعت تولید سیمان [۶].

[1] IEA

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از انواع مواد معدنی و آلی تحت عنوان کمک ساینده‌های کلینکر، از طریق کاهش آلگومراسیون ذرات در داخل آسیا تاثیر بسزایی در کاهش انرژی مصرفی در این بخش داشته است. افزودنی‌ها علاوه بر کاهش زمان خردایش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بر روی خواص محصول تولیدی از نقطه‌نظر گیرایی، دوام و مقاومت فشاری تاثیر دارند. از جمله کمک ساینده‌های آلی مورد استفاده در خردایش کلینکر سیمان می‌توان به آمین‌های آلیفاتیک مانند TETA[1]، TEPA[2] و آمینوالکل‌ها مانند DEA[3] و TEA[4] اشاره کرد [۲۱]. پوزولان از جمله مواد معدنی است که به ترکیب سیمان اضافه می‌گردد. پوزولان به مواد سیلیسی و آلومنیومی گفته می‌شود که خاصیت گیرش ندارد اما در اثر ترکیب با آهک در درجه حرارت معمولی و در حضور آب بصورت مواد پایدار غیر حلال، از خود خاصیت گیرشی نشان می‌دهند. پوزولان خردایش کلینکر سیمان را بهبود بخشیده و می‌تواند نقش کمک سایندگی در فرایند تولید سیمان را ایفا نماید. پومیس و پرلیت نیز از دیگر افزودنی‌های معدنی مورد استفاده در آسیای کلینکر سیمان هستند. پرلیت نوعی سنگ آتشفشانی با ترکیب اسیدی تا حد واسط است که در محیط آبی و یا مرطوب تشکیل می‌شود.. پومیس، شیشه آتشفشانی سیلیسی است از انفجار گدازه‌های سیال و کاهش فشار در یک فعالیت آتشفشانی که سبب انبساط سریع و خروج مواد گازی در قسمت فوقانی گـــدازه شیشه‌ای بالا رونده می‌گردد، حاصل می‌شوند.

با توجه به اینکه افزودنی‌های معدنی در مرحله پس از پخته شدن مواد خام سیمان در کوره به آن اضافه می‌گردند، علاوه بر کاهش زمان آسیاکنی (به دلیل نقش کمک سایندگی)، کاهش کلینکر مصرفی و در نتیجه افزایش ظرفیت تولید و همچنین کاهش هزینه تمام شده خردایش، از دیدگاه زیست محیطی به دلیل کاهش مصرف سوخت و تولید کربن دی اکسید نیز اهمیت ویژه‌ای دارند. از طرف دیگر، افزودنی‌های معدنی مورد استفاده در پروسه تولید سیمان موجب افزایش مقاومت نهایی بتن، افزایش پایایی بتن از طریق کاهش نفوذپذیری، بالابردن مقاومت در برابر حمله اسیدها و قلیایی سنگدانه‌ها، جلوگیری از ترک خوردن سطحی گسترده بتن و ... می‌شوند. مقاومت فشاری بتن یکی از پارامترهای بسیار مهم برای ارزیابی کیفیت آن به شمار می‌رود، زیرا بسیاری از خواص بتن از جمله مدول الاستیسیته، نفوذپذیری، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت کششی و ... در ارتباط مستقیم با مقاومت فشاری هستند [۲۲].

هزینه‌های بالای مربوط به انرژی مورد نیاز برای خردایش مواد اولیه و آسیای کلینکرو قوانین زیست محیطی نتشار گازهای ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی موجب شده است که صنعت تولید سیمان همواره به دنبال ارائه راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی در این بخش باشد. در این راستا، تحقیق حاضر به بررسی تاثیر نوع و میزان افزودنی‌های معدنی در اسیای کلینکر پرداخته است. هدف از این تحقیق بهینه‌سازی مدار خردایش از طریق کاهش زمان ماند مواد در آسیای کلینکر و به تبع آن کاهش انرژی مصرفی و همچنین بهبود خواص محصول تولیدی از طریق نوع و میزان مواد افزودنی مورد استفاده است. بدین منظور تحقیقات آزمایشگاهی در دو مرحله، بررسی تاثیر اضافه کردن کمک ساینده‌های معدنی بر خردایش کلینکر (و به تبع کاهش انرژی مصرفی و در نهایت انتشار گازهای مضر به جو) و تاثیر افزودنی‌ها بر مقاومت فشاری بتن تهیه شده از این ترکیب ها انجام گرفته است.

۲- مواد و روش

۲-۱- مواد

افزودنی‌های معدنی مورد استفاده در آسیای کلینکر سیمان (متعلق به کارخانه سیمان خوی) در این تحقیق شامل پوزولان، پرلیت و پومیس هستند. پوزولان‌ها عبارتند از مواد سیلیسی، یا سیلیسی ـ آلومینی، که سیلیس آنها به علت سرعت بالای سرد شدن بصورت پوک و غیربلوری تشکیل شده است. پرلیت به مخلوط یوتکتوئیدی فریت و سمنتیت گفته می‌شود. پرلیت تحت یک استحاله اوتکتوئیدی از آهن گاما با ۰/۸ درصد کربن در دمای ۷۲۳ درجه سانتیگراد حاصل می‌شود. پومیس نیز شیشه آتشفشانی سیلیسی است که رنگ روشنی دارد. انواع مختلف پومیس ترکیب

[1] triethylenetetramine
[2] tetraethylenepentamine
[3] diethanolamine
[4] thiethanolamine

www.SID.ir

Archive of SID

شیمیائی مشابهی دارند. از نظر کانی‌شناسی پومیس شامل ۲۰ درصد کانی‌های پلاژیوکلاز، آنورتوز، آپاتیت، بیوتیت، هیپرستن و کانی-های مشابه و ۸۰ درصد بقیه آن خمیری با بافت شیشه‌ای است. در ترکیب شیمیایی پومیس املاح محلول در آب وجود ندارد، در نتیجه ملات تهیه شده با بتن، پس از اتمام کار به هیچ وجه تغییر شکل نمی‌دهد. در جدول ۱ نتایج مربوط به آنالیز اشعه ایکس (XRF) نمونه‌های کلینکر، پوزولان، پومیس، پرلیت و گچ آمده است.

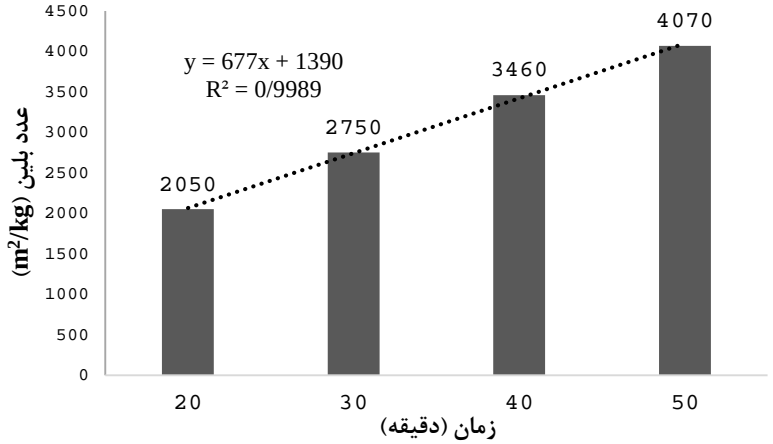
جدول ۱- آنالیز XRF کلینکر، پوزولان، پومیس و پرلیت مورد استفاده در آزمایش‌های خردایش سیمان و تعیین مقاومت فشاری بتن

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	LOI
کلینکر	۲۱/۷۷	۵/۴۰	۳/۷۶	۶۴/۲۴	۲/۴۲	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۶۸	۰/۱۹
پوزولان	۶۵/۴۶	۱۲/۲۹	۲/۷۵	۹/۵۶	۱/۱۶	–	۲/۲۶	۰/۶۷	۵/۸۴
پرلیت	۶۳/۰۷	۱۵/۲۴	۲/۳۵	۳/۱۳	۲/۰۵	–	۲/۶۹	۰/۶۹	–
پومیس	۶۱	۱۶/۱	۴/۴	۳/۷	۲/۴	–	۲/۲۸	۳/۹۳	۵/۱۲
گچ	–	–	–	۳۲/۲	–	۴۶	–	–	۲۱/۵

۲-۲- روش

هر یک از نمونه‌های کلینکر سیمان، گچ، پوزولان، پرلیت و پومیس تحت فرایند خردایش با استفاده از سنگ‌شکن‌های فکی و غلتکی قرار گرفته‌اند. سپس محصول خروجی از سنگ‌شکن غلتکی (که دارای اندازه ذرات کمتر از ۲ میلیمتر بوده) به منظور خردایش بیشتر و نرم‌کنی به آسیای گلوله‌ای منتقل شده است. ابتدا به منظور خردایش مواد اولیه سیمان و تعیین زمان بهینه نرم‌کنی با استفاده از آسیا، ترکیب ۹۶ درصدی کلینکر و ۴ درصد گچ به آسیای گلوله‌ای وارد و در زمان-های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه فرایند آسیاکنی، نمونه‌های جهت اندازه-گیری بلین[1] تهیه گردید (شکل ۲). همانگونه که مشاهده می‌گردد، با افزایش زمان آسیاکنی مقدار بلین با یک رابطه خطی (با زمان) افزایش می‌یابد.آزمایش بلین یا تعیین رقم بلین به منظور تعیین درجه خردایش یا نرمی سیمان انجام می‌گیرد. با توجه به اینکه اندازه ذرات سیمان یکی از عوامل موثر بر سرعت هیدراته شدن آن است و با کاهش اندازه ذرات سرعت هیدراسیون افزایش می‌یابد، تعیین عدد بلین سیمان از اهمیت بالایی برخوردار است [۲۳]. حداقل استاندارد بلین[2] در سیمان پرتلند معمولی، (m^2/kg) ۲۸۰۰ است، لذا زمان بهینه فرایند آسیاکنی در این تحقیق ۳۵ دقیقه تعیین گردید.

در شکل ۳ نمودار مربوط به دانه‌بندی نمونه کلینر پس از فرایند آسیاکنی نمایش آمده است. براساس شکل، d_{80} ذرات کلینکر پس از خردایش حدودا μm ۲۰۰ است (زمان آسیاکنی براساس استاندارد بلین محاسبه شده ۳۵ دقیقه منظور شده است). در شکل ۳ همچنین نمودارهای مربوط به محصول خروجی آسیای گلوله‌ای گچ و هر یک از افزودنی‌های معدنی پوزولان، پرلیت و پومیس آمده است



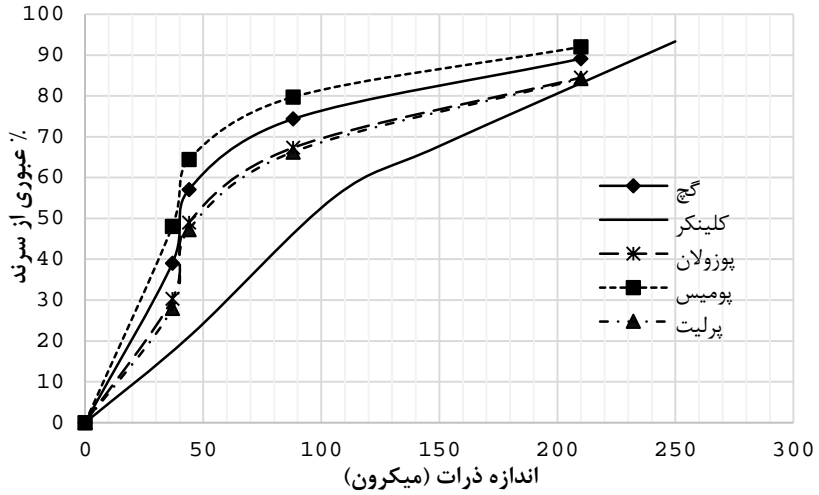
شکل ۲- بلین سیمان در زمان‌های متفاوت فرایند آسیاکنی

[1] Blaine

[2] DIN 1164-85

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- نمودارهای آنالیز سرندی نمونه کلینکر (کارخانه سیمان خوی)، گچ و افزودنی‌های معدنی پوزولان، پرلیت و پومیس، خروجی آسیای گلوله‌ای

در پروسه ساخت بلوک‌های بتنی برای انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری، ۱۳۵۰ گرم سنگدانه (سنگدانه‌های ماسه‌ای مطابق با استاندارد دین[1] آلمان)، ۴۵۰ گرم سیمان و ۲۲۵ میلی‌لیتر آب با یکدیگر مخلوط و پس از اختلاط کامل در قالب‌های بتنی به ابعاد ۱۰×۱۰ سانتیمتر ریخته شده‌اند. لازم به ذکر است که نسبت مواد بکار رفته در ساخت بلوک‌های بتنی در تمام آزمایش‌ها یکسان بوده و فقط ترکیب سیمان بکار رفته در آنها متفاوت است. در جدول ۲ اطلاعات مربوط به طرح اختلاط کمک ساینده‌ها با کلینکر برای تهیه سیمان در حالت‌های متفاوت آمده است. سپس بلوک‌ها از قالب‌های بتن خارج شده و در داخل آب قرار داده شده‌اند. آزمایش‌های مقاومت فشاری در سنین ۲، ۳، ۷ و ۲۸ روزه بر روی بلوک‌های بتنی انجام گرفته است. برای اعمال بار محوری به بلوک‌های بتنی و اندازه‌گیری مقاومت فشاری از دستگاه بارگذاری صلب ـ خودکار استفاده شده است (شکل ۴). در طی این آزمایش با قرار دادن نمونه در بین صفحات فولادی ماشین بارگذاری و اعمال بار محوری با استفاده از اهرم دستگاه، میزان بار اعمالی یا مقاومت نمونه اندازه‌گیری می‌شود.

جدول ۲- طرح اختلاط خوراک آسیای کلینکر سیمان با افزودنی‌های مختلف

ردیف	درصد وزنی کلینگر	افزودنی معدنی	درصد وزنی افزودنی معدنی	کمک ساینده آلی	بلین
۱	۸۵	پومیس	۱۵	–	۳۱۶۰
۲	۹۰	پومیس	۱۰	–	۳۰۷۰
۳	۹۵	پومیس	۵	–	۲۷۵۶
۴	۸۵	پرلیت	۱۵	–	۲۹۷۶
۵	۹۰	پرلیت	۱۰	–	۳۰۷۰
۶	۹۵	پرلیت	۵	–	۲۹۰۰
۷	۸۵	پوزولان	۱۵	–	۴۵۴۶
۸	۹۰	پوزولان	۱۰	–	۴۲۷۰
۹	۹۵	پوزولان	۵	–	۳۶۵۵
۱۰	۸۵	پومیس	۱۵	۳ گرم	۳۲۳۴
۱۱	۸۵	پرلیت	۱۵	۳ گرم	۳۰۴۶
۱۲	۸۵	پوزولان	۱۵	۳ گرم	۴۳۴۰

[1] Din (1045)

www.SID.ir

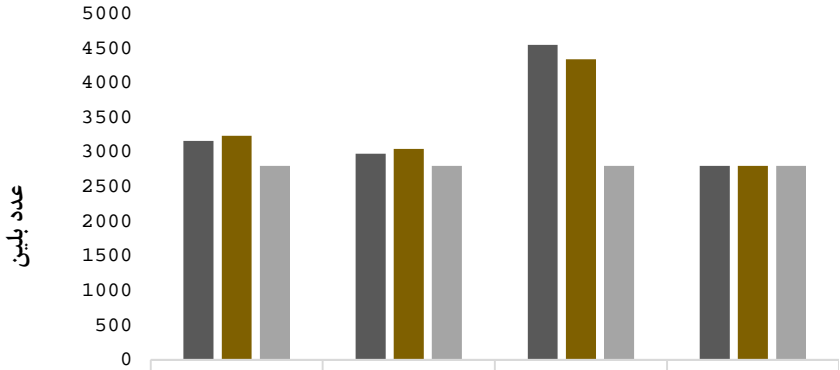
Archive of SID

شکل ۴- تصویری از دستگاه بارگذاری مورد استفاده در تعیین مقاومت فشاری نمونه بلوک‌های بتنی

۳- بحث و نتایج

۳-۱- بررسی تاثیر میزان افزودنی‌های مختلف معدنی بر آسیای کلینکر سیمان

در شکل ۵ نمودار مقایسه‌ای عدد بلین در حالات استفاده از افزودنی‌های متفاوت معدنی و ترکیب آنها با کمک ساینده‌های آلی نمایش داده شده است. عدد بلین سیمان فاقد مواد افزودنی در مدت زمان آسیاکنی ۳۵ دقیقه، ۲۸۰۰ اندازه‌گیری شده است. با مقایسه این مقدار با بلین سیمان‌های حاوی مواد افزودنی مشاهده می‌شود که عدد بلین سیمان در صورت استفاده از کمک ساینده‌ها، افزایش چشمگیری داشته است. بعبارت دیگر، میزان خردایش افزایش یافته است. افزودنی‌های معدنی و آلی در طی پروسه آسیای کلینکر سیمان، با قرار گرفتن بین ترک‌های بسیار ریز که در اثر فشار یا هر عامل دیگر در کلینکر بوجود آمده‌اند، نیروی الکتریکی دو طرف دیواره را خنثی نموده و باعث پیشرفت ترک و خرد شدن دانه‌های کلینکر می‌شوند. بعبارت دیگر هنگامی که نرمی ذرات به اندازه معینی می‌رسد، نیروی الکترواستاتیکی (واندروالسی) بین ذرات افزایش می‌یابد. با اضافه نمودن کمک ساینده‌ها، این مواد با قرارگیری در بین دانه‌ها و تضعیف نیروی واندروالسی بین ذرات، آنها را از یکدیگر جدا می‌کنند. از طرف دیگر سختی افزودنی‌های معدنی موجب سایش و خردایش ذرات کلینکر می‌شود. با توجه به شکل ۶، بیشترین افزایش بلین به میزان ۳۷/۶۵ درصد مربوط به ترکیب کلینکر با ۱۵ درصد پوزولان است. با توجه به شکل در موارد استفاده از پرلیت و پومیس در ترکیب با کمک ساینده آلی عدد بلین افزایش یافته است. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز XRF (جدول ۱)، میزان سیلیس موجود در نمونه پوزولان بیشتر از نوع دیگر است. علت افزایش عدد بلین در حالت استفاده از افزودنی پوزولان را می‌توان ناشی از میزان سیلیس بیشتر آن دانست. در حالت ترکیب کمک ساینده آلی و پوزولان عدد بلین کاهش یافته است. علت این امر را می‌توان، واکنش احتمالی میان پوزولان با کمک ساینده آلی بیان کرد.



	پومیس	پرلیت	پوزولان	فاقد افزودنی معدنی
سیمان با ۱۵ درصد افزودنی معدنی	3160	2976	4546	2800
سیمان با ۱۵ درصد افزودنی معدنی و ۳ گرم آلی	3234	3046	4340	2800
سیمان بدون افزودنی های معدنی	2800	2800	2800	2800

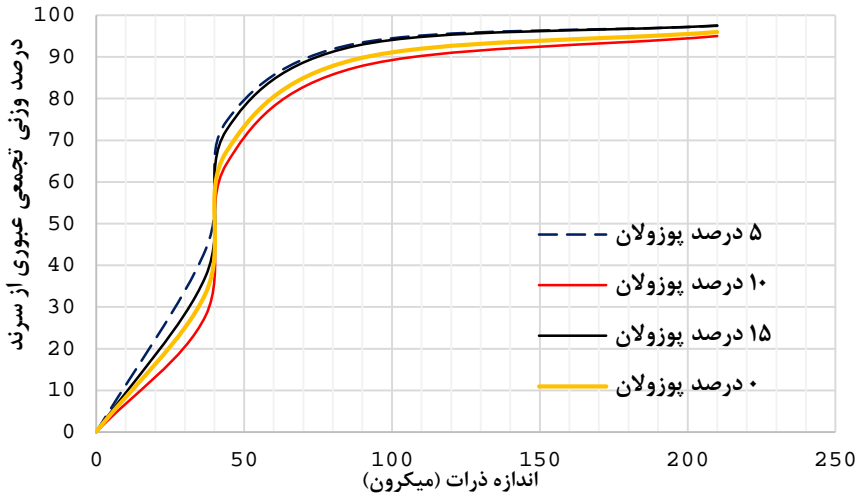
شکل ۵- عدد بلین در حالت استفاده از افزودنی‌های معدنی و حالت ترکیب افزودنی‌های معدنی و آلی در خردایش

www.SID.ir

Archive of SID

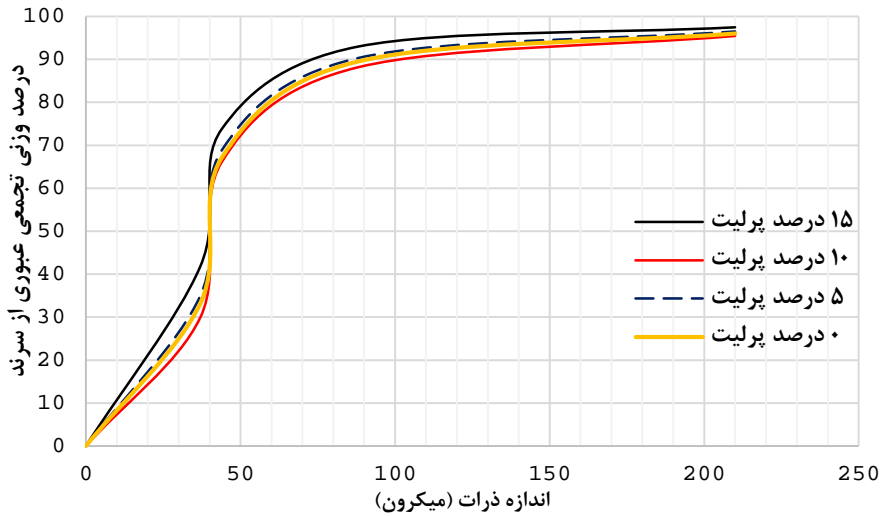
در شکل ۶ نمودار مربوط به دانه‌بندی کلینکر سیمان، در حضور و عدم حضور کمک ساینده پوزولان نمایش داده شده است. مقدار d_{80} ذرات کلینکر سیمان در شرایط عدم استفاده از کمک ساینده ۶۰ میکرون است. در جدول ۳، d_{80} ذرات کلینکر در حضور مقادیر مختلف از کمک ساینده پوزولان آمده است.

با توجه به جدول، در حالت استفاده از کمک ساینده پوزولان، میزان ۵ درصد کمک ساینده منجر به بیشترین میزان خردایش و تولید محصولاتی با d_{80}، ۵۰ میکرون شده است. با افزایش میزان پوزولان به ۱۰ درصد، d_{80} محصولات افزایش و با افزایش میزان پوزولان به ۱۵ درصد، d_{80} مجددا روند نزولی داشته است. با افزایش میزان پوزولان، به تبع مقدار SiO_2 موجود در نمونه نیز افزایش می‌یابد (بصورت یک رابطه خطی)؛ در نتیجه می‌توان گفت مقدار ذرات سخت افزایش یافته و به تبع خردایش آنها مشکل‌تر و در نهایت منجر به افزایش d_{80} نمونه گردیده است.



شکل ۶- نمودار دانه‌بندی کلینکر سیمان در حضور کمک ساینده پوزولان

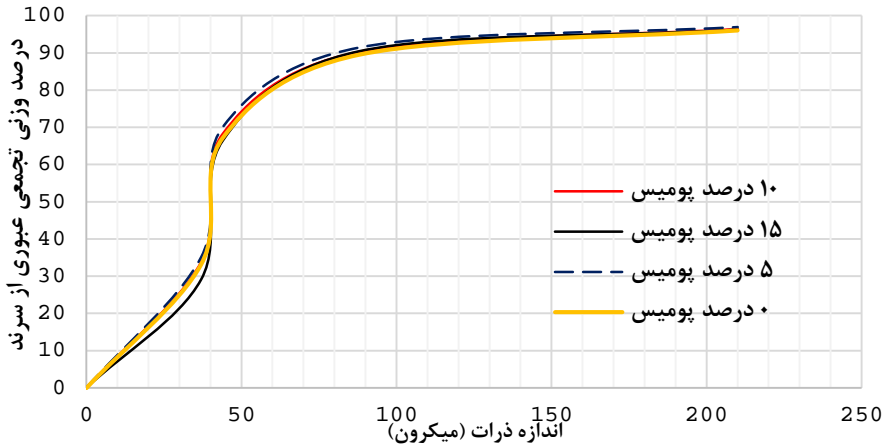
شکل‌های ۷ و ۸ نیز به ترتیب نمایش‌دهنده تاثیر افزودنی‌های پرلیت و پومیس بر خردایش کلینکر سیمان هستند. مقادیر d_{80} مربوط به این نمودارها در جدول ۳ آمده است. در مورد کمک ساینده پرلیت بهینه‌ترین خردایش مربوط به ۱۵ درصد پرلیت و ۸۵ درصد کلینکر و گچ است که منجر به تولید محصولی با d_{80}، ۵۰ میکرون شده است. این حالت در استفاده از کمک ساینده پومیس، در ترکیب ۵ درصد پومیس و ۹۵ درصد کلینکر و گچ حادث شده است. d_{80} محصول تولیدی در این ترکیب، ۵۵ میکرون است.



شکل ۷- نمودار دانه‌بندی کلینکر سیمان در حضور کمک ساینده پرلیت

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- نمودار دانه‌بندی کلینکر سیمان در حضور کمک ساینده پومیس

جدول ۳- d_{80} ذرات کلینکر سیمان در حضور مقادیر متفاوت از کمک ساینده‌های مختلف

	میزان کمک ساینده	پوزولان	پرلیت	پومیس
d_{80} (میکرون)	۰	۶۰	۶۰	۶۰
	۵	۵۰	۵۸	۵۵
	۱۰	۶۲	۶۱	۵۸
	۱۵	۵۱	۵۰	۵۸

با توجه به جدول ۳، ترکیب ۵ درصدی پوزولان و ۹۵ درصدی کلینکر و گچ دارای بهینه‌ترین پاسخ برای خردایش کلینکر سیمان است. آسیاکنی این ترکیب در مدت زمان ۳۵ دقیقه منجر به تولید محصولی با d_{80}، ۵۰ میکرون می‌شود. همچنین ترکیب ۱۵ درصد پرلیت و ۸۵ درصد کلینکر و گچ، منجر به حصول شرایط مشابهی شده است. تصمیم‌گیری در انتخاب ترکیب مناسب منوط به انجام مطالعات اقتصادی در رابطه با مقرون به‌صرفه بودن، حالت انتخابی از نظر کاهش میزان مصرف کلینکر، افزایش تولید و سایر خواص سیمان از جمله مقاومت فشاری محصول تولیدی است.

۳-۲- تاثیر ترکیب کمک ساینده‌های آلی با افزودنی‌های معدنی بر آسیای کلینکر سیمان

در طی آزمایشی به منظور بررسی تاثیر کمک ساینده‌های آلی بر خردایش کلینکر سیمان، با ترکیب افزودنی‌های معدنی، کمک ساینده آلی و کلینکر به بررسی این موضوع پرداخته شد. در شکل ۹ نمودار مربوط به دانه‌بندی کلینکر سیمان در حضور ۱۵ درصد افزودنی معدنی و ۳ گرم کمک ساینده آلی نمایش داده شده است. با توجه به شکل ترکیب ۸۵ درصدی کلینکر و گچ با ۱۵ درصد پوزولان و ۳ گرم کمک ساینده آلی، سبب کاهش d_{80} ذرات کلینکر به ۴۰ میکرون شده است. این ترکیب در حضور کمک ساینده‌های پرلیت و پومیس (به جای پوزولان) به ترتیب محصولی با d_{80}، ۷۷ و ۶۰ میکرون تولید کرده است.

همانگونه که در قسمت‌های پیشین ذکر گردید، آسیاها در صنعت تولید سیمان، مصرف کننده بخش عمده انرژی هستند. در حالت استفاده از افزودنی‌های معدنی با توجه به افزایش عدد بلین محصول خروجی، می‌توان گفت که این مواد تاثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های آسیاکنی خواهند داشت. با در نظر گرفتن مدل مخلوط کامل برای آسیای کلینکر سیمان (روابط ۱ و ۲)، استفاده از افزودنی‌های معدنی با افزایش نرخ شکست، موجب کاهش زمان ماند مواد در داخل آسیا و در نتیجه افزایش ظرفیت خوراک ورودی به آسیا خواهد شد.

$$P = D.R^{-1}.R.s \quad (۱)$$

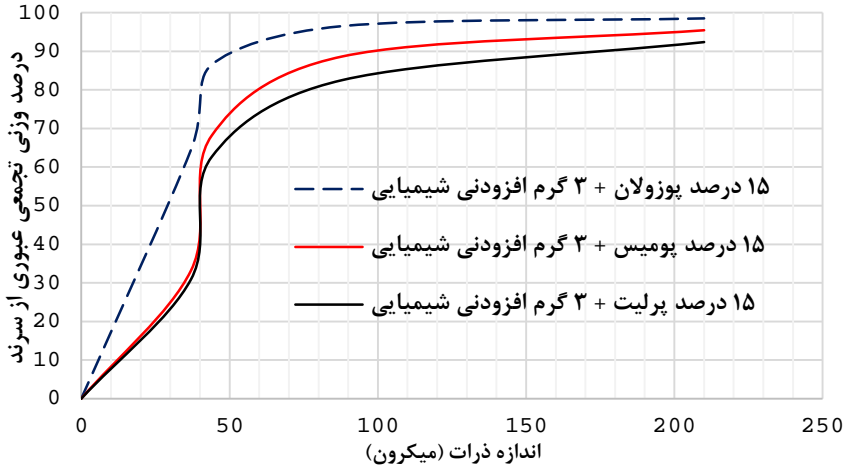
$$R.s = (I - A)^{-1}.(F - P) \quad (۲)$$

در روابط فوق، P پارامتر نرخ محصول، R نرخ شکست، A ماتریس تابع شکست و F نرخ خوراک است.

از طرف دیگر افزایش میزان تولید با توجه به ثابت بودن میزان نرمی (عدد بلین) سبب کاهش هزینه‌های تولید و نیز کاهش مصرف انرژی می‌شود. همچنین افزودنی‌های معدنی با توجه به کاهش رخداد پدیده توده‌ای شدن، سبب بهبود بازده آسیا می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- نمودار دانه‌بندی کلینکر سیمان در حضور توام کمک ساینده‌های معدنی و آلی

۳-۳- بررسی تاثیر میزان افزودنی‌های مختلف معدنی سیمان بر مقاومت فشاری بتن

افزودنی‌های مورد استفاده در فرایند خردایش سیمان، تاثیر شیمیایی قوی بر هیدراتاسیون سیمان دارند. این مسئله موجب امکان تولید محصول با فرمولاسیون خاص برای ارتقا مقاومت فشاری، تنظیم زمان گیرش و بهبود کارکرد محصول نهایی خواهد شد. بطورکلی استفاده از کمک ساینده‌ها با توجه به بهبود توزیع اندازه ذرات و افزایش سطح ویژه، سبب افزایش مقاومت فشاری می‌شود. در جدول ۴ مقادیر اندازه‌گیری شده برای مقاومت فشاری بتن در حالت استفاده و عدم بکارگیری افزودنی‌های معدنی نمایش داده شده است. با توجه به جدول در برخی حالات (مقاومت‌های ۲ و ۳ روزه) با افزودن کمک ساینده، مقاومت فشاری بتن کاهش یافته است. کاهش مقاومت بتن را می‌توان ناشی از کم شدن درصد وزنی کلینکر در ترکیب سیمان در حالت استفاده از کمک ساینده دانست. اما بطورکلی با افزایش سن بتن حاوی مواد کمک ساینده، مقاومت فشاری نسبت به بتن فاقد کمک ساینده افزایش یافته است. در نهایت ترکیب ۵ درصد پوزولان و ۹۵ درصدی کلینکر و گچ منجر به حصول بیشترین مقاومت فشاری به میزان ۳۷۶/۸۴ مگا پاسگال شده است.

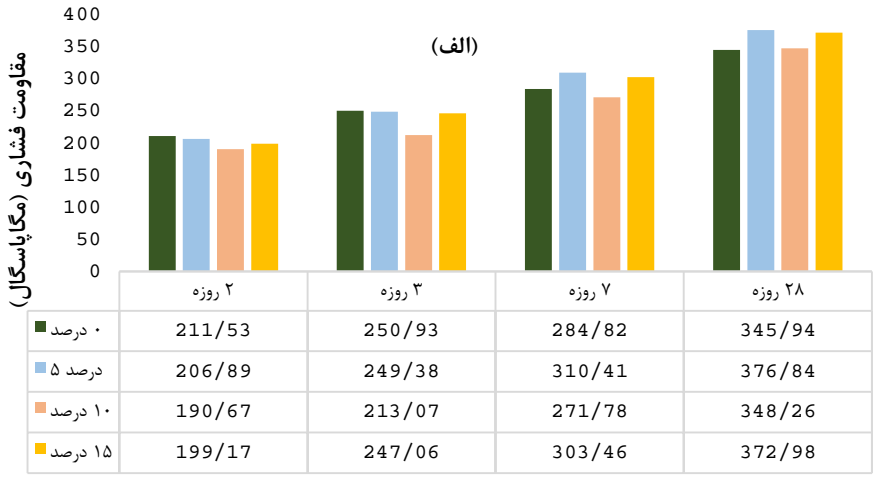
جدول ۴- مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف در حضور و عدم حضور کمک ساینده‌ها

عمر بتن	مقاومت فشاری بتن بدون کمک ساینده (MPa)	مقاومت فشاری بتن حاوی مقادیر متفاوت کمک ساینده پرلیت (MPa)			مقاومت فشاری بتن حاوی مقادیر متفاوت کمک ساینده پومیس (MPa)			مقاومت فشاری بتن حاوی مقادیر متفاوت کمک ساینده پوزولان (MPa)		
		٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۵	٪۱۰	٪۱۵	٪۵	٪۱۰	٪۱۵
۲ روزه	۲۱۱/۵۳	۲۰۷/۶۷	۱۹۶/۸۵	۱۸۵/۲۶	۱۹۸/۴۰	۱۸۵/۲۶	۱۷۵/۹۹	۲۰۶/۹۰	۱۹۰/۶۷	۱۹۹/۱۷
۳ روزه	۲۵۰/۹۳	۲۴۸/۶۱	۲۳۳/۹۳	۲۲۶/۲۱	۲۲۲/۳۴	۲۰۳/۸۰	۱۹۴/۵۳	۲۴۹/۳۸	۲۱۳/۰۷	۲۴۷/۰۶
۷ روزه	۲۸۴/۸۲	۲۹۸/۸۲	۲۸۸/۰۱	۲۶۳/۲۹	۲۷۷/۹۶	۲۵۰/۹۳	۲۴۱/۶۶	۳۱۰/۴۱	۲۷۱/۷۸	۳۰۳/۴۶
۲۸ روزه	۳۴۵/۹۴	۳۵۵/۲۱	۳۳۸/۲۲	۳۳۰/۵۰	۳۶۹/۱۲	۳۲۰/۴۵	۲۹۷/۲۸	۳۷۶/۸۴	۳۴۸/۲۶	۳۷۲/۹۸

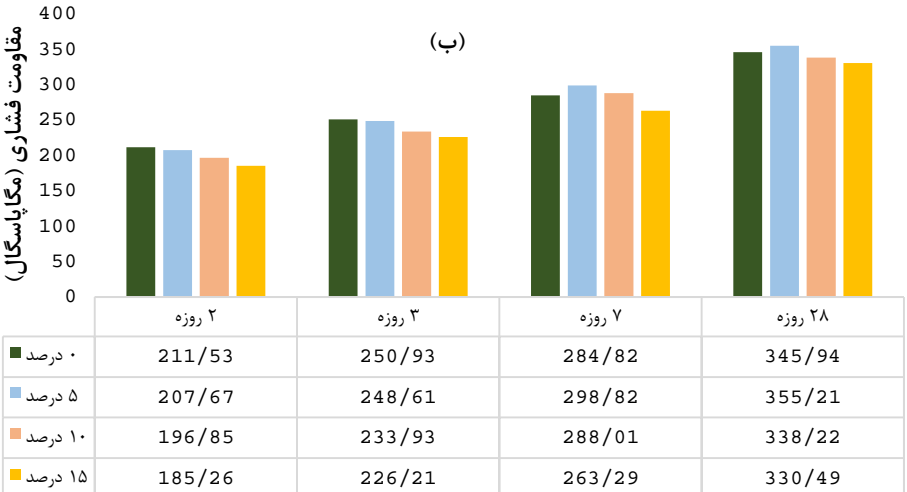
نتایج آزمایش‌های اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن حاوی کمک ساینده سیمان، در سنین مختلف ۲، ۳، ۷ و ۲۸ روزه در نمودارهای شکل ۱۰ نمایش داده شده است. با توجه به شکل، با گذشت زمان مقاومت فشاری بتن در تمامی حالات افزایش چشمگیری داشته است. نتایج مشابه در مطالعات صورت گرفته در رابطه با مقاومت فشاری بتن گزارش شده است [۲۴]. علت این امر روند نسبتا کند پدیده هیدراته شدن سیمان است. با گذشت زمان و افزایش هیدراسیون سیمان، مقاومت فشاری بتن ساخته شده از آن افزایش می‌یابد. در تمامی دوره‌ها یا سنین اندازه‌گیری مقاومت فشاری و در مورد تمامی کمک ساینده‌ها، افزودن ۵ درصد کمک ساینده به کلینکر سیمان، موجب حصول ماکزیمم مقاومت فشاری تک محوره شده است. این امر ناشی از درصد وزنی بیشتر کلینکر (۹۵ درصد) در ترکیب سیمان نسبت به سایر حالات است.

www.SID.ir

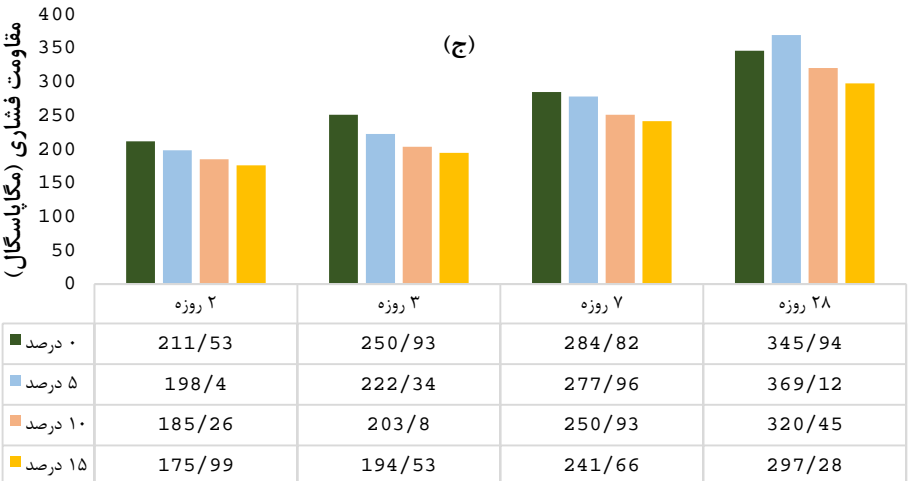
Archive of SID



	۲ روزه	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۰ درصد	211/53	250/93	284/82	345/94
۵ درصد	206/89	249/38	310/41	376/84
۱۰ درصد	190/67	213/07	271/78	348/26
۱۵ درصد	199/17	247/06	303/46	372/98



	۲ روزه	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۰ درصد	211/53	250/93	284/82	345/94
۵ درصد	207/67	248/61	298/82	355/21
۱۰ درصد	196/85	233/93	288/01	338/22
۱۵ درصد	185/26	226/21	263/29	330/49



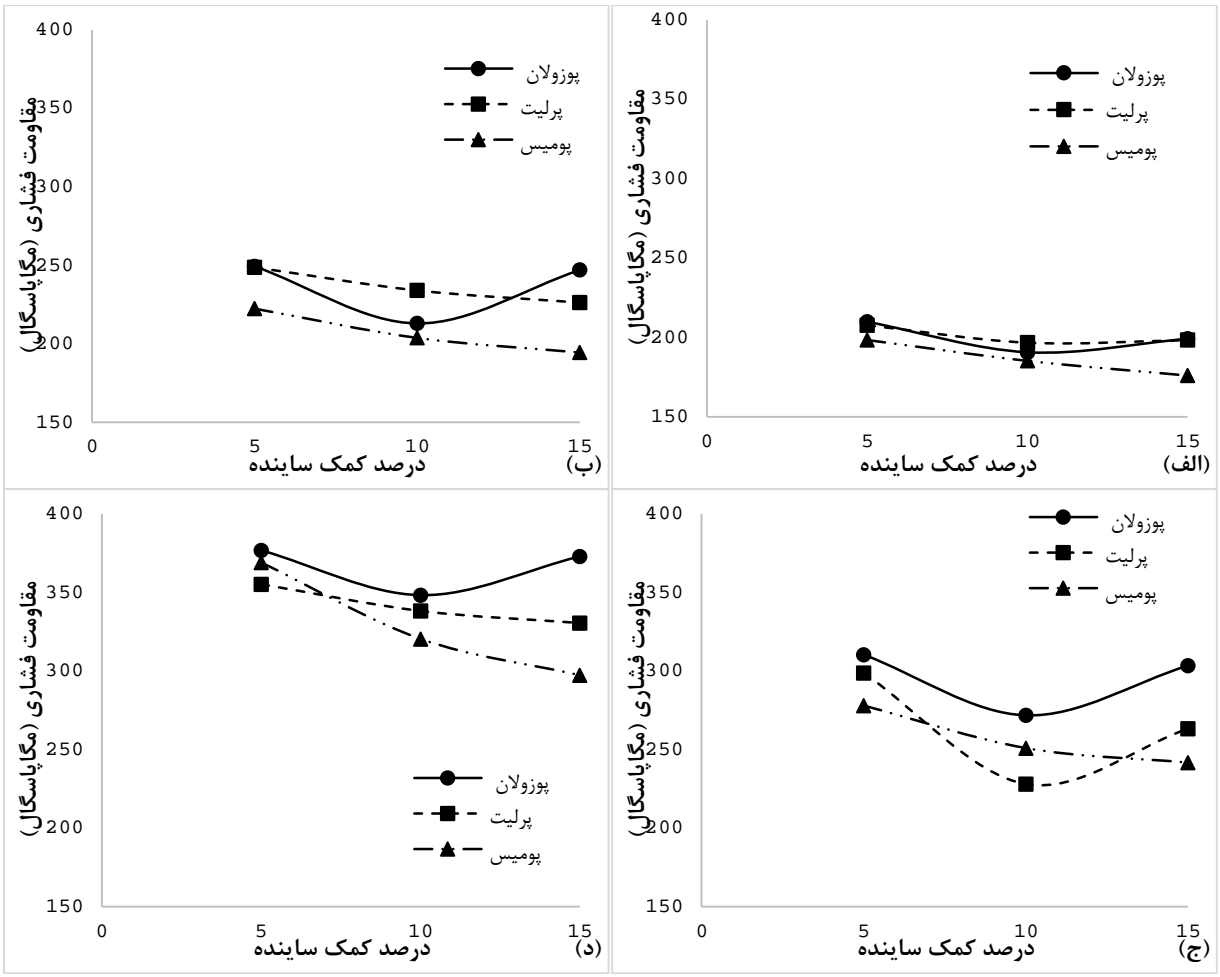
	۲ روزه	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
۰ درصد	211/53	250/93	284/82	345/94
۵ درصد	198/4	222/34	277/96	369/12
۱۰ درصد	185/26	203/8	250/93	320/45
۱۵ درصد	175/99	194/53	241/66	297/28

شکل ۱۰- مقاومت فشاری بتن محتوی کمک ساینده الف) پوزولان، ب) پرلیت و ج) پومیس در سنین مختلف

در شکل ۱۱ روند تاثیر میزان کمک ساینده بر مقاومت فشاری بتن نمایش داده شده است. براساس شکل، در رابطه با مواد معدنی پرلیت و پومیس، افزایش میزان کمک ساینده موجب کاهش مقاومت فشاری تک محوره شده، که این روند نزولی در مقاومت ۲ روزه از شیب بیشتری برخوردار است. افزایش پوزولان ابتدا موجب کاهش مقاومت فشاری و سپس در تمامی سنین بتن روند افزایشی از خود نشان داده است. با توجه به شکل ۱۲، با گذشت زمان و در مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن، تاثیر تغییرات میزان کمک ساینده‌ها بر مقاومت‌فشاری به مراتب کمتر شده و نمودارها از شیب ملایمی برخوردار هستند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱- رابطه مقاومت فشاری بتن با کمک خردایش‌های معدنی سیمان. الف)مقاومت ۲، ب) مقاومت ۳، ج) مقاومت ۷ و د) مقاومت ۲۸ روزه

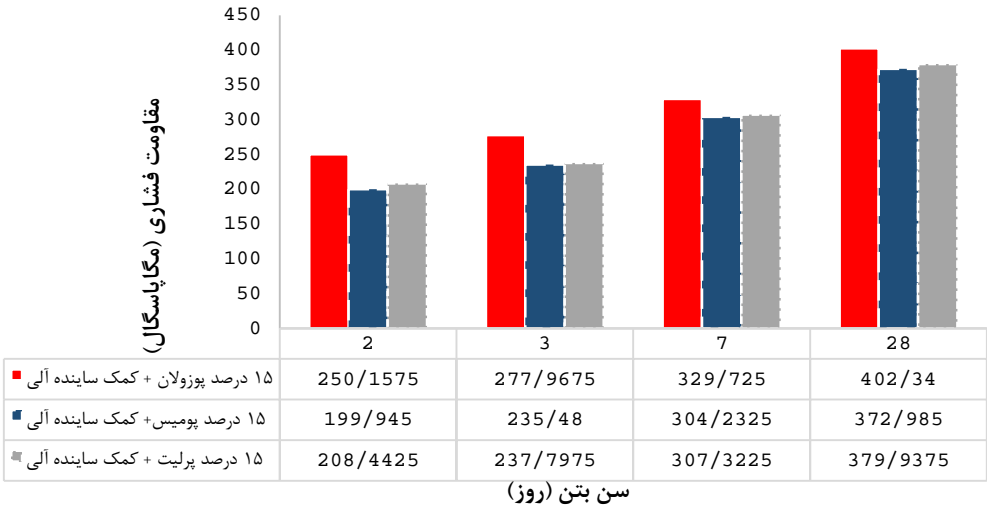
در این تحقیق همچنین تاثیر استفاده از کمک ساینده‌های آلی بر مقاومت فشاری بتن بررسی شده است. در جدول ۵ و شکل ۱۲ نتایج مربوط به اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن در حضور و عدم حضور کمک ساینده آلی آمده است. براساس نتایج حاصله، افزودن کمک ساینده آلی به ترکیب سیمان و کمک ساینده‌های معدنی، موجب افزایش چشمگیر مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف شده است. بیشترین تاثیر کمک ساینده آلی، در ترکیب آن با پوزولان و در مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن است.

جدول ۵- تاثیر کمک ساینده‌های آلی سیمان بر مقاومت فشاری بتن

افزودنی	مقاومت ۲ روزه	مقاومت ۳ روزه	مقاومت ۷ روزه	مقاومت ۲۸ روزه
بتن فاقد کمک ساینده	۲۱۱/۵۳	۲۵۰/۹۳	۲۸۴/۸۲	۳۴۵/۹۴
پوزولان	۱۹۹/۱۷	۲۴۷/۰۶	۳۰۳/۴۶	۳۷۲/۹۸
پوزولان + کمک ساینده آلی	۲۵۰/۱۵	۲۷۷/۹۶	۳۲۹/۷۲	۴۰۲/۳۴
پرلیت	۱۸۵/۲۶	۲۲۶/۲۱	۲۶۳/۲۹	۳۳۰/۵۰
پرلیت + کمک ساینده آلی	۲۰۸/۴۴	۲۳۷/۷۹	۳۰۷/۳۲	۳۷۹/۹۳
پومیس	۱۷۵/۹۹	۱۹۴/۵۳	۲۴۱/۶۶	۲۹۷/۲۸
پومیس + کمک ساینده آلی	۱۹۹/۹۴	۲۳۵/۴۸	۳۰۴/۲۳	۳۷۲/۹۸

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲- تاثیر کمک ساینده‌های آلی سیمان بر مقاومت فشاری بتن

۳-٤- تاثیر نوع افزودنی‌های معدنی سیمان بر مقاومت فشاری بتن

کمک ساینده‌ها و بطورکلی افزودنی‌های کلینکر سیمان، تاثیر زیادی بر روی سرعت هیدراتاسیون سیمان دارند. این تاثیر می‌تواند ناشی از قابلیت کمک ساینده در حلالیت فازهای کلینکر و کریستال‌های ایجاد شده از محصولات هیدراته باشد؛ در نهایت این امر منجر به افزایش مقاومت مکانیکی بتن حاصل می‌شود. بطور کلی با مقایسه و بررسی نمودارهای شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که در تمامی سنین بتن (۲، ۳، ۷ و ۲۸ روزه)، کمک خردایش پوزولان با درصدهای وزنی ۵ و ۱۵، موجب تولید بتن با بیشترین مقاومت فشاری نسبت به حالات دیگر شده است. همچنین در تمامی حالات، کمترین مقاومت فشاری مربوط به بلوک‌های بتنی حاوی کمک ساینده معدنی پومیس است. در حالت ۱۰ درصد وزنی کمک خردایش نیز ماکزیمم مقاومت فشاری مربوط به بلوک حاوی کمک ساینده پرلیت است.

پوزولان عمدتا شامل خاکسترهای اسیدی با ترکیب داسیت و روداسیت بوده، که از دو فاز آمورف (شیشه‌ای) و بلورین تشکیل شده است. فاز شیشه‌ای عمدتا متشکل از سیلیس و آلومینوسیلیکات‌ها و فاز بلورین نیز تشکیل یافته از کوارتز، فلدسپات و کانی‌های آهن و منیزیم‌دار است. وجود سیلیس و سیلیکات آمورف در پوزولان موجب ایجاد خاصیت اسیدی در آن و به تبع میل ترکیبی شدید آن با آهک و سایر قلیاها شده است [۲۵]. با توجه به اینکه سیلیس یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده پوزولان است، مقاومت بالای بتن‌های حاوی پوزولان را می‌توان ناشی از وجود میزان بالای سیلیس در ساختار آن نسبت به سایر مواد (جدول ۱) و میل ترکیبی شدید پوزولان با آهک موجود در کلینکر سیمان دانست. همچنین براساس مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته، ذرات سیلیس با افزایش چگالی و تراکم بتن، موجب افزایش مقاومت فشاری آن می‌شوند [۲۶].

پرلیت یک سنگ آتشفشانی طبیعی اسیدی حد واسط دارای بافت شیشه‌ای است. از کاربردهای پرلیت استفاده از آن برای تهیه پوزولان سیمان و بتن است. همچنین با توجه به سختی چشمگیر پرلیت (۶-۵ در استاندارد موس) از آن بعنوان کمک ساینده استفاده می‌شود. پرلیت در اثر چکش‌کاری یا ضربه به ذرات کوچک کروی تبدیل شده که بر روی سطوح خود دارای شکاف-های کوچکی هستند [۲۵]. بنابراین می‌توان گفت کاهش مقاومت فشاری بتن حاوی کمک خردایش (سیمان) پرلیت نسبت به پوزولان، ناشی از وجود شکستگی‌های ریز در ساختار ذرات پرلیت است.

پومیس بعنوان یک کانی سیلیسی امروزه کاربرد فراوانی در ساخت بلوک‌های بتنی سبک دارد. ساختار متخلخل پومیس موجب کاهش وزن بلوک ساخته شده از پومیس به $\frac{1}{4}$ بلوک بتنی معمولی شده است [۲۷]. همانگونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد، بتن حاوی کمک ساینده سیلیس دارای کمترین مقاومت فشاری نسبت به دو کمک خردایش پرلیت و پوزولان است. ساختار متخلخل و

www.SID.ir

Archive of SID

در نتیجه چگالی پایین پومیس می‌تواند توجیه کننده مقاومت پایین بتن حاوی این کمک خردایش باشد. از طرف دیگر سختی بالای پومیس موجب کاربرد کمک ساینده‌گی و خاصیت صیقل‌دهندگی آن شده است. برای استفاده از پومیس در ترکیب سیمان، بهتر است که دیگر مواد افزودنی نظیر پوزولان ترکیب شده و سپس به ترکیب سیمان اضافه شود.

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تاثیر کمک ساینده‌های معدنی مورد استفاده در خردایش کلینکر سیمان بر خردایش سیمان و مقاومت فشاری بتن بررسی گردید. براساس نتایج استفاده از کمک ساینده‌ها موجب افزایش عدد بلین (درجه نرمی سیمان) شده‌اند. طرح اختلاط ۸۵ درصد کلینکر و ۱۵ درصد پوزولان منجر به حصول بیشترین مقدار بلین سیمان به میزان (m^2/kg) ۴۵۴۶ شده است که حدود ۳۸ درصد نسبت به حالت عدم استفاده از کمک ساینده افزایش داشته است. همچنین ترکیب کمک ساینده آلی با کمک ساینده‌های معدنی پومیس و پرلیت موجب افزایش ۲/۳ درصدی بلین آنها شده است. بنابراین استفاده از پوزولان تاثیر چشمگیری در کاهش انرژی مصرفی آسیا از طریق کاهش زمان رسیدن به اندازه ذرات موردنظر دارد.

در مقاومت‌های ۲ و ۳ روزه، استفاده از کمک ساینده‌ها موجب کاهش مقاومت فشاری بتن شده است. بیشترین میزان افت مقاومت (در تمام سنین) مربوط به بلوک حاوی کمک ساینده پرلیت است. در مورد هر کمک ساینده با گذشت زمان (افزایش سن بتن) مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. در تمامی آزمایش‌های صورت گرفته بهینه‌ترین مقدار کمک ساینده موثر بر مقاومت فشاری بتن، ۵ درصد وزنی ترکیب کمک ساینده و کلینکر است و با افزایش میزان کمک ساینده، مقاومت فشاری بتن کاهش یافته است. با گذشت زمان و در مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن، تاثیر تغییر میزان کمک خردایش‌ها بر مقاومت فشاری به مراتب کمتر شده و مقاومت‌ها از روند کاهشی ملایمی برخوردار هستند. همچنین افزودن کمک ساینده‌های آلی به سیمان موجب افزایش چشمگیر مقاومت فشاری بتن شده است. با بررسی تاثیر نوع کمک ساینده معدنی بر مقاومت فشاری بتن نتیجه گردید که ترکیب ۱۵ درصد وزنی پوزولان، ۸۵ درصد کلینکر، ۴ درصد گچ و ۳ گرم کمک ساینده آلی، بهینه‌ترین ترکیب کلینکر سیمان بوده که موجب کمترین افت مقاومت نسبت به سایر حالات شده است. در این حالت مقاومت ۲ روزه بتن حاوی کمک ساینده، ۳ درصد نسبت به بتن فاقد کمک ساینده افزایش داشته است؛ در حالیکه مقاومت‌های ۳ و ۷ روزه به ترتیب ۸/۲۱ و ۱۳/۱۳ درصد کاهش یافته‌اند. در نهایت ترکیب ۵ درصد پوزولان و ۹۵ درصدی کلینکر و گچ منجر به حصول بیشترین مقاومت فشاری به میزان ۳۷۶/۸۴ مگا پاسگال شده است. بطورکلی می‌توان گفت که تاثیر مثبت افزودن کمک ساینده بر مقاومت فشاری بتن، در سن ۲۸ روزه آن حاصل خواهد شد.

٥- مراجع

[1] Y.H. Huang, Y.L. Chang, T. Fleiter, (2016). A critical analysis of energy efficiency 543 improvement potentials in Taiwan's cement industry. Energy Pol. 96, 14–26.
[2] E. Worreler, C. Galistky, (2004). Energy efficiency improvement opportunities for cement making, an energy star Guide for Energy and plant managers. Report LBNL- 54036, Lawrence Berkley national laboratory, Berkley.
[3] A. Avami, S. Sattari, (2007). Energy Conservation Opportunities: Cement Industry in Iran. International Journal of Energy, 3(1), 1-7.
[4] N.A. Madlool, R. Saidur, M.S. Hossain, N.A. Rahim, (2011). A critical review on energy use savings in the cement industries. Renew. Sustain. Energy Rev. 15, 2042–2060.
[5] WADE, 2007. Concrete energy saving-on-site power for the world's cement industry. Available at: /http://www.powergenworldwide.com/index/display/articledisplay/296037/articles/cogeneration-and-on-site power-production/volume-8/issue-3/features/concrete-energy-savings-on-site-power-for-the-worldrsquos cement-industry. htmlS.
[6] G.A. Boyd, (2006). Development of a performance- Based industrial Energy indicator for Cement Manufacturing Plants. Argonne National Laboratory .ANL/DIS-06-3, pp. 1-34.
[7] K. Popovic, (2001). Reducing CO2 Emission into the Atmosphere—Achievements and Experience of Croatian Cement Industry. CANMET/ACI 3th International Conference on Sustainable Development of Cement and Concrete, San Francisco. 73–84.
[8] B. Vanderborght, U. Brodmann, (2001). The Cement CO_2 Protocol: CO_2 Emissions Monitoring and Reporting Protocol for the Cement Industry.

www.SID.ir

Archive of SID

WBCSD Working Group Cement. Available at: http:// www.ghgprotocol.org.
[9] O. Altun, (2016). Simulation aided flow sheet optimization of a cement grinding circuit by considering the quality measurements. Powder Technol. 301, 1242–1251.
[10] International Energy Agency, (2015). Energy Technology Perspectives Mobilising 557 Innovation to Accelerate Climate Action, France.
[11] E.A. Abdelaziz, R. Saidur, S. Mekhilef, (2011). A review on energy saving strategies in industrial sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 150–68.
[12] H.O. Njoku, O.R. Bafuwa, C.A. Mgbemene, O.V. Ekechukwu, (2017). Benchmarking energy utilization in cement manufacturing process in Nigeria and estimation of savings opportunities. Clean Techno. Environ. Policy 19, 1639–1653.
[13] S. Fellaou, T. Bounhamidi, (2017). Evaluation of energy efficiency opportunities of a typical Moroccan cement plant: Part I. Energy Analysis, Appl. Therm. Eng. 115, 1161–1172.
[14] J. Sirchis, (2005). Energy Efficiency in the Cement Industry, Elsevier Applied Science London and New York.
[15] B. Afkhami, B. Akbarian, A. Beheshti, A.H. Kakaee, B. Shabani, (2015). Energy consumption assessment in a cement production plant. Sustain. Energy Technol. Assessments, 10, 84–89.
[16] O. Altun, (2018). Energy and cement quality optimization of a cement grinding circuit. Advanced Powder Technology, 29(7), 1713-1723.
[17] A. Jankovic, W. Valery, E. Davis, (2004). Cement grinding optimization. Miner. Eng. 17, 41–50
[18] H. Benzer, (2005). Modeling and simulation of a fully air swept ball mill in a raw material grinding circuit. Powder Technol. 150, 145–154.
[19] H. Dundar, H. Benzer, N.A. Aydogan, O. Altun, N.A. Toprak, O. Ozcan, D. Eksi, A. Sargin, (2011). Simulation assisted capacity improvement of cement grinding circuit: case study cement plant. Miner. Eng. 24, 205–210.
[20] A.M. Diab, E.M. Abd, E. Abd, A.A. Ayman, (2016). Long term study of mechanical properties, durability and environmental impact of limestone cement concrete. Alexandria Eng. J. 55(2), 1465-1482.
[21] M. Katsioti, P.E. Tsakiridis, P. Giannatos, Z. Tsibouki, J. Marinos, (2009). Characterization of various cement grinding aids and their impact on grindability and cement performance. Construction and Building Materials, 23(5), 1954-1959.
[22] G. Appa Rao, (2003). Investigations on the performance of silica fume-incorporated cement pastes and mortars. Cement and Concrete Research, 33, 1765–1770.
[23] Y.M. Zhang, T.J. Napier-Munn, (1995). Effects of particle size distribution, surface area and chemical composition on Portland cement strength. Powder Technology, 83, 245–252.
[24] A. M. Neville, (1981). Propertes of concrete. 3rd editon, Pitman publishing limited, London.
[۲۵] کلاین، ک؛ هارلبوت، ک،اس. (۱۹۰۶). " کانی‌شناسی "، ترجمه مر، فرید؛ مدبری، سروش؛ جلد دوم، چاپ سوم (۱۳۸۹)، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.
[26] A. Covdar, S. Yetgin, (2006). Avalability of tuffs from northeast of Turkey as natural pozzolan cement. Construction and building materials, 21(12), 2066-2071.
[۲۷] باقریان، علی. (۱۳۹۵). تاثیرات پوکه معدن دماوند در ساخت بتن سبک خود تراکم. هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران. ۱۵ مهر. تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

Study The Role of mineral additives on grind ability and quality of cement clinker

Ataallah Bahrami *
Assistant professor of mineral processing, Department of mining, Urmia University
Jafar Abdollahi Sharif
Professor of mining engineering, Department of mining, Urmia University
Mohsen Alilu
Graduate of MSC mining engineering, Urmia University
Fatemeh Kazemi
Ph.D. Student of mineral processing, Kashan University

Abstract

Aim of this paper is studying the effect of mineral addictive and type of them, on the processing of cement produce and quality of it. For this purpose, preparation of samples of cement clinker with additives of pozzolan, perlite, pumice and also abrasive organic compounds have been investigated their grinding efficiency. Then, concrete blocks with dimensions of 10 × 10 cm were constructed, than tested compressive strength at different ages of 2, 3, 7 and 28 days. Based on the results, the use of mineral additives has led to an increase in the number of Blaine, in other words, additives have played the role of abrasive aid. The mixing plan of 85% of clinker and 15% of pozzolan resulted in the highest amount of blast cement (4546 m^2/kg). The use of additives at the age of 2 and 3 days of concrete has reduced the compressive strength. At the age of 28 days, the presence of additives increases its compressive strength compared to the non-use of the additive. The combination of organic abrasives and mineral additives in all cases has led to an increase in concrete bulk and compressive strength. The combination of 15% by weight of pozzolan, 85% clinker, 4% gypsum and 3 g of abrasive organic compound, is the optimum combination of cement.

Keywords: Mineral Additives, Cement, Clinker milling, Energy Consumption, Compressive Strength of Concrete.

* Corresponding Author: a.bahrami@urmia.ac.ir

www.SID.ir