اثر افزودنی روان‌ساز بر جرم‌های ریختنی بسیار کم سیمان Al_2O_3-SiC حاوی میکروسیلیس

احمدرضا عباسیان[۱]، محمد حسن امین[۲] و محمدرضا رحیمی پور[۳]

چکیده

در این پژوهش اثر افزودنی‌هایی بر پایه سیتریک اسید، سدیم تری پلی فسفات، سدیم هگزا متافسفات، سدیم پلی اکریلات، کلسیم نفتالین سولفونات و بالاخره پلی کربوکسیلات اتر به عنوان روان‌ساز بر ویژگی‌های رئولوژی جرم ریختنی بسیار کم سیمان Al_2O_3-SiC حاوی میکروسیلیس از نوع لرزه روان مورد بررسی قرار گرفت. جهت مطالعه این خواص، آزمایش‌های تعیین جریان‌یابی و کارپذیری جرم ریختنی انجام شد. نتیجه‌ها نشان داد که مؤثرترین روان ساز این نوع جرم‌ها، افزودنی پلیمری پلی کربوکسیلات اتر است. در این کار پژوهشی برای نخستین بار، از افزودنی GLENIUM تجاری مورد مصرف صنعت ساختمان در صنعت دیرگداز نیز استفاده شد. مشخص شد که این افزودنی می‌تواند به تنهایی افزون بر تأمین جریان‌یابی مناسب، زمان کارپذیری مطلوب را برای جرم ریختنی بسیار کم سیمان Al_2O_3-SiC حاوی میکروسیلیس، بدون استفاده از کندکننده گیرش، فراهم سازد. مقدار بهینه این افزودنی نیز تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: دیرگداز، جرم ریختنی بسیار کم سیمان، روان‌ساز، Al_2O_3-SiC

۱- مقدمه

توسعه دیرگدازهای بسیار کم سیمان (ULCC)[۱] در اواخر دهه ۸۰ میلادی با جایگزینی بخشی از سیمان با ذره‌های بسیار ریز همانند میکروسیلیس و آلومینای فعال شده[۲] آغاز شد [۱و۲]. وجود میکروسیلس و آلومینای فعال شده به عنوان مواد اولیه ریز دانه در ترکیب شیمیایی دیرگدازهای ULCC باعث تشکیل فاز مولایت در دمای بالای $1300^{\circ}C$ به جای فازهای با نقطه ذوب پایین، همچون آنورتیت $(CaO.Al_2O_3.2SiO_2)$ و لنیت $(2CaO.Al_2O_3.SiO_2)$، در جرم‌های پر سیمان شده و سبب افزایش قابل ملاحظه استحکام گرم می‌شود [۳و۴]. به طور معمول از SiC برای افزایش رسانایی حرارتی و کاهش ضریب انبساط حرارتی و در نتیجه افزایش مقاومت به شوک حرارتی دیرگدازهای ریختنی آلومینایی استفاده می‌شود [۵]. این ویژگی‌ها و مقاومت به سایش بسیار خوب SiC، جرم‌های ریختنی Al_2O_3-SiC را به گزینه مناسبی برای کاربرد در کوره پخت کلینکر سیمان مطرح کرده است.

افزودنی‌های روان‌ساز وظیفه کاهش آب مصرفی و فراهم کردن جریان‌یابی مناسب را برای جرم ریختنی، جهت پرکردن مناسب قالب به عهده دارند. در سال‌های گذشته اثر برخی افزودنی‌های روان‌ساز بر رفتار رئولوژی دیرگدازهای ریختنی با ترکیب‌های شیمیایی متفاوت توسط پژوهشگران گزارش شده است. Studart و همکارانش [۵-۱۰] اثر روان‌سازها بر جرم‌های ریختنی دیرگداز فاقد سیمان، Oliveira و همکارانش[۱۱] اثر نمک‌های بر پایه سیترات و پلی متاکریلات بر رفتار گیرش جرم‌های ریختنی Al_2O_3 بسیار کم سیمان، Goberis و Stonis [۱۲] اثر سدیم سیلیکات را به عنوان روان‌ساز بر جرم ریختنی بسیار کم سیمان، Pivinskii، Chou، Antonovich و همکارانشان اثر روان‌سازها بر جرم‌های ریختنی دیرگداز کم سیمان آلومینایی[۱۳-۱۵]،

مقاله در تاریخ ۸۶/۱۲/۴ دریافت و در تاریخ ۸۷/۳/۲۷ به تصویب نهایی رسید.

[۱] **کارشناس ارشد**، مهندسی سرامیک پژوهشگاه مواد و انرژی
پست الکترونیکی: a-abbassian@merc.ac.ir
[۲] **استادیار**، پژوهشگاه مواد و انرژی
[۳] **استادیار**، پژوهشگاه مواد و انرژی

Hommer و همکارانش[۱۶] اثر روان‌ساز بر پایه پلی کربوکسیلات اتر برجرم‌های ریختنی دیرگداز آلومینایی را بررسی و مطالعه کرده‌اند. لیکن تنها گزارش‌های کمی پیرامون اثر روان‌سازها بر جرم‌های ریختنی بسیار کم سیمان Al_2O_3-SiC وجود دارد[۱۷و۱۸]. در این پژوهش جهت تعیین نوع و مقدار بهترین روان‌ساز در جرم‌های ریختنی بسیار کم سیمان Al_2O_3-SiC، خواص جریان‌یابی و کارپذیری این جرم‌ها در حضور ۷ افزودنی روان‌ساز تجاری به نام‌های سیتریک اسید، سدیم تری پلی فسفات، سدیم هگزا متافسفات، RHEOBUILD 561 M IR، DARVAN 811D، CASTAMENT FS20 و همچنین GLENIUM 110 IR که در صنعت ساختمان مورد استفاده است و گزارش ویژه‌ای از مصرف آن در جرم دیرگداز وجود ندارد، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

۲- روش پژوهش

۲-۱ توزیع اندازه‌ی ذره‌ها

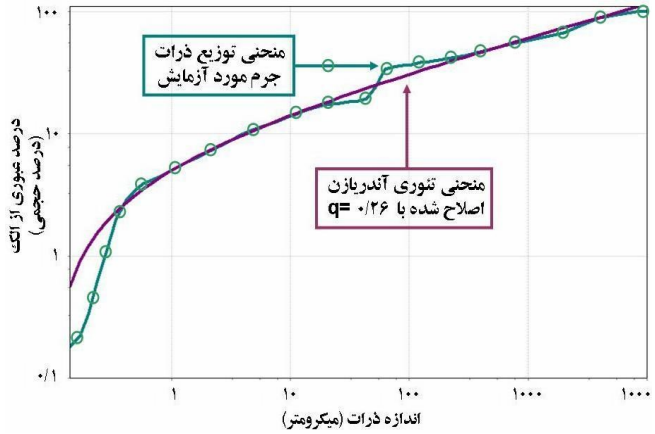
مخلوط کردن مواد اولیه طبق مدل توزیع اندازه‌ی ذره‌های آندریازن اصلاح شده یا Dinger and Funk انجام شد. معادله‌ی آندریازن اصلاح شده به صورت معادله‌ی ۱ بیان می‌شود [۱۹]:

(۱)

$$CPFT = [(d^q - d_m^q)/(D^q - d_m^q)] \times 100$$

در این معادله‌ی $CPFT$ درصد تجمعی ذره‌های کوچکتر از اندازه d، d اندازه ذره‌های، d_m اندازه کوچکترین ذره‌های در توزیع، D اندازه بزرگترین ذره‌های در توزیع و q ضریب توزیع می‌باشد.

با توجه به اینکه در به کارگیری مدل آندریازن اصلاح شده برای جرم‌های لرزه روان استفاده از $q<$۰/۲۶ توصیه شده [۲]، در پژوهش حاضر مقدار $q=$۰/۲۶ و d_m برابر با ۰/۱ میکرومتر در نظر گرفته شد. منحنی توزیع اندازه‌ی ذره‌های نظری مورد انتظار مطابق با مدل آندریازن اصلاح شده با $q=$۰/۲۶ و همچنین منحنی توزیع اندازه ذره‌های حقیقی جرم ریختنی به کارگرفته شده در این پژوهش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ منحنی توزیع اندازه ذره‌های جرم مورد آزمایش

۲-۲ مواد اولیه و ترکیب

مشخصات مواد اولیه استفاده شده در این پژوهش و نسبت‌های مخلوط آنها در ترکیب بر حسب درصد وزنی در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است از آلومینای تبولار در ۶ دانه بندی ۲ تا۶ میلی‌متر، یک تا ۲ میلی‌متر، ۰/۶ تا یک میلی‌متر، صفر تا ۰/۶ میلی‌متر، صفر تا ۰/۲ میلی‌متر و آلومینای تبولار با دانه بندی صفر تا ۰/۰۴۵ میلی‌متر برای تأمین ترکیب مناسب منطبق بر الگوی آندریازن اصلاح شده استفاده شد. انواع روان‌سازهای مصرفی و مشخصات آنها نیز در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱ مشخصات مواد اولیه استفاده شده و نسبت ترکیب آنها

ماده اولیه	مارک محصول	شرکت سازنده	کشور سازنده	چگالی (g/cm^3)	مقدار (Wt%)
آلومینای تبولار	Alfa-tab-30	Silkem	اسلوونی	۳/۵۵	۷۶
کاربید سیلیسیم	EC6-F220	Treibacher	برزیل	۳	۱۴
آلومینای فعال شده	PFR 20	Pechiney	فرانسه	۳/۹۲	۵
میکروسیلیس	Elkem 971 U	Elkem	نروژ	۲/۲	۳
سیمان آلومینای بالا	Secar 71	Lafarge	فرانسه	۲/۹۳	۲

جدول ۲ مشخصات افزودنی‌های مورد استفاده

نام افزودنی	ترکیب افزودنی	نوع افزودنی	pH	شرکت سازنده
سیتریک اسید	سیتریک اسید	یونی	اسیدی	فرآورده‌ی چینی
سدیم تری پلی فسفات	سدیم تری پلی فسفات	یونی	بازی	فرآورده‌ی ایرانی
DARVAN (811D)	سدیم پلی اکریلات	پلیمری	بازی	Vanderbilt
سدیم هگزا متافسفات	سدیم هگزا متافسفات	یونی	اسیدی	فرآورده‌ی ایرانی
RHEOBUILD 561 M IR	کلسیم نفتالین سولفونات	پلیمری	بازی	BASF
CASTAMENT (FS 20)	پلی کربوکسیلات اتر	پلیمری	خنثی	SKW POLYMER
GLENIUM 110 IR	پلی کربوکسیلات اتر	پلیمری	خنثی	BASF

۲-۳ تعیین جریان‌یابی و کارپذیری

۲-۳-۱ تهیه جرم ریختنی

برای تعیین اثر هر افزودنی بر جاری‌شوندگی جرم ریختنی، ۱/۵ کیلو گرم از جرم Al_2O_3-SiC تهیه و با مقدار مورد نظر افزودنی که در مقدار معین آب مقطر حل شده است، مخلوط می‌شود. فرآیند مخلوط‌کردن، به کمک مخلوط‌کن هوبارت با سرعت ۱ (۴۵ دور در دقیقه) به ترتیب زیر انجام می‌شد:

۱- مخلوط‌کردن مواد به صورت خشک به مدت ۴ دقیقه
۲- اضافه کردن آب و افزودنی در زمان ۳۰ ثانیه
۳- ۴ دقیقه مخلوط‌کردن جرم به صورت تر

پس از فرآیند مخلوط‌کردن، آزمایش تعیین جاری‌شوندگی جرم ریختنی انجام شد.

۲-۳-۲ تعیین جریان‌یابی

تعیین جاری‌شوندگی جرم ریختنی، مطابق با استاندارد ASTM C 1445-99 انجام گرفت. بدین منظور جرم تهیه شده درون یک نیم مخروط با قطر زیرین ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۵۰ میلی‌متر که از طرف سطح کوچک روی میز لرزان قرار گرفته بود، ریخته شد تا نیمه قالب پر شود، آنگاه مخروط و جرم درون آن به مدت ۱۵ ثانیه به کمک میز لرزان، لرزانده و جای خالی ایجاد شده در مخروط به طور کامل پر شد و ۱۵ ثانیه دیگر لرزانده و سطح آن صاف شد. سپس مخروط را روی میز لرزان چرخانده تا چسبندگی بین نمونه و قالب از بین برود. با حرکت دادن نمونه روی میز لرزان آن را از میز جدا نموده و به طور معکوس روی میز جریان خشک و تمیز قرار دادیم. مخروط را به طور مستقیم به طرف بالا برداشته و در مدت ۹ ثانیه میز را حرکت داده تا ۱۵ ضربه زده شود. سپس قطر نهایی را به کمک کولیس در چهار فاصله به تقریب ۴۵ درجه جدا از هم اندازه‌گیری کرده و میانگین آنها ثبت کردیم. در فاصله‌های زمانی ۱۰،۲۰،۳۰ و ۴۵ دقیقه این اندازه‌گیری تکرار شد. مطابق معادله‌ی ۲ درصد جاری شوندگی محاسبه شد.

$$FV(\%) = \frac{D_f - D_i}{D_i} \qquad (۲)$$

در این معادله، FV درصد جاری شوندگی، D_f قطر نهایی بر حسب میلی‌متر، D_i قطر اولیه بر حسب میلی‌متر (برابر با ۱۰۰ میلی‌متر) است.

۲-۳-۳ تعیین کارپذیری

با ترسیم نتیجه‌های جریان‌یابی بر حسب زمان، زمان شروع اضافه کردن آب تا هنگامی که جریان نمونه به ۲۵ درصد میزان اولیه برسد، به عنوان زمان کارپذیری در نظر گرفته می‌شود.

۲-۴ تعیین نسبت آب به جامد

نسبت آب به جامد در دیرگداز ریختنی به روش گلوله در دست، مطابق با استاندارد ASTM C860-00(2005) تعیین شد.

۲–۵ تعیین خواص مکانیکی و فیزیکی

۲–۵–۱ تعیین استحکام فشاری سرد (CCS)

برای تعیین استحکام نمونه‌ها، آزمایش استحکام فشاری سرد مطابق با استاندارد ASTM 133-97 توسط دستگاه پرس ۱۰۰ تنی (TOKYO MACHINE MFGCO, LTD) مدل AP 100-P انجام پذیرفت. برای هر نمونه آزمایش تعیین استحکام فشاری سرد ۴ مرتبه انجام گشته و میانگین نتیجه‌ها به عنوان استحکام فشاری سرد بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع گزارش می‌شود. لازم به ذکر است که در صورتی که هرکدام از نتیجه‌های انحراف زیادی از میانگین داشته باشد، آن مقدار در محاسبه منظور نمی‌شود.

۲–۵–۲ اندازه‌گیری تخلخل و چگالی بالک

چگالی و تخلخل نمونه‌ها به روش ارشمیدس مطابق با استاندارد ASTM C20-87(1997) و با استفاده از معادله‌ی ۳ و ۴ محاسبه شد.

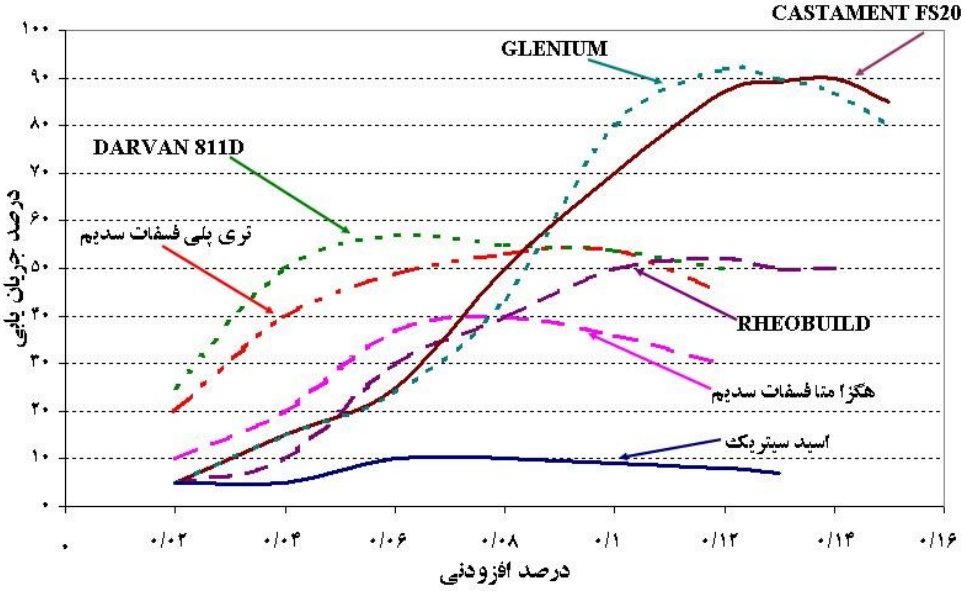
$$B.D(gr/cm^3) = \frac{W_1}{W_3 - W_2} \quad (۳)$$

$$A.P(\%) = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \quad (۴)$$

در این معادله‌ی، $B.D$ و $A.P$ به ترتیب چگالی بالک و درصد تخلخل ظاهری هستند. W_1، W_2 و W_3 به ترتیب وزن خشک، وزن غوطه وری و وزن اشباع هستند.

۳– نتیجه‌ها وبحث

نتیجه‌های اندازه‌گیری میزان جریان‌یابی دیرگداز ریختنی لرزه روان Al_2O_3-SiC با میزان آب مصرفی ثابت ۵/۵ درصد، در مجاورت مقدارهای متفاوت ۷ نوع ماده افزودنی تجاری سیتریک اسید، سدیم تری پلی فسفات، سدیم هگزا متافسفات، DARVAN بر پایه سدیم پلی اکریلات ، RHEOBUILD بر پایه کلسیم نفتالین سولفونات و بالاخره CASTAMENT FS 20 و GLENIUM بر پایه پلی کربوکسیلات اتر، در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتیجه‌های، مشخص می‌شود که روان‌سازهای CASTAMENT و GLENIUM مؤثرترین افزودنی‌ها برای تأمین جریان‌یابی مناسب، در مقایسه با افزودنی های دیگر تحت بررسی است. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مقدار بهینه افزودن روان‌ساز برای CASTAMENT ۰/۱۴ درصد وزنی و برای روان‌ساز GLENIUM به میزان ۰/۱۲ درصد وزنی بر اساس وزن جرم خشک می‌تواند در نظر گرفته شود.

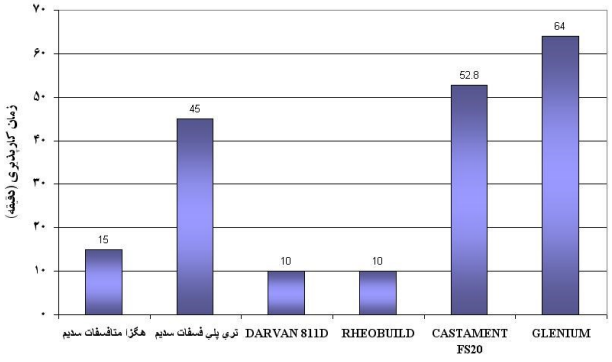


شکل ۲ اثر روان‌سازهای مختلف بر جریان‌یابی دیرگداز ریختنی لرزه روان Al2O3-SiC با میزان آب مصرفی ثابت ۵/۵ درصد

هر چند که مطابق با ادعای **اطرج**، پژوهشگر ایرانی [۱۸]، در بین افزودنی‌های سیتریک اسید، سدیم تری پلی فسفات، سدیم هگزا متافسفات و سدیم پلی اکریلات (DARVAN)، سدیم پلی اکریلات توانسته است بیشترین جریان‌یابی را برای جرم ریختنی بسیار کم سیمان فراهم کند، ولی بر اساس نتیجه‌های پژوهش حاضر، سدیم پلی اکریلات مؤثرترین روان‌ساز برای جرم مزبور نبوده و همان طور که ذکر شد روان‌ساز بر پایه پلی کربوکسیلات اتر، می‌تواند مؤثرترین روان‌ساز برای جرم ریختنی Al_2O_3-SiC باشد. دلیل برتری این روان‌ساز نسبت به سدیم پلی اکریلات ، تفاوت در سازوکار پراکنده کردن ذره‌های ریز موجود در زمینه دیرگداز است. مهم‌ترین سازوکار پذیرفته شده برای نحوه عمل پلی اکریلات‌ها در پراکنده‌سازی ذره‌های ریز موجود در زمینه جرم‌های ریختنی، سازوکار پایداری الکتروستاتیک است [۲۱]. طبق این سازوکار، نیروهای کولمبی روی سطح ذره‌های یون‌های هم‌بار را از یکدیگر دور می‌کنند و باعث جذب یون‌های غیر هم‌بار و مولکول‌های غیر قطبی مایع می‌شوند [۲۲]. در مورد سدیم پلی اکریلات، گروه‌های پلی اکریلات با بار منفی جذب سطح ذره‌های سیمان با بار مثبت شده و در نتیجه ذره‌های سیمان که دارای بار منفی شده‌اند، همدیگر را دفع می‌کنند. بدین ترتیب آبی که برای آگلومره شدن ذره‌های سیمان مصرف می‌شود، می‌تواند آزاد شده و برای بهبود روانی کلینکر هیدراته توزیع شود. بنابراین، از آب مورد نیاز برای روان کردن جرم ریختنی، کاسته می‌شود [۲۱].

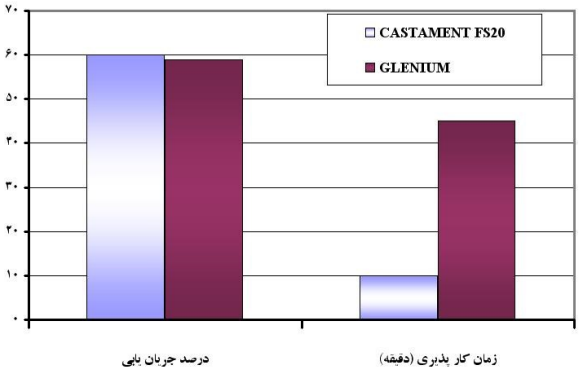
پلی کربوکسیلات اترها دارای یک زنجیره اصلی حامل گروه‌های عامل با بار منفی و یک زنجیره اضافی کناری هستند. زنجیره اصلی حاوی بار منفی موجود در این مواد، مشابه سازوکار عملکرد پلی اکریلات‌ها به وسیله سازوکار پایداری الکتروستاتیک سبب جلوگیری از به هم چسبیدن ذره‌های می‌شود. اما در مورد پلی کربوکسیلات اترها افزون بر سازوکار پایداری الکتروستاتیک، سازوکار پایداری استریک یا ممانعت فضایی نیز به وسیله زنجیره جانبی موجود نیز به پراکنده‌سازی ذره‌های کمک می‌کند [۲۳]. در نتیجه موجب ایجاد اصطکاک کمتر بین ذره‌های و جریان‌یابی بهتر می‌شود.

در شکل ۳ زمان کارپذیری جرم ریختنی لرزه روان Al_2O_3-SiC تهیه شده با ۵/۵ درصد آب در مجاورت مقدار ثابت افزودنی‌های متفاوت تعیین گشته است. به دلیل جریان یابی ناچیز دیرگداز ریختنی در مجاورت مقدارهای متفاوت اسید سیتریک نتیجه اندازه‌گیری کارپذیری آن ارایه نشده است. نتیجه‌ها نشان می‌دهد که افزودنی‌های سدیم هگزا متا فسفات و سدیم تری پلی فسفات تأثیر بیشتری بر افزایش زمان کارپذیری دیرگداز ریختنی مورد بررسی نسبت به افزودنی پلی اکریلات سدیم داشته‌اند. همان طور که در مرجع [۲۰] اشاره شده است، به خاطر تفاوت در نوع بار سطحی ذره‌های سیمان و میکروسیلیس موجود در ترکیب، ذره‌های میکروسیلیس جذب ذره‌های سیمان می‌شوند و لایه‌ای از ذره‌های میکروسیلیس اطراف هر ذره سیمان تشکیل می‌شود. بدین ترتیب با تشکیل یک لایه قابل نفوذ اطراف ذره‌های سیمان، سرعت تجزیه آن در محلول کاهش می‌یابد و بنابراین، میکروسیلیس به عنوان یک کندکننده سرعت گیرش سیمان عمل می‌کند. موادی مثل سدیم پلی اکریلات بر کاهش ضخامت این لایه مؤثر هستند. بنابراین، موادی که باعث کاهش بیشتر این لایه می‌شوند، سرعت تجزیه سیمان را افزایش می‌دهند و بدین ترتیب زمان کارپذیری کمتری را نیز فراهم می‌کنند. بنابراین جهت افزایش زمان کارپذیری بایستی از عوامل کندکننده گیرش استفاده کرد. مواد افزودنی ضد انعقاد دیگر مثل فسفات‌ها تا حدی باعث کاهش ضخامت این لایه می‌شوند، اما به دلیل تشکیل رسوبات نامحلول به صورت انواع کلسیم فسفات‌ها، اثر این مواد در کاهش ضخامت لایه کم می‌شود و بدین ترتیب سبب افزایش زمان کارپذیری دیرگداز ریختنی می‌شوند [۱۱و۲۰].



شکل۳ اثر روان‌سازهای متفاوت بر زمان کارپذیری دیرگداز ریختنی لرزه روان Al_2O_3-SiC روان شده با ۵/۵ درصد آب

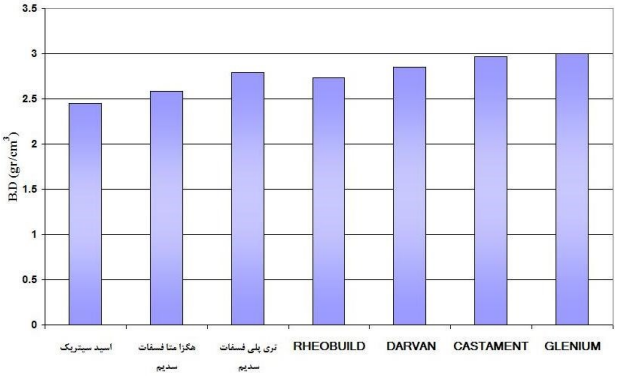
با توجه به نتایج حاصل شده در شکل ۲ برای جریان‌یابی جرم ریختنی و همچنین زمان کارپذیری بالای اندازه‌گیری شده در حضور روان‌سازهای CASTAMENT و GLENIUM مطابق شکل ۳ مشخص می‌شود که آب مصرفی ۵/۵ درصد بیشتر از مقدار مورد نیاز است. از این رو با استفاده از روش گلوله در دست، مقدار آب بهینه برای دو نمونه جرم ریختنی با ترکیب مشابه و با استفاده از درصدهای بهینه از روان‌سازهای CASTAMENT و GLENIUM اندازه‌گیری شد که مقدار آب معادل ۴/۷ درصد وزن خشک جرم به عنوان درصد بهینه به دست آمد. نتایج اندازه‌گیری جریان‌یابی و کارپذیری این دو نمونه در شکل ۴ مقایسه شده است.



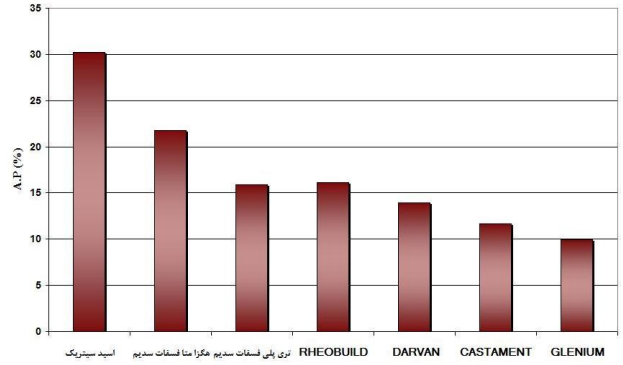
شکل۴ جریان‌یابی و زمان کارپذیری دیرگداز ریختنی لرزه روان Al_2O_3-SiC روان شده با ۴/۷ درصد آب در مجاورت مقدار بهینه از افزودنی‌های CASTAMENT FS20 و GLENIUM

همان طور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، جرم ریختنی در مجاورت هر دو افزودنی GLENIUM و CASTAMENT FS20 از جریان‌یابی به تقریب مشابهی برخوردار هستند که این به دلیل سازوکار پایداری الکتروستریک شرح داده شده است. اما همان طور که در شکل ۴ مشخص است، با مجاورت افزودنی CASTAMENT FS20 جرم از زمان کارپذیری مطلوبی برخوردار نیست. ولی افزودنی GLENIUM افزون بر تأمین روان‌سازی مناسب، زمان کارپذیری لازم را نیز برای جرم فراهم کرده است. دلیل این مشاهدات به ترکیب این افزودنی‌ها بر می‌شود. هردوی این افزودنی‌های پلیمری بر پایه کربوکسیلات اتر هستند، لیکن افزودنی GLENIUM با توجه به مشخصات فنی ارایه شده به وسیله‌ی تولیدکننده آن، برای استفاده در بتن‌ها در شرایط گرم توصیه شده و دارای طول زنجیره جانبی بلندتر در مولکولش نسبت به روان‌ساز CASTAMENT است. از این رو، افزودنی GLENIUM افزون بر تأمین جریان‌یابی مناسب، به علت ایجاد شاخک‌های پلیمری بلندتر بر روی ذره‌های، اجازه نزدیک شدن ذره‌های موجود در زمینه جرم ریختنی را در مدت طولانی‌تری بهم نداده و به وسیله‌ی به تعویق انداختن گیرش سیمان آلومینات کلسیمی، زمان کارپذیری لازم را برای جرم ریختنی فراهم می‌کند. بنابراین می‌توان گفت بهترین راه برای دستیابی همزمان به جریان‌یابی خوب و زمان کارپذیری مطلوب، به تأخیر انداختن واکنش‌های هیدراسیون سیمان به وسیله‌ی استفاده از افزودنی بر پایه پلی کربوکسیلات اتر با طول زنجیره جانبی بلندتر است.

شکل‌های ۵ و ۶ تأثیر افزودنی‌های مورد استفاده بر خواص فیزیکی بدنه‌های دیرگداز ریختنی مورد بررسی با مقدار آب ثابت ۴/۷ درصد وزنی و خشک شده در ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت را نشان می‌دهد.



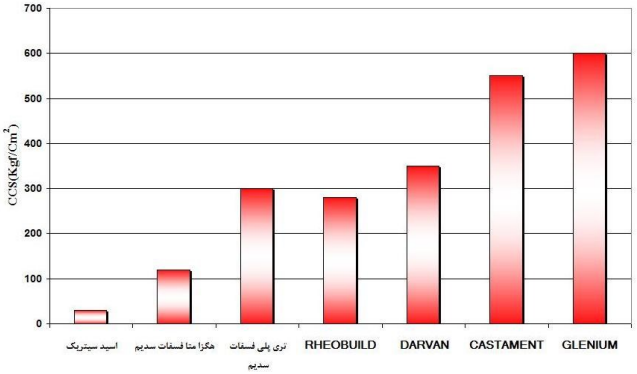
شکل۵ اثر روان‌سازهای متفاوت بر چگالی بالک دیرگداز ریختنی لرزه روان Al_2O_3-SiC تهیه شده با ۴/۷ درصد آب



شکل۶ اثر روان‌سازهای متفاوت بر درصد تخلخل **دیرگداز ریختنی لرزه روان Al_2O_3-SiC تهیه شده با ۴/۷ درصد آب**

نتیجه‌های شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد که چگالی بالک (B.D) و درصد تخلخل (A.P) نمونه‌ها، با افزایش جریان‌یابی نمونه‌ها، به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. به طوری که نمونه تهیه شده با روان‌ساز GLENIUM از بیشترین چگالی و کمترین درصد تخلخل برخوردار است. این نتیجه‌ها نشان می‌دهد اضافه کردن افزودنی مناسب منجر به افزایش سیالیت و در نتیجه پرشدن مناسب حفره‌ها و تخلخل‌های مابین ذره‌های می‌شود.

نتیجه‌های مربوط به تأثیر افزودنی‌های مورد استفاده بر استحکام فشاری سرد (CCS) بدنه‌های دیرگداز ریختنی مورد بررسی با مقدار آب ثابت ۴/۷ درصد وزنی در شکل ۷ ارایه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، استفاده از افزودنی روان‌ساز مناسب باعث افزایش استحکام بدنه‌های دیرگداز می‌شود.



شکل۷ اثر روان‌سازهای متفاوت بر استحکام فشاری سرد (CCS) بدنه‌های تهیه شده با ۴/۷ درصد آب

با توجه به نتیجه‌های شکل ۶ کاهش تخلخل این بدنه‌ها در مجاورت افزودنی مناسب، یکی از دلایل اصلی افزایش استحکام این بدنه‌ها محسوب می‌شود. همچنین پراکندگی مناسب‌تر ذره‌های سیمان در تمام حجم نمونه می‌تواند از دلیل دیگر افزایش استحکام در نظر گرفته شود. از دلایل دیگر افزایش استحکام نمونه‌ها، به در دسترس بودن آب کافی برای ذره‌های سیمان جهت انجام واکنش آب برشی HYDRATION می‌توان اشاره کرد. زیرا که مجاورت افزودنی مناسب آب محبوس شده بین ذره‌های آزاد شده، ضمن بهبود جریان‌یابی، مقدار آب مناسب جهت انجام و تکمیل واکنش آب برشی ذره‌های سیمان را فراهم می‌کند. بدین ترتیب استحکام بیشتر در بدنه ایجاد می‌شود.

۴- نتیجه گیری

افزودنی پلیمری GLENIUM بر پایه پلی کربوکسیلات اتر که تا پیش از این در صنعت ساختمان مورد استفاده بود، مؤثرترین پراکنده‌ساز برای جرم‌های ریختنی دیرگداز بسیار کم سیمان Al_2O_3-SiC حاوی میکروسیلیس است که افزون بر فراهم کردن جریان‌یابی مناسب، قادر است زمان کارپذیری مطلوب را برای جرم‌های مزبور فراهم سازد.

۵- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیریت محترم شرکت فرآورده‌های نسوز قدر که امکانات لازم جهت انجام این پروژه با مساعدت ایشان مهیا گشت، تشکر و قدرانی می‌شود.

۶- پی نوشت

[1] Ultra Low Cement Castable
[2] Reactive Alumina

مراجع

[1] Hommer H., Wutz K., *"Studies on a binder matrix of refractory castables-influence of dispersants on flow characteristics"*, Ceram. News 6, **2002**, pp. 46–50.

[2] Myrhe B., Hundere A., *"On the influence of super fines in high alumina castables"*, XXXIXth International Colloquium on Refractories Eurogress Aachen **1996**, pp. 184–188.

[3] Parr C., Speafico E., et al, *"Calcium Aluminate Cement Based Castable for Demanding Applications"* Proceedings of International Seminar on Monolithic Refractory Materials, Tehran, Iran, **1997**, pp. 141-152.

[4] Lee W.E., Vieira W., Zhang S., Ghanbari Ahari K., H. Sarpoolaky, Parr C., *"Castable refractory concretes"* International Materials Reviews Vol. 46, No. 3, **2001**, pp. 145-167

[5] De. Oliveira I.R., Studart A.R., Pandolfelli V.C., Menegazzo B.A., *"Zero Cement Refractory Castables"* Am. Ceram. Soc. Bulletin. Vol.81, No.12, **2002**, pp. 27-34.

[6] Studart A.R., De Oliveira, I.R., Innocentini M.D.M., Pandolfelli V.C. *"Effect of dispersants, fine powders on aluminum-containing refractory castables"* American Ceramic Society Bulletin, Vol. 83, No. 9, September, **2004**, p. 7.

[7] Studart A.R., Zhong W. Pandolfelli V.C., *"Rheological Design of Zero-Cement Self-Flow Castables"* Am. Ceram. Soc. Bull. 78 5, **1999**, pp. 65–72.

[8] Studart A.R., Zhong W., Pileggi R.G., Bonadia P. Pandolfelli V.C., *"Dispersion of Microsilica-Containing Zero-Cement High-Alumina Castables"* Am. Ceram. Soc. Bull. 792, **2000**, pp. 49–55, 84.

[9] Studart A.R., Pandolfelli V.C. Gallo J., *"Dispersants for High-Alumina Castables"* Am. Ceram. Soc. Bull. 81 4, **2002**, pp. 36–44.

[10] Studart A.R., Pandolfelli V.C., Tervoort E., Gauckler L.J., *"Selection of Dispersants for High-Alumina Zero-Cement Refractory Castables"* J. Eur. Ceram. Soc. 23 7, **2003,** pp. 997–1004.

[11] De.Oliveira I.R., Studart A.R., F. Valenzuela A.O., Pandolfelli V.C., *"Setting Behavior of Ultra-Low Cement Refractory Castables in the Presence of Citrate and Polymethacrylate Salts"* Journal European Ceramic Society, 23, **2003,** pp. 2225-2235.

[12] Goberis S., Stonis R., *"Advantageous features of sodium silicate as the plasticizer for low-cement refractory castables"* Refractories and *Industrial* Ceramics, Vol. 45, No. 6, November, **2004**, pp. 446-449.

[13] Pivinskii Yu.E., Dyakin Pavel V., Dyakin Petr V., *"A study and comparative assessment of the thinning effect in deflocculants. Part 1. Bauxite-based Highly Concentrated Ceramic Binding Suspensuons (HCBSs)"* Refractories and Industrial Ceramics, v 45, n 5, September, **2004**, pp. 343-351.

[14] Chou Chang-Cheng Senna M., *"Correlation Between Rheological Behavior of Aqueous Suspensions of Al_2O_3 and Properties of Cast Bodies: Effects of Dispersant and Ultrafine Powders"* American Ceramic Society Bulletin, 66, 7, Jul, **1987**, pp. 1129-1133.

[15] Antonovich, V.; Goberis, S.; Pundene, I.; Stonis, R. *"A new generation of deflocculants and microsilica used to modify the properties of a conventional refractory castable based on a chamotte filler"* Refractories and Industrial Ceramics, v 47, n 3, May, **2006**, pp. 178-182.

[16] Herbert Hommer, Konrad Wutz, Joachim von Seyerl, *"The Effect of Polycarboxylate Ethers as Deflocculants in Castables"* 49th International Colloquium on Refractories, Aachen, 7 and 8 November **2006**, pp. 143-146.

[17] OLIVEIRA, Ivone R ; STUDART, André ; MENEGAZZO, B. ; PANDOLFELLI, V. C. *"Dispersion and setting of Al_2O_3-SiC-SiO_2-C ULC refractory castables"*. American Ceramic Society Bulletin, v. 83, n. 4, **2004,** pp. 9201-9207.

[18] Sasan Otroj, Mohammad Ali Bahrevar, Fatollah Mostarzadeh and Mohammad Reza Nilforoshan *"The effect of deflocculants on the self-flow characteristics of ultra low-cement castables in Al_2O_3–SiC–C system"* Ceramics International, Volume 31, Issue 5, **2005**, pp. 647-653.

[19] Funk. J. E., Dinger. D. R. *"Particle Size Control for High-Solids Castable Refractories"* Am. Ceram. Soc. Bulletin. Vol.73, No.16, **1994,** pp. 66-68.

[20] B. Myhre, B. Sandberg; *"the Use of Microsilica in Refractory Castables"* International Seminar on Monolithic Refractory Materials, Tehran, Iran, Nov. 30 - Dec. 1, **1997**, pp. 113-140.

[21] K. Wutz *"Advanced Polymers for Monolithic Refractories"* Proceeding of Unified International Technical Conference on Refractories (Unitecr), **2001.**

[22] J.S. Reed, *"Introduction to the Principles of Ceramic Processing"*, John Wiley&Sons New York , **1988.**

[23] H. Hommer, K. Wutz *"Recent Developments in Deflocculants for Castables"* (Unitecr), **2005.**

[24] H. Hommer, K. Wutz *"studies on a binder matrix of refractory Castables-influence of dispersant on flow characteristics"* ceramic news special refractories vol. 6 no. 1, **2002**.

[25] M. Bengisu *"engineering ceramics"* 1 edition, Springer, **2001**.