

مقایسه اثر پودرسنگ و افزودنی اصلاح کننده لزجت در رئولوژی بتن خودتراکم تحت شرایط محیطی مختلف

فرشید فرخی زاده *

استادیار، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران.

علی زال نژاد

دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

چکیده

تأثیر آب و هوای گرم در عملکرد بتن تازه خودتراکم سبب بروز مشکلاتی مثل پائین آمدن کارایی می شود این موضوع به علت ترکیبی از نیازهای متنوع بتن تازه خودتراکم، طرح مخلوط فوق العاده پیچیده تر و تنش جاری کم آن هست. بنابراین برای طراحی بتن خودتراکم علاوه بر اجزای تشکیل دهنده، شرایط محیطی نیز در نظر گرفته می شود. در این تحقیق، بتن های خودتراکم با مقادیر متفاوت پودرسنگ و افزودنی اصلاح کننده لزجت ساخته شده است و همچنین دمای مخلوط های بتن با توجه به شرایط محیطی فصل های مختلف انتخاب شده است. پس از رساندن دمای بتن به دمای محیط، خواص رئولوژی بتن تازه خودتراکم حاوی اثر پودرسنگ یا افزودنی اصلاح کننده لزجت به عنوان یک تابع از زمان اختلاط، دما با نسبت آب به سیمان ۰/۴۲، مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج به دست آمده، افزودنی اصلاح کننده لزجت نسبت به پودرسنگ، اثر بهتری در لزجت پلاستیک دارند و سبب کاهش ۵۰ درصد افت اسلامپ می شوند بنابراین برای شرایط آب و هوای گرم، که هدفمان حفظ کارایی هست بتن های نوع اصلاح کننده لزجت می تواند بهترین انتخاب باشد.

واژه های کلیدی: بتن خودتراکم، پودرسنگ، افزودنی اصلاح کننده لزجت، رئولوژی، دما.

* نویسنده مسئول: Kpfarokhi@ihu.ac.ir

۱- مقدمه

دارند. برای حل این مشکل، روش‌های اصلاحی توسط چند تحقیقات مثل استفاده از نسل جدید فوق‌روان‌کننده‌ها، خنک‌سازی و یا گرم کردن مواد اولیه بتن در معرض هوای شدید سرد و گرم ارائه شده است [۱۱-۱۴].

اثر دما بر مخلوط با نسبت زیاد آب به پودر، متفاوت از مخلوط با نسبت کم آب به پودر هست و همچنین بسته به ترکیبات مخلوط مثل فوق‌روان‌کننده این اثر متفاوت است. در دمای پایین، یک مخلوط غنی از پودر، عملکرد خوبی را نشان می‌دهد ولی در درجه حرارت بالا مستعد شکست هست. با توجه به سفت شدن سریع‌تر بتن خودتراکم نوع پودری، می‌توان بیان کرد که تغییرات مورفولوژیکی ذرات ناشی از واکنش هیدراتاسیون، سبب کاهش تحرک ذرات در میان یکدیگر می‌شود و متراکم‌تر شدن ذرات در ابتدا، اثر منفی در حفظ کارایی دارد. به‌طور کلی بتن خودتراکم نوع پودری به‌طور قابل توجهی زمان گیرش را تسریع می‌بخشد این دلیل ممکن به خاطر کاهش نسبت آب به پودر و همچنین استفاده پرکننده سنگ‌آهک باشد که به گیرش سرعت می‌بخشد بنابراین برای حمل و نقل‌های کوتاه و پیشرفت سریع در محل ساخت و ساز، بتن خودتراکم غنی‌شده پودری را می‌توان بهترین انتخاب در نظر گرفت [۱۵-۱۸].

با توجه به مطالعات گسترده‌ای که بر روی تأثیر پودرسنگ و افزودنی اصلاح‌کننده لزجت بر روی بتن خودتراکم انجام شده است تحقیق‌های انجام‌گرفته، بدون مقایسه تأثیر این دو نسبت به هم و تحت آزمایش‌های کارایی انجام شده است. ولی در این تحقیق علاوه بر انجام آزمایش‌های کارایی، به بررسی و مقایسه اثر مقایسه مقادیر پودرسنگ و افزودنی اصلاح‌کننده لزجت تحت شرایط محیطی مختلف بر روی خواص رئولوژیکی بتن خودتراکم، به‌ویژه تنش جاری و لزجت پلاستیک با استفاده از دستگاه رئومتر پرداخته شده است. تا بتواند با توجه به شرایط محیطی ساخت و ساز، به انتخاب بهتر مصالح کمک کند.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

در ساخت بتن‌ها از سیمان پرتلند نوع ۲ استفاده شده است که مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان مصرفی، در جدول ۱ آورده شده است.

کیفیت بتن در زمان اختلاط طولانی و دمای بالای عمل‌آوری، به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد و ممکن است به از دست دادن خواص جریان منجر شود [۱]. نرخ تبخیر بتن در دماهای بالاتر افزایش می‌یابد که منجر به افت اسلامپ می‌شود. اگر مسافت حمل طولانی باشد، بتن ممکن است به محل ساخت، با کارایی پایین برسد. در کشورهای گرم مقادیر زیادی از بتن‌ها هر ساله به خاطر این مشکل برگشت داده می‌شود، که منجر به تأخیر پروژه‌ها و به تبع آن مشکلات مالی و حقوقی می‌شود. برای جبران افت اسلامپ در طی مسافت حمل، بایستی آب مخلوط اضافه‌تر شود، اما مقاومت فشاری به‌شدت تحت تأثیر نسبت آب به سیمان است. نسبت آب به سیمان بالا، دلیل اصلی کاهش مقاومت فشاری بتن در کارگاه هست [۲].

دمای محیط ایده‌آل برای بتن‌ریزی از ۲۰ تا ۲۳ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند [۳]. افزایش دما به دلیل تبخیر سریع آب اختلاط و شتاب هیدراتاسیون سیمان سبب از دست دادن خواص جریان و سخت شدن بتن‌ریزی می‌شود. این مشکلات را می‌توان با استفاده از افزودنی شیمیایی، نوع سیمان، نسبت آب به پودر و تغییر در دیگر اجزای تشکیل‌دهنده بتن کاهش داد. از آنجاکه دما، نقش مهمی در تعیین اجزای بتن خودتراکم مثل فوق‌روان‌کننده، مقدار سیمان، افزودنی اصلاح‌کننده لزجت و پودرسنگ و تخمین تغییراتی که ممکن است در رئولوژی اثرگذار باشد دارد باید در نظر گرفته شود. تغییرات در تنش جاری و لزجت پلاستیک مخلوط با درجه حرارت، نشان روند مبهم وابسته به فوق‌روان‌کننده و اجزای بتن خودتراکم هست [۴-۹].

انجمن بتن آمریکا (ACI)، در دستورالعمل برای بتن‌ریزی در هوای گرم اعلام می‌کند که دمای بتن‌ریزی در محل ساخت، نباید از ۲۷ درجه سانتی‌گراد تجاوز کند [۱۰]. اما این دما همیشه امکان‌پذیر نیست، به‌ویژه برای پروژه‌هایی با مقیاس بزرگ‌تر که بتن‌ریزی‌شان پیوسته هست. حتی اگر پیش‌گیری‌های مناسبی برای بتن در نظر گرفته شود تا به کارایی خوب به محل ساخت برسد، عمل‌آوری تحت دماهای بالاتر، به‌ویژه در ۲۴ ساعت اول می‌تواند مشکل‌آفرین باشد. نتایج تحقیق‌ها نشان می‌دهند که نمونه‌های عمل‌آوری تحت دماهای بالا، مقاومت فشاری پایین‌تری را در مقایسه با نمونه‌های مشابه در دماهای پایین‌تر در سنین ۷ و ۲۸ روزه

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی سیمان

جدول ۲/۳۶ میلی متر هستند مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های مصرفی در جدول ۲ و دانه بندی آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق، فوق‌روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات مورد استفاده قرار گرفتند که به ترتیب داری وزن مخصوص 1030 kg/m^3 می‌باشند. همچنین در این تحقیق از اصلاح کننده لزجت بر پایه پلی ساکارید با وزن مخصوص 1500 kg/m^3 استفاده شده است.

سیمان پرتلند	مشخصات شیمیایی و فیزیکی
۲۰/۷۴	SiO ₂
۴/۹۰	Al ₂ O ₃
۳/۵۰	Fe ₂ O ₃
۱/۲۰	MgO
۶۲/۹۵	CaO
۳/۰۰	SO ₃
۵۷/۶	C ₃ S
۱۸/۱	C ₂ S
۵/۸	C ₃ A
۱۱/۱۶	C ₄ AF
۱/۵۶	افت وزن در اثر سرخ شدن
۰/۷۴	باقی مانده نامحلول
۳۱۵۰	وزن مخصوص (kg/m^3)

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سنگدانه‌های مصرفی

مصالح	جرم حجمی دانه‌های اشباع با سطح خشک (kg/m^3)	جذب آب (%)
شن	۲۵۷۰	۲/۹۴۴
ماسه درشت	۲۷۰۰	۳/۲۳
ماسه ریز	۲۷۵۰	۳/۰۷۵

۲-۲- نسبت‌های اختلاط، نمونه برداری و رویه آزمایش

در این تحقیق، نسبت‌های مخلوط ساخته شده بتن خودتراکم با نسبت آب به سیمان ۰/۴۲ با توجه به دستورالعمل ACI 237R-07 [۱۲] انتخاب شده است که در جدول ۳ نشان داده شده است.

سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل شن، ماسه درشت و ماسه ریز هست که به ترتیب دارای حداکثر اندازه ۱۲/۵، ۴/۷۵ و

جدول ۳- ترکیب مخلوط بتن‌های خودتراکم حاوی پودر سنگ و اصلاح کننده لزجت

شناسه مخلوط	مقادیر (kg/m^3)			نسبت آب به سیمان (W/C)	پلی کربوکسیلات (درصد وزن سیمان)	اصلاح کننده لزجت (درصد وزن سیمان)	دمای محیط
	سیمان	شن	ماسه درشت				
V420-L-ref	۴۲۰	۷۱۳	۷۱۳	۰/۴۲	۰/۶۴	۰/۶	۹
V420-M-ref	۴۲۰	۷۱۳	۷۱۳	۰/۴۲	۰/۶۵	۰/۶	۲۰/۵
V420-H-ref	۴۲۰	۷۱۳	۷۱۳	۰/۴۲	۰/۷۵	۰/۶	۳۱/۸
P420-L	۴۲۰	۶۷۳	۶۷۳	۰/۴۲	۰/۶۷	-	۸/۷
P420-N	۴۲۰	۶۷۳	۶۷۳	۰/۴۲	۰/۶۹	-	۲۰/۸
P420-H	۴۲۰	۶۷۳	۶۷۳	۰/۴۲	۰/۷۸	-	۳۲/۱
C420-L	۴۲۰	۶۹۳	۶۹۳	۰/۴۲	۰/۶۵	۰/۳	۹/۱
C420-N	۴۲۰	۶۹۳	۶۹۳	۰/۴۲	۰/۶۶	۰/۳	۲۰/۷
C420-H	۴۲۰	۶۹۳	۶۹۳	۰/۴۲	۰/۷۶	۰/۳	۳۱/۱

سانتی گراد و دمای بالا ۳۰ تا ۳۲ درجه سانتی گراد به دست آمده است که برای رسیدن به دمای محیط همه مصالح از قبیل سنگ‌دانه، سیمان در فضای محیط گذاشته شد تا دمای بتن به دمای محیط برسد.

اسلامپ هدف $70 \pm 30 \text{ mm}$ انتخاب شد. دمای بتن با توجه به شرایط محیطی برای فصل‌های مختلف انتخاب شده است که ۳ محدوده دمایی یعنی دمای پایین ۷ تا ۱۰ درجه سانتی گراد، دمای معمولی ۲۰ تا ۲۲ درجه

که در آن T گشتاور (Nm)، N سرعت چرخش (rps)، g گشتاور جاری یا محل قطع منحنی با محور T (Nm) و h شیب منحنی یا لزجت گشتاور (Nm.S) است. از فرمول‌های فوق مشاهده می‌شود که g و h معادل τ_0 و μ در مدل بینگهام است. بنابراین پس از به دست آوردن پارامترهای g و h از دستگاه رنومتر، توسط ضرابی که از فرمول‌های زیر به دست می‌آید این دو پارامتر به تنش جاری و لزجت پلاستیک تبدیل می‌شود [۲۰]:

$$\tau_0 = \frac{\left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right)}{\ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right)} 4\pi H \quad (3)$$

$$\mu = \frac{\left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right)}{8\pi^2 H} (h) \quad (4)$$

در این فرمول‌ها τ_0 و μ برابر تنش جاری (pa) و لزجت پلاستیک (pa.S)، R_1 و R_2 برابر شعاع پره و شعاع ظرف، H ارتفاع پره و g و h نیز ضرابی هستند که از خط حاصل از نقاط به دست آمده‌اند. برای تعیین کردن مقادیر تنش جاری و لزجت پلاستیک، سرعت پره به تدریج از ۰ تا ۰/۷ rps با فاصله ۰/۱ ips افزایش می‌یابد تا ساختار تغلیظ‌پذیری شکسته شود که به آن مدت شکستن گفته می‌شود سپس سرعت پره به صفر کاهش داده می‌شود.

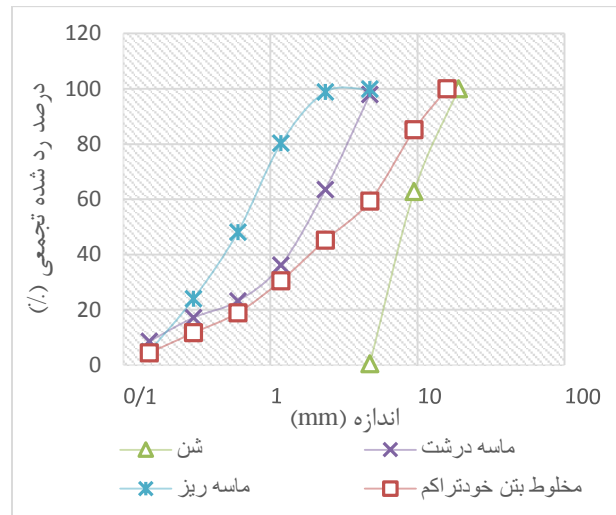
۲-۳-۲- آزمایش بتن سخت شده

آزمایش مقاومت فشاری طبق دستورالعمل استاندارد BS 1881 [۲۱] انجام شده است از هر مخلوط، سه آزمون مکعبی با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتی‌متر مکعب قالب‌گیری شد و در سن ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفت. میانگین نتایج ۳ آزمون به عنوان نتیجه آزمایش در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و تفسیر

۳-۱- کارایی

در جدول ۴ مشهود است که افزایش پودرسنگ (P420 و C420) مقدار حلقه J را کاهش و نسبت ارتفاع جعبه L را افزایش داده است افزایش قابلیت عبور نشان داد که افزایش پودرسنگ نقش روغن کاری را سبب می‌شود و همچنین افزایش مقدار



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی مصالح سنگی و مخلوط بتن خودتراکم

برای ساخت مخلوط‌ها ابتدا شن و ماسه به همراه یک سوم آب اختلاط در داخل مخلوط‌کن ریخته شده، سپس مخلوط‌کن به مدت زمان ۱ دقیقه روشن شده است سپس مواد سیمانی و یک سوم آب به همراه فوق‌روان‌کننده به مخلوط‌کن ریخته می‌شود، بعد از ۳ دقیقه اختلاط، یک سوم آب باقی‌مانده به همراه اصلاح‌کننده لزجت، در مخلوط‌کن ریخته و به مدت ۳ دقیقه مخلوط می‌شود سپس به مدت ۳ دقیقه فرآیند متوقف می‌شود در نهایت فرایند اختلاط دو دقیقه دیگر ادامه یافته است تا بتن مورد نظر حاصل شود.

۲-۳- روش‌های آزمایش

۲-۳-۱- آزمایش‌های خواص بتن تازه

آزمایش‌های ارزیابی کارایی بتن خودتراکم شامل آزمایش جریان اسلامپ، آزمایش جعبه L ، آزمایش حلقه J ، آزمایش قیف V و آزمایش شاخص پایداری چشمی مطابق دستورالعمل PCI [۱۹] انجام شده است. برای اندازه‌گیری معیارهای رئولوژی از دستگاه رنومتر استفاده شد که با معادل قرار دادن معادله بینگهام (رابطه ۱) و معادله رنومتر (رابطه ۲)، تنش جاری و لزجت پلاستیک به دست آید. در واقع اگر مدل بینگهام با معیارهای اندازه‌گیری شده توسط رنومتر مقایسه شود، معلوم می‌شود که به جای τ_0 و μ ، g و h اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود [۲۰]:

$$\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma} \quad (1) \text{ مدل بینگهام}$$

$$T = g + hN \quad (2) \text{ فرمول برای استفاده از رنومتر}$$

پودرسنگ سبب کاهش T_{50} می شود این امر می تواند به دلیل افزایش در مقدار فوق روان کننده برای رسیدن به اسلامپ ۷۰۰ میلی متر باشد و این نتایج با تحقیق مولر و والویک [۲۲] و گسلو و همکارانش [۲۳] مطابقت دارد. مطابق جدول (۴) ملاحظه می گردد بتن با 50 kg/m^3 پودرسنگ نسبت به بتن شاهد (V420)، سبب افزایش مقاومت در حدود ۲۰٪ می شود که مقاومت فشاری بیشتری نسبت به بتن با 100 kg/m^3 پودرسنگ دارد. طبق تحقیقات لی و همکارانش [۲۴ و ۲۵] در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱، افزایش مقدار پودرسنگ تا حدود ۱۰٪ سیمان، بیشترین مقاومت فشاری را دارا است، بنابراین نتیجه حاصل شده منطقی است.

جدول ۴- نتایج آزمایش کارایی بر روی انواع مخلوط های بتن خودتراکم حاوی پودر سنگ و اصلاح کننده لزجت

گروه مخلوط	جریان اسلامپ (mm)	T_{50} (s)	حلقه J (mm)	جعبه $L \left(\frac{H_2}{H_1}\right)$	قیف V (s)	شاخص پایداری چشمی (VSI)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)
V420-L-ref	۷۰۰	۲/۸۵	۳/۵	۰/۸۸	۹	۰	۴۲/۵
V420-N-ref	۷۰۰	۲/۷۲	۴	۰/۸۷	۸/۷	۰	۴۱/۴
V420-H-ref	۷۱۰	۲/۵۷	۴	۰/۸۵	۸/۴	۰	۳۹/۸
P420-L	۷۰۰	۲/۲۹	۳	۰/۹۱	۸/۲	۰	۴۹/۲
P420-N	۷۰۰	۲/۱	۳	۰/۹	۷/۸	۱	۴۷/۱
P420-H	۷۰۰	۲/۰۳	۳/۵	۰/۸۸	۷/۵	۱	۴۴/۹
C420-L	۷۱۰	۲/۵۹	۳	۰/۸۹	۸/۳	۰	۵۲/۳
C420-N	۷۰۰	۲/۳۲	۳/۵	۰/۸۹	۸/۱	۰	۴۹/۷
C420-H	۷۰۰	۲/۲	۴	۰/۸۶	۷/۷	۱	۴۸/۱

۳-۲- افت اسلامپ

افزایش افت اسلامپ می شود. این نتیجه با تحقیق اشیت و مطابق با جدول ۵، افزایش دما و افزایش مقدار پودرسنگ تا ۱۰٪ همکاران [۱۰]، که کاهش نسبت آب به پودر، سبب افزایش افت و ۲۰٪ (P420 و C420)، در نسبت ثابت آب به سیمان، سبب اسلامپ شده است مطابقت دارد.

جدول ۵- نتایج افت اسلامپ بر روی مخلوط های بتن خودتراکم حاوی پودر سنگ و اصلاح کننده لزجت در دماهای مختلف

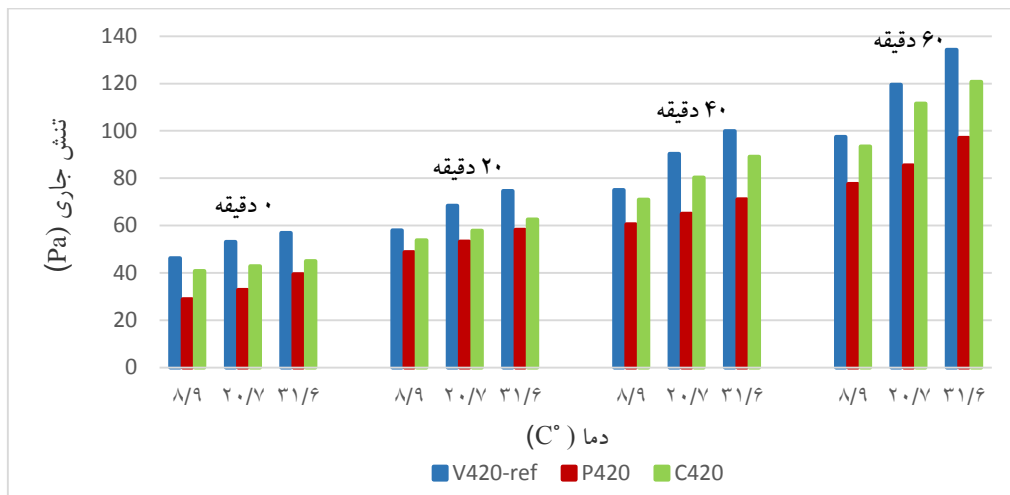
دما (سانتی گراد)	کم (۷-۱۰)	معمولی (۲۰-۲۲)	بالا (۳۰-۳۲)
زمان (دقیقه)	۰	۲۰	۴۰
V420	۶۵	۶۸	۶۳
P420	۶۳	۶۶/۵	۶۱
C420	۶۴	۶۷	۶۱/۵

۳-۳- رئولوژی

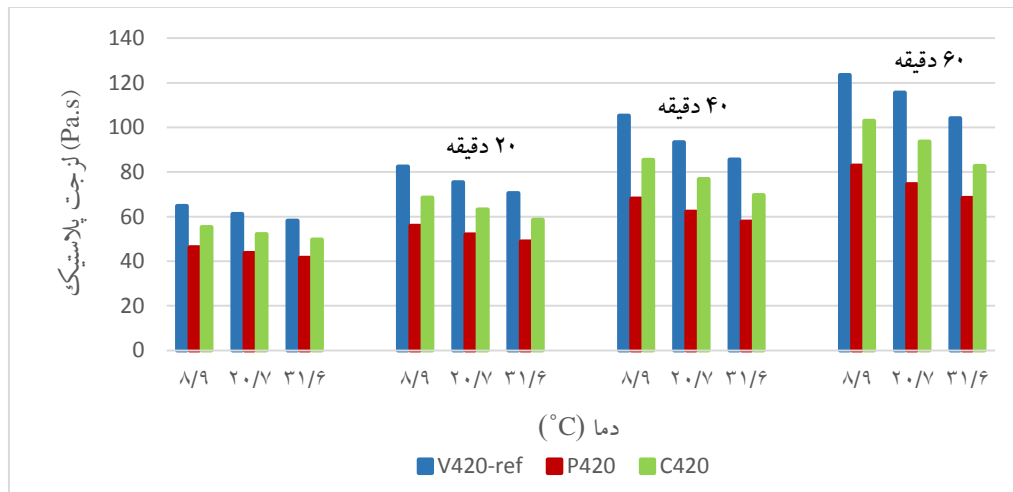
مطابق شکل ۲، در زمان ۰ با افزایش مقدار پودرسنگ، تنش جاری ۱۰ تا ۲۰ pa کاهش یافته است. این امر می تواند به دلیل افزایش در مقدار فوق روان کننده برای رسیدن به اسلامپ ۷۰۰ میلی متر باشد این نتیجه با تحقیق والویک و مولر [۲۲] همخوانی دارد. همچنین به غیر از زمان ۰، با افزایش دما اختلاف تنش جاری مخلوط ها بیشتر می شود که با افزایش زمان به این اختلاف تنش جاری افزوده می شود به فرض با افزایش پودرسنگ از 50 kg/m^3 به 100 kg/m^3 برای زمان های ۲۰ دقیقه، ۴۰ دقیقه و ۶۰ دقیقه، اختلاف تنش جاری برای دمای ۲۰/۷ درجه سانتی گراد به ترتیب

۴، ۱۵ و ۲۶ پاسکال افزایش یافته است. از سوی دیگر مطابق شکل ۳، با افزایش مقدار پودرسنگ، لزجت پلاستیک کاهش یافته است این قضیه نشان دهنده آن است که افزودنی اصلاح کننده لزجت اثر بهتری در لزجت پلاستیک دارد بنابراین مطابق با دستورالعمل EFNARC [۲۶] که اصلاح کننده لزجت را به عنوان نقش کلیدی در بتن خودتراکم معرفی می کند تطابق دارد. لازم به ذکر

است صرف نظر از نوع مخلوطها، اختلاف لزجت مخلوطها در زمانهای مساوی، تقریباً نرخ ثابتی دارد، با افزایش زمان به خصوص زمانهای ۴۰ و ۶۰ دقیقه نسبت به زمانهای ۰ و ۲۰ دقیقه، اختلاف لزجت بیشتر می شود به فرض برای بتن با پودرسنگ 100 kg/m^3 با افزایش زمان از ۴۰ دقیقه به ۶۰ دقیقه، اختلاف لزجت پلاستیک نسبت به بتن بدون پودرسنگ از 20 pa.s به 40 pa.s می رسد.



شکل ۲- اثر دما، زمان و افزایش پودرسنگ بر تنش جاری بتن های خودتراکم



شکل ۳- اثر دما، زمان و افزایش پودرسنگ بر لزجت پلاستیک بتن های خودتراکم

همچنین مطابق شکل ۴، با وجود اینکه افزایش دما در بتن خودتراکم حاوی ۱۰٪ پودرسنگ (C420) سبب افزایش نرخ رشد تنش جاری می شود اما در بتن خودتراکم حاوی ۲۰٪ پودرسنگ (P420) سبب کاهش نرخ رشد تنش جاری می شود. لازم به ذکر است افزایش دما در بتن خودتراکم سبب کاهش نرخ رشد لزجت پلاستیک می شود.

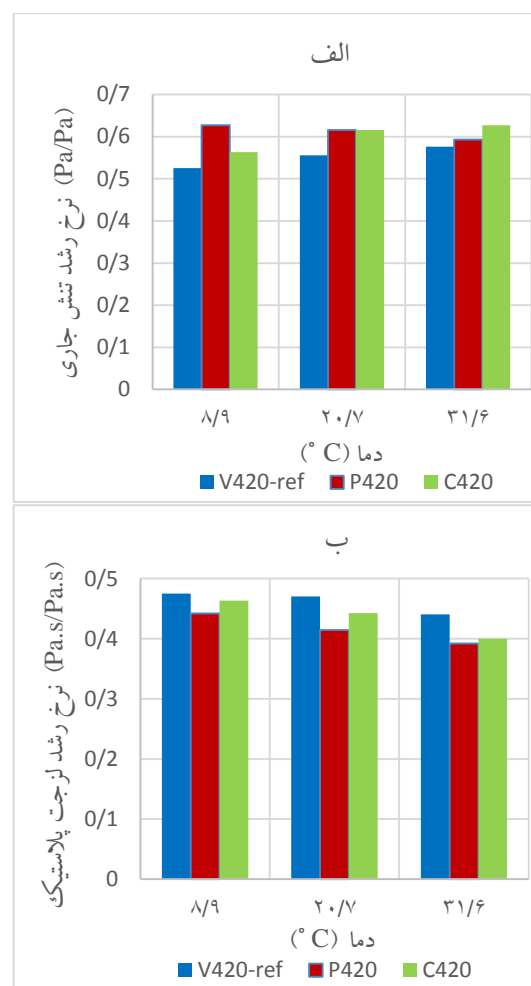
۴-۳- نرخ رشد تنش جاری و لزجت پلاستیک

در شکل ۴، نرخ رشد تنش جاری و لزجت پلاستیک نشان داده شده است. مطابق شکل ۴، افزایش پودرسنگ در بتن های خودتراکم، ۳ تا ۱۰ درصد نرخ رشد تنش جاری را افزایش می دهد. ولی با این وجود، افزایش پودرسنگ در بتن های خودتراکم، ۱ تا ۴ درصد نرخ رشد لزجت پلاستیک را کاهش می دهد.

فوق‌روان‌کننده باشد همچنین این امر نشان‌دهنده آن است که افزودنی اصلاح‌کننده لزجت اثر بهتری در لزجت پلاستیک دارد. - با افزایش مقدار پودرسنگ به مقاومت فشاری افزوده می‌شود که برای بتن حاوی ۱۰٪ پودرسنگ، مقاومت فشاری ۲۸ روزه، به حداکثر مقدار خود رسیده است.

۵- منابع

- [1] Abbasi, F.A. and Al-Tayyib, A.J., "Effect of hot climate on shear strength of concrete." Transportation Research Record, 924, p. 27-32, 1983.
- [2] Abbasi, A.G.F., Al-Tayyib, A.H.J. and Al-Ali, M.B., "Effect of hot weather on strength of reinforced concrete beams." Cement and Concrete Composites, 14(3): p. 209-221, 1992.
- [3] El-Rayyes, M.S. "Remedies to rapid setting in hot-weather concreting." Admixtures for Concrete-Improvement of Properties: Proceedings of the International RILEM Symposium. Vol. 5. CRC Press, 1990.
- [4] De Schutter, G., Bartos, P.J., Domone, P. and Gibbs, J., "Self-compacting concrete." Caithness: Whittles Publishing, 2008.
- [5] Al-Martini, S. and Nehdi, M., "Effect of chemical admixtures on rheology of cement paste at high temperature." Journal of ASTM International, 4(3): p. 1-17, 2007.
- [6] Brameshuber, W. and Uebachs, S., "The influence of the temperature on the rheological properties of self-compacting concrete." Proc. Third Int. RILEM Symposium (Ed. Wallevik, O. and Nielsson, I.), 2003.
- [7] Golaszewski, J., "Effect of temperature on rheological properties of superplasticized cement mortars." Special Publication 239, p. 423-440, 2006.
- [8] Petit, J.Y., Wirquin, E., Vanhove, Y. and Khayat, K., "Yield stress and viscosity equations for mortars and self-consolidating concrete." Cement and concrete research, 37(5): p. 655-670, 2007.
- [9] Petit, Jean-Yves, Kamal H. Khayat, and Eric Wirquin. "Coupled effect of time and temperature on variations of plastic viscosity of highly flowable mortar." Cement and Concrete Research, 39(3): p. 165-170, 2009.
- [10] ACI Committee 305.1-06. "Specification for hot weather concreting." Detroit: American Concrete Institute, 2007.
- [11] Barnes, B.D., Orndorff, R.L. and Roten, J.E., "Low initial curing temperature improves the strength of concrete test cylinders." Journal Proceedings. 74(12), p. 612-615, 1977.



شکل ۴- اثر افزایش دما و پودرسنگ: الف) نرخ رشد تنش جاری (ب) نرخ رشد لزجت پلاستیک

۴- نتیجه‌گیری

بر پایه مطالب مطرح‌شده در این تحقیق، نتایج زیر حاصل شد:

- بتن نوع اصلاح‌کننده لزجت افت اسلامپ کمتری نسبت به بقیه مخلوط‌ها دارد این بیانگر آن است که بتن‌های پودری در دماهای مختلف کارایی خود را سریع‌تر از دست می‌دهد. در نتیجه برای حمل‌ونقل‌های کوتاه و پیشرفت سریع در محل ساخت‌وساز، بتن پودری را می‌توان بهترین انتخاب در نظر گرفت و همچنین، اگر هدفمان حفظ کارایی و بتن‌ریزی آهسته باشد، بتن نوع اصلاح‌کننده لزجت می‌تواند انتخاب بهینه باشد. لازم به ذکر است افزایش سیمان تا مقدار بهینه بتن نوع اصلاح‌کننده لزجت، سبب بهبود رئولوژی شود.
- با افزایش مقدار پودرسنگ، تنش جاری و لزجت پلاستیک کاهش یافته است این امر می‌تواند به دلیل افزایش در مقدار

- fly ash, blast furnace slag, and silica fume." *Construction and Building Materials* 23(5): p. 1847-1854, 2009.
- [24] Li, B., Wang, J. and Zhou, M., "Effect of limestone fines content in manufactured sand on durability of low-and high-strength concretes." *Construction and Building Materials* 23(8): p. 2846-2850, 2009.
- [25] Li, B., Ke, G. and Zhou, M., "Influence of manufactured sand characteristics on strength and abrasion resistance of pavement cement concrete." *Construction and Building Materials* 25(10): p. 3849-3853, 2011.
- [26] EFNARC, EFCA. "Guidelines for Viscosity Modifying Admixtures For Concrete." 2006.
- [12] ACI 237R-07, "Self-consolidating Concrete." American Concrete Institute, 2007.
- [13] Kosmatka, S.H., Kerkhoff, B. and Panarese, W.C., "Design and control of concrete mixtures," Skokie, IL: Portland Cement Association, Vol. 5420, 2002.
- [14] Neville, A.M. and Brooks, J.J., "Concrete technology (the second edition)." 2010.
- [15] Schmidt, W., Brouwers, H.J.H., Kuehne, H.C. and Meng, B., "Effects of the characteristics of high range water reducing agents and the water to powder ratio on rheological and setting behavior of self-consolidating concrete." *Advances in Civil Engineering Materials*, 3(2): p. 127-141, 2014.
- [16] Schmidt, W., Brouwers, H.J.H., Kühne, H. C. and Meng, B., "Influences of superplasticizer modification and mixture composition on the performance of self-compacting concrete at varied ambient temperatures." *Cement and Concrete Composites*, 49, p. 111-126, 2014.
- [17] Schmidt, W., Brouwers, J., Kühne, H.C., and Meng, B., "Effects of superplasticizer and viscosity-modifying agent on fresh concrete performance of SCC at varied ambient temperatures." In *Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete*, p. 65-77, 2010.
- [18] Diawara, H. and Ghafoori, N., "Influence of Combined Hauling Time and Temperature on Flow Properties of Self-Consolidating Concrete: Retempering Remediation." *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(1), p 1-7, 2012.
- [19] Team, PCI Self-Consolidating Concrete FAST. "Interim Guidelines for the Use of Self-Consolidating Concrete in PCI Member Plants." *PCI Journal*, 48(3): p. 14-18, 2003.
- [20] Heirman, G., Hendrickx, R., Vandewalle, L., Van Gemert, D., Feys, D., De Schutter, G., Desmet, B. and Vantomme, J., "Integration approach of the Couette inverse problem of powder type self-compacting concrete in a wide-gap concentric cylinder rheometer: Part II. Influence of mineral additions and chemical admixtures on the shear thickening flow behaviour." *Cement and Concrete research*, 39(3): p. 171-181, 2009.
- [21] Standard, B. S. "Part 116." Standard test method for compressive strength of cubic concrete specimens: British Standards Institution, 1881.
- [22] Mueller, F.V. and Wallevik, O.H., "Effect of Limestone Filler Addition in Eco-SCC: Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete." *Proceedings of SCC2010*, Montreal, Canada: p. 26-29, 2010.
- [23] Gesoğlu, M., Güneyisi, E. and Özbay, E., "Properties of self-compacting concretes made with binary, ternary, and quaternary cementitious blends of

Comparing Between the Effects of Limestone and Viscosity-Modifying Admixture on the Rheology of Self-Compacting Concrete Under Different Ambient Conditions

Farshid Farokhizadeh *

Assistant Professor, Faculty of Defense Sciences and Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

Ali Zal nezhad

PhD student in Construction and Management Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

Abstract

The effect of hot climate on the performance of fresh self-compacting concrete causes a number of problems including the reduced workability. This issue is due to the various demands of the fresh self-compacting concrete, much more complicated mix design and low yield stress of this type of concrete. Therefore, in design of the self-compacting concrete, in addition to the constituent elements the ambient conditions also are taken into consideration. In this research, the self-compacting concrete specimens with different amounts of limestone and viscosity-modifying admixture were made. Also the temperature of the concrete mixtures was selected with respect to the ambient conditions of different seasons. After the concrete specimen temperature reached the ambient temperature, the rheological properties of the fresh self-compacting concrete specimens containing limestone or viscosity-modifying admixture being a function of mixing time, and temperature with water to cement ratio of 0.42 were investigated. According to the obtained results the viscosity-modifying admixture has a better effect on the plastic viscosity with respect to limestone and reduces the slump loss by 50%. Thus in the hot climate where our goal is to maintain workability, the concretes with viscosity-modifying agents are the best options.

Keywords: Self- Consolidating Concrete, Limestone, Viscosity- Modifying Admixture, Rheology, Temperature.

* Corresponding Author: Kpfarokhi@ihu.ac.ir

