ارزیابی جریان پذیری بتن خودتراکم حاوی متاکائولن در نسبت های متفاوت آب به چسباننده

رحمت مدندوست[۱]، ملک محمد رنجبر[۲] ، سید یاسین موسوی[۳]، سامان یوسفی[۴]
۱، ۲- عضو هئیت علمی گروه عمران دانشکده فنی دانشگاه گیلان، رشت
۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-سازه، دانشگاه گیلان، رشت
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه گیلان، رشت

rmadandoust@yahoo.com

خلاصه

در این مطالعه تأثیر متاکائولن بر خواص بتن تازه خودتراکم مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد. در این راستا، پانزده طرح اختلاط بتن خودتراکم با درصدهای متفاوت جایگزینی متاکائولن (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) در نسبت های متفاوت آب به چسباننده (۰/۳۲، ۰/۳۸ و ۰/۴۵) در نظر گرفته شد. خواص بتن تازه خودتراکم توسط جریان اسلامپ، زمان رسیدن جریان اسلامپ به قطر ۵۰ سانتیمتر، قیف V شکل و جعبه L شکل مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین جریان اسلامپ بتن خودتراکم با گذشت زمان انتقال مورد توجه می باشد. نتایج نشان می دهند که عموماً ۱۰ درصد متاکائولن را می توان به عنوان جایگزینی مناسب در بتن خودتراکم در نظر گرفت.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم ، متاکائولن، خواص بتن تازه، زمان انتقال بتن

۱. مقدمه

برای مقابله با مشکلات ناشی از تراکم نامناسب بتن، بتن خودتراکم برای اولین بار در ژاپن تولید شد. بتن خودتراکم از گروه بتن با کارائی بالا (بتن توانمند) محسوب می گردد که قادر است بدون احتیاج به لرزاندن خارجی، در مکان هایی با حجم بالای آرماتور بدون جداشدگی و آب انداختگی جریان پیدا نموده، قالب را پر نماید، و فضای اطراف آرماتورها را در برگیرد. بتن خودتراکم مزایا و برتری های فراوانی نسبت به بتن معمولی دارد، که از آن جمله می‌توان به افزایش سرعت اجرای سازه های بتنی، کاهش احتیاج به نیروی متخصص انسانی، سهولت بتن ریزی، بهبود کیفیت مکانیکی و مشخصه های دوام، امکان اجرای سازه های بتنی با تراکم آرماتور بالا و

انتخاب مقاطع کوچک با میلگرد های فشرده (آزادی عمل بیشتر در طراحی)، کاهش تراز صدا بدلیل حذف عمل لرزاندن، کاهش مصرف انرژی و محیط کاری ایمن تر اشاره نمود.

اکامورا و اوزاوا [۱] پیشنهاد نمودند علاوه بر استفاده افزودنی های شیمیایی، می توان با افزایش میزان پودر و همچنین کاهش حجم درشت دانه، بتن خودتراکم با پایداری و قابلیت تراکم مطلوب تولید نمود. بر طبق توصیه نامه EFNARC [۲]، عبارت پودر به عناصری از بتن خودتراکم که دارای قطر کوچکتر از ۱۲۵ μm می باشند شامل کسری از ماسه، سیمان و پرکننده، اطلاق می‌شود. در مطالعات جهت افزایش میزان پودر معمولاً افزایش میزان سیمان توصیه نمی گردد. زیرا که استفاده از میزان بالای سیمان می تواند سبب تنزل خواص مهندسی بتن گردد. از طرفی در حدود ۷ درصد از کل انتشار گاز CO_{2eq} (از عوامل گرم شدن کره زمین و تغییر در شرایط آب و هوایی) بر اثر تولید کلینکر در کارخانجات سیمان می باشد که نشان دهنده این واقعیت می باشد که استفاده از میزان بالای سیمان سبب افزایش آلودگی زیست محیطی می گردد [۳]. با توجه به نکات ذکر شده که نشان دهنده ضرورت استفاده بهینه از سیمان در ساخت بتن دارد، معمولاً افزایش میزان پودر در ساخت بتن خودتراکم شامل افزایش میزان پرکننده می گردد. لذا مطالعات فراوانی برای استفاده از پرکننده های مختلف مانند پودر سنگ آهک، خاکستر بادی، روباره و دوده سیلیس در بتن خودتراکم صورت پذیرفته است.

از دیگر پرکننده هایی که می توان از آن در ساخت بتن خودتراکم استفاده نمود، متاکائولن می باشد. متاکائولن یک ماده آلومینوسیلیکاتی با فعالیت پوزولانی بالا است که از کلسینه نمودن خاک کائولن در دمای بین ۷۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتیگراد بدست می آید. هرچند متاکائولن در دمای پایین تری نسبت به کلینکر تولید می شود، اما حجم کم تولید آن باعث قیمت بالاتر آن نسبت به سیمان گردیده است [۴]. با این وجود با توجه به خواص مثبت متاکائولن از لحاظ بهبود مقاومت و مشخصه های دوام بتن و همچنین اثرات مثبت زیست محیطی، استفاده از متاکائولن جهت جایگزینی با بخشی از سیمان مصرفی منطقی به نظر می رسد. در این راستا، توسط Poon و همکاران [۵] گزارش شده است که در روزهای اولیه عمل آوری، فعالیت بالای پوزولانی متاکائولن باعث افزایش سرعت کسب مقاومت فشاری و همچنین بهتر شدن وضعیت تخلخل خمیر سیمان نسبت به حالتی که در خمیر سیمان از دوده سیلیس و یا خاکستر بادی استفاده شده باشد، می شود. نتایج نفوذ یون کلر تسریع شده نشان می دهد که استفاده از متاکائولن می تواند تا ۸۷٪ باعث کاهش میزان شار عبوری گردد [۶]. اخیراً Shekarchi و همکاران [۷] نشان دادند که با جایگزینی ۱۵ درصد متاکائولن با سیمان مصرفی، نفوذ پذیری آب، نفوذپذیری گاز، میزان جذب آب و مقاومت الکتریکی به ترتیب بمیزان ۵۰، ۳۷، ۲۸ و ۴۵۰ درصد کاهش می یابد. به عنوان نمونه ای از مطالعات انجام پذیرفته در ارتباط با تاثیر مثبت متاکائولن در مقاومت در برابر خوردگی آرماتور، Batis و همکاران [۸] نشان دادند که استفاده از متاکائولن به عنوان جایگزین بخشی از سیمان و یا به عنوان جایگزین بخشی از ماسه می تواند سبب بهبود مقاومت در برابر خوردگی شود.

تاکنون در اکثر مطالعات به بررسی استفاده از متاکائولن در ساختار بتن معمولی پرداخته شده است و متأسفانه بر طبق اطلاعات نویسنده مطالعه جامعی در ارتباط با تاثیر افزودن متاکائولن بر خواص بتن تازه خودتراکم مخصوصاً در نسبت های مختلف آب به چسباننده صورت نپذیرفته است. لذا هدف این مطالعه بررسی خواص بتن تازه خودتراکم حاوی متاکائولن می باشد. برای ارزیابی خواص بتن تازه خودتراکم، آزمایش های جریان اسلامپ، زمان رسیدن جریان اسلامپ به قطر ۵۰ سانتیمتر (T_{50})، شاخص پایداری چشمی، قیف V شکل و جعبه L شکل انتخاب شده اند. از طرفی تغییرات جریان اسلامپ بتن خودتراکم با تاخیر در زمان انتقال بتن نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. برنامه آزمایشگاهی

۲. ۱. مصالح مصرفی

در این مطالعه سیمان پرتلند معمولی تیپ ۱ و همچنین متاکائولن به عنوان مواد چسباننده استفاده شده است. ترکیبات شیمیایی مربوط به سیمان مصرفی و همچنین متاکائولن در جدول ۱ موجود می‌باشد. ماسه از نوع رودخانه‌ای و همچنین شن از نوع شکسته با بزرگترین اندازه اسمی ۱۲/۵ میلیمتر و درصد جذب آب ۰/۷۳ می‌باشد. همچنین به جهت ایجاد روانی در محدوده مطلوب از کاهنده شدید آب (High Range Water Reducer) با نام تجاری Glenium51 با چگالی مابین $1/06 g/cm^3$ و $1/08 g/cm^3$ استفاده شده است.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی سیمان و متاکائولن

ترکیبات شیمیائی (٪)	سیمان	متاکائولن
SiO_2	۲۱/۴۶	۵۲/۱
Al_2O_3	۵/۵۵	۴۲/۸
Fe_2O_3	۳/۴۶	۱/۶
CaO	۶۳/۹۵	۰/۲
MgO	۱/۸۶	۰/۲۱
SO_3	۱/۴۲	۰/۰۰
K_2O	۰/۵۴	۰/۳۲
Na_2O	۰/۲۶	۰/۱۱

۲. ۲. طرح‌های اختلاط بتن و آماده سازی نمونه‌ها

اختلاط های بتن خودتراکم حاوی متاکائولن در سه گروه با نام های G1، G2 و G3 تقسیم بندی شده اند. در گروه اول (G1)، دوم (G2) و سوم (G3) به ترتیب نسبت آب به چسباننده ۰/۳۲، ۰/۳۸ و ۰/۴۵ در نظر گرفته شده است. در هر گروه، سیمان مصرفی با درصدهای وزنی ٪۵، ٪۱۰، ٪۱۵ و ٪۲۰ با متاکائولن جایگزین گردید. این میزان از جایگزینی بر مبنای مطالعات گذشته و همچنین طرح های آزمایشگاهی اولیه انتخاب شده است. در گروه اول برای نگهداری میزان روانی در حد مطلوب مابین ۶۶۰ تا ۷۵۰ میلیمتر (بر اساس رده دوم EFNARC [۲])، میزان کاهنده شدید آب بین ۲/۴۷ تا $9/96 kg/m^3$ تنظیم شده است. این مقدار برای گروه دوم و سوم نیز به ترتیب بین ۱/۷۳ تا $4/89 kg/m^3$ و بین ۱/۶۳ تا $3/91 kg/m^3$ نتیجه شده است. از طرفی در مخلوط های شاهد هر گروه، از اصلاح کننده لزجت جهت حفظ خواص رئولوژیکی بتن خودتراکم استفاده شده است. در مجموع به منظور دستیابی به اهداف این مطالعه، پانزده اختلاط بتن خودتراکم حاوی متاکائولن طراحی شده است که در جدول ۲ جزئیات آنان نمایش داده شده است.

برای ساخت نمونه ها روندی مشابه با آنچه که Khayat و همکاران [۹] استفاده نموده‌اند، بکار گرفته شد. بر این مبنا، ابتدا سنگدانه ها شامل شن و ماسه بمدت ۳۰ ثانیه در بتونیر مخلوط شد. پس از آن، نصف آب مصرفی بمدت ۱ دقیقه در حالیکه که بتونیر روشن بود به مخلوط اضافه گردید. بعد از این مرحله بتونیر ۱ دقیقه خاموش شده و سپس مواد چسباننده شامل متاکائولن و سیمان اضافه

گردید و بمدت ۱ دقیقه دیگر در بتونیر مخلوط شد. درحالیکه که بتونیر بمدت ۳ دقیقه روشن بود، آب باقیمانده و ماده افزودنی کاهنده شدید آب به مخلوط اضافه گردید. در نهایت بعد از ۲ دقیقه استراحت، بتن به میزان ۳ دقیقه دیگر مخلوط گردید.

جدول ۲- جزییات طرح اختلاط بتن خودتراکم حاوی متاکائولن

نام گروه	نام اختلاط	سیمان (kg/m^3)	متاکائولن		آب (kg/m^3)	آب به چسباننده	ماسه (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	کاهنده شدید آب (kg/m^3)	اصلاح کننده لزجت (kg/m^3)
			(٪)	(kg/m^3)						
G1	SCCL	۴۹۰	۰	۰	۱۵۷	۰/۳۲	۹۶۷	۸۱۷	۲/۴۷	۱/۳۱
	SCCL5	۴۶۶	۵	۲۴/۵	۱۵۷	۰/۳۲	۹۶۷	۸۱۵	۴/۵۷	-
	SCCL10	۴۴۱	۱۰	۴۹	۱۵۷	۰/۳۲	۹۷۵	۸۰۵	۷/۰۲	-
	SCCL15	۴۱۷	۱۵	۷۳/۵	۱۵۷	۰/۳۲	۹۸۰	۸۰۰	۷/۳۵	-
	SCCL20	۳۹۲	۲۰	۹۸	۱۵۷	۰/۳۲	۹۸۵	۷۹۵	۹/۹۶	-
G2	SCCM	۴۶۰	۰	۰	۱۷۵	۰/۳۸	۹۴۰	۸۱۵	۱/۷۳	۱/۹۶
	SCCM5	۴۳۷	۵	۲۳	۱۷۵	۰/۳۸	۹۴۷	۸۱۰	۳/۳۱	-
	SCCM10	۴۱۴	۱۰	۴۶	۱۷۵	۰/۳۸	۹۵۸	۸۰۰	۳/۶۰	-
	SCCM15	۳۹۱	۱۵	۶۹	۱۷۵	۰/۳۸	۹۶۴	۷۹۰	۴/۸۹	-
	SCCM20	۳۶۸	۲۰	۹۲	۱۷۵	۰/۳۸	۹۷۰	۷۸۱	۴/۸۹	-
G3	SCCH	۴۳۵	۰	۰	۱۹۵	۰/۴۵	۹۲۰	۸۱۵	۱/۶۳	۲/۱۲
	SCCH5	۴۱۴	۵	۲۱/۸	۱۹۵	۰/۴۵	۹۲۵	۸۰۵	۱/۹۵	-
	SCCH10	۳۹۲	۱۰	۴۳/۵	۱۹۵	۰/۴۵	۹۳۳	۸۰۰	۲/۹۳	-
	SCCH15	۳۷۰	۱۵	۶۵/۲	۱۹۵	۰/۴۵	۹۴۰	۷۹۵	۳/۲۶	-
	SCCH20	۳۴۸	۲۰	۸۷	۱۹۵	۰/۴۵	۹۴۵	۷۸۵	۳/۹۱	-

۲. ۳. آزمایش های انجام شده

در این مطالعه آزمایش های بتن تازه خودتراکم بر مبنای EFNARC انجام شده است [۲]. بر اساس EFNARC، پایداری و پرکنندگی بتن خودتراکم توسط چهار مشخصه اصلی آن شامل جریان پذیری، لزجت، قابلیت عبور و مقاومت در برابر جداشدگی تعریف می شود. هر کدام از این پارامترها توسط یک و یا چند آزمایش تخمین زده می‌شوند. در این مطالعه با توجه به قابلیت های مورد نیاز آزمایش های جریان اسلامپ، شاخص پایداری چشمی، قیف V شکل و جعبه L شکل انتخاب شده اند. آزمایش جریان اسلامپ به منظور تعیین جریان پذیری و قابلیت پرکننده گی در سطح افق به هنگام نبود مانع صورت می گیرد. اساس آزمایش بر اصولی استوار است که آزمایش اسلامپ معمولی بر آن بنا نهاده شده است. قطر دایره ای که بتن پس از پخش شدن می سازد، معیار سنجش قابلیت جریان پذیری بتن خواهد بود. از آنجائیکه جریان اسلامپ تنها پارامتر کنترل کننده کارائی بتن خودتراکم نمی باشد،

در مطالعات گوناگون جریان اسلامپ را در محدوده کنترل شده نگاه داشته و تأثیر پارامترهای موجود را در دیگر خواص بتن تازه خودتراکم جستجو می نمایند [۱۰]. روند مشابه در این مطالعه نیز دنبال خواهد شد که تنظیم نگاه داشتن جریان اسلامپ در محدوده مورد نظر با استفاده از میزان کاهنده شدید آب خواهد بود. بر اساس EFNARC، جریان پذیری بتن خودتراکم در سه رده تقسیم بندی می گردد که جزئیات آن در جدول ۳ نشان داده شده است. از شاخص پایداری چشمی به عنوان یکی از ساده ترین و مشهورترین روش ها برای ارزیابی پایداری بتن خودتراکم بهره گرفته می شود. بر طبق این شاخص، پایداری بتن خودتراکم در چهار گروه بین صفر (فوق العاده پایدار) تا ۳ (فوق العاده ناپایدار) تقسیم بندی می شود. بعد از برداشتن مخروط اسلامپ، جداشدگی دینامیکی بتن بصورت چشمی با بررسی تجمع درشت دانه ها و یا ضخامت خمیر سیمان در گوشه بتن پخش شده ارزیابی می گردد.

معمولاً بلافاصله بعد از ساخت، با حفظ خواص بتن تازه می بایست بتن را از محل ساخت به محل بتن ریزی نهایی منتقل نمود. لذا بررسی خواص بتن تازه در طول دوره زمانی انتقال بتن امری ضروری بنظر می رسد. در مطالعات انجام پذیرفته در ارتباط با تاثیر تاخیر زمانی بر خواص بتن تازه، زمان انتقال بتن تعریف می شود. زمان انتقال بتن[1] به زمان صرف شده بین اولین تماس آب و سیمان در حین ساخت بتن تا ابتدای زمان بتن ریزی اطلاق می شود [۱۱]. بتن خودتراکم به علت نسبت کم آب به سیمان و همچنین مقدار مواد سیمانی بالا احتیاج به توجه بالاتری در مقوله زمان انتقال بتن دارد. اما متاسفانه توجه محدودی در مطالعات نسبت به زمان انتقال بتن خودتراکم صورت پذیرفته است. در این مطالعه جریان اسلامپ بتن خودتراکم حاوی متاکائولن با گذشت زمان انتقال بتن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

جدول ۳- رده بندی بتن خودتراکم بر اساس EFNARC [۲]

رده	جریان اسلامپ (mm)		
	رده بندی جریان اسلامپ		
SF1	۶۵۰-۵۵۰		
SF2	۷۵۰-۶۶۰		
SF3	۸۵۰-۷۶۰		
رده	T_{50} (s)	زمان قیف V شکل (s)	
	رده بندی لزجت		
VS1/VF1	≤۲	≤۸	
VS2/VF2	>۲	۹-۲۵	
رده	جعبه L شکل		
	رده بندی عبورکنندگی		
PA1	با دو عدد آرماتور ≥۰/۸		
PA2	با سه عدد آرماتور ≥۰/۸		

لزجت بر طبق تعریف به مقاومت در برابر جریان بتن تازه وقتی جریان آغاز می شود اطلاق می گردد که معمولاً برای محل هایی با آرماتور بندی حجیم و در مواقعی که احتیاج به سطوح بتن ریزی مطلوب می باشد، می بایست مورد توجه قرار گیرد. در این مطالعه، از زمان عبور از قیف V شکل و T_{50} برای تخمین لزجت بتن خودتراکم استفاده می شود. زمان لازم برای رسیدن جریان اسلامپ بتن خودتراکم به قطر ۵۰ سانتیمتر، T_{50} اطلاق می شود. همچنین در هنگام انجام آزمایش قیف V شکل، ابتدا قیف از بتن پر شده و بعد

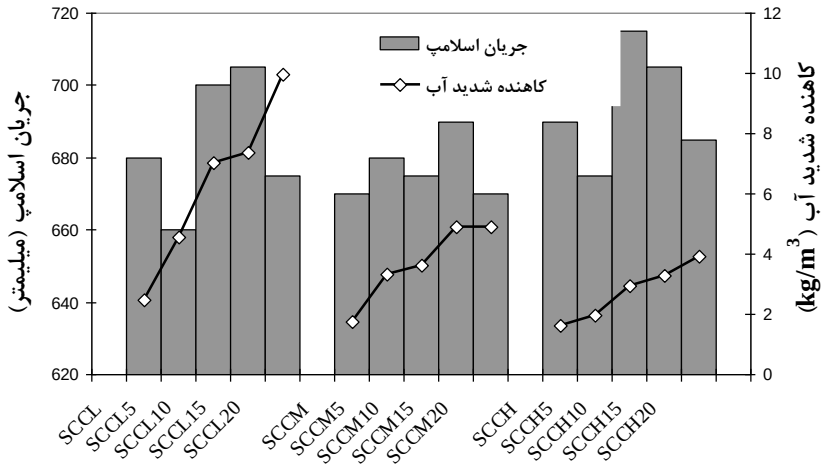
[1] Hauling time

از باز نمودن دریچه انتهایی قیف، زمان لازم برای دیده شدن نور از بالای قیف زمان قیف V شکل نامیده می شود. بر مبنای EFNARC [۲]، دو رده لزجت بتن خودتراکم وجود دارد که در جدول ۳ نمایش داده شده است.
جعبه L شکل نسبت ارتفاع بتن عبور نموده از دو یا سه عدد آرماتور با قطر و فاصله معلوم را پس از عبور مسافتی مشخص اندازه گیری می نماید. توسط این آزمایش توانایی بتن تازه جهت پرکنندگی و عبور در طول فضاهای محدود و آرماتور بندی متراکم بدون از بین رفتن یکپارچگی و همچنین هرگونه جداشدگی و یا انسداد ارزیابی خواهد شد. طبقه بندی بتن خودتراکم بر مبنای عبورکنندگی (نسبت انسداد) در جدول ۳ نشان داده شده است.

۳. نتایج آزمایش‌ها و بررسی آنها

۳.۱. جریان اسلامپ

تغییرات میزان جریان اسلامپ و کاهنده شدید آب در اختلاط های متفاوت بتن خودتراکم حاوی متاکائولن در شکل ۱ نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود مقدار جریان اسلامپ در نمونه های حاوی متاکائولن در محدوده ۶۶۰ تا ۷۱۵ میلیمتر متغییر می باشد. تمامی اختلاط های این مطالعه را می توان در رده دوم بتن خودتراکم (SF2)، طبقه بندی نمود. این رده از بتن خودتراکم را می توان در بسیاری از کاربردهای معمولی مهندسی مانند تیر و یا ستون استفاده کرد. همچنین از جدول ۴ ملاحظه می گردد که با افزایش میزان متاکائولن در هر سه گروه، جریان اسلامپ بتن خودتراکم کاهش می یابد. به عنوان مثال، در میزان ثابت مصرف کاهنده شدید آب، جریان اسلامپ در SCCM15 به میزان ۶۹۰ میلیمتر اندازه گیری شد که با افزایش میزان متاکائولن تا ۲۰ درصد (اختلاط SCCM20) به ۶۷۰ میلیمتر کاهش می یابد. علت این امر را می توان در سطح مخصوص ویژه بالاتر متاکائولن در مقایسه با سیمان جستجو نمود. این نتیجه در راستای مطالعات انجام پذیرفته توسط Guneyisi و Gesoglu [۱۲] می باشد که دلالت بر کاهش جریان پذیری ملات خودتراکم با حضور متاکائولن دارد. لازم به ذکر می باشد که مصرف بیشتر کاهنده شدید آب در بعضی از اختلاط ها باعث گردیده است که در آنها با وجود افزایش میزان متاکائولن، جریان اسلامپ افزایش نماید.



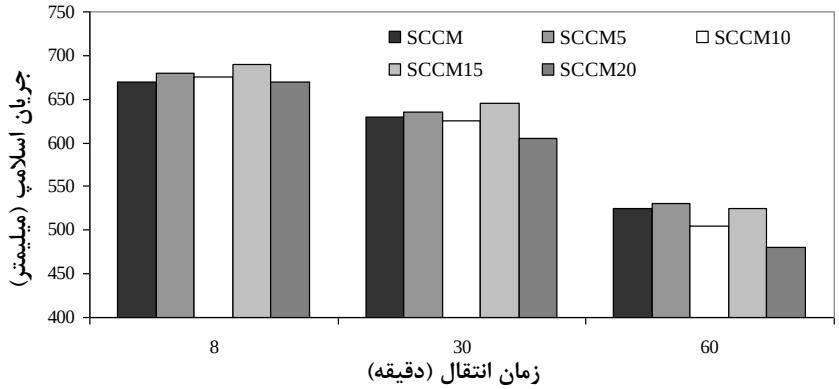
شکل ۱- تغییرات میزان جریان اسلامپ و کاهنده شدید آب در اختلاط های متفاوت بتن خودتراکم حاوی متاکائولن

۳. ۲. شاخص پایداری چشمی

جداشدگی سنگدانه ها باعث ضعف در عملکرد بتن مسلح مانند پرشدن نامناسب قالب، پرشدگی نامناسب در اطراف آرماتور، کاهش مقاومت و مشخصه های دوام پایین تر می شود. در این مطالعه، از شاخص پایداری چشمی به عنوان یکی از ساده ترین و مشهورترین روش ها برای ارزیابی پایداری بتن خودتراکم استفاده شده است. بر این اساس تمامی نمونه ها دارای شاخص پایداری چشمی صفر و یا ۱ می باشند که نشان دهنده پایداری مناسب بتن خودتراکم حاوی متاکائولن است.

۳. ۳. تغییرات جریان اسلامپ با گذشت زمان انتقال

تأثیر استفاده از متاکائولن در جریان اسلامپ بتن خودتراکم با گذشت زمان انتقال برای گروه دوم در شکل ۲ نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود صرفنظر از حضور و یا عدم حضور متاکائولن با گذشت زمان انتقال، میزان جریان اسلامپ با گذشت زمان انتقال کاهش می یابد. مکانیسم کاهش جریان اسلامپ با افزایش زمان انتقال را می توان در افزایش سطح مخصوص ویژه[۲] ملات (به علت خردشدگی سیمان[۳]، خردشدگی سنگدانه[۴] و افزایش محصولات سیمان هیدراته[۵]) و همچنین جذب سطحی فوق روان کننده با گذشت زمان انتقال جستجو نمود. میزان کاهش جریان اسلامپ در بتن خودتراکم بعد از ۶۰ دقیقه در حدود ۲۲ درصد می باشد که در صورت وجود ۲۰ درصد متاکائولن به ۲۸ درصد افزایش می یابد. لذا می توان نتیجه گرفت که وجود متاکائولن می تواند باعث کاهش ابقاء جریان اسلامپ گردد. بر طبق مطالعه انجام پذیرفته توسط Bouzoubaa و Lachemi، عموماً بتن خودتراکم با جریان اسلامپ زیر ۵۰ میلیمتر نمی تواند از بین آرماتوربندی حجیم عبور نماید و بنابراین نمی توان در عمل آن را در رده بتن خودتراکم تقسیم بندی نمود [۱۳]. بر همین مبنا، بتن خودتراکم حاوی ۱۵ درصد متاکائولن می تواند تا ۶۰ دقیقه جریان اسلامپ بالای ۵۰۰ میلیمتر را حفظ نماید.

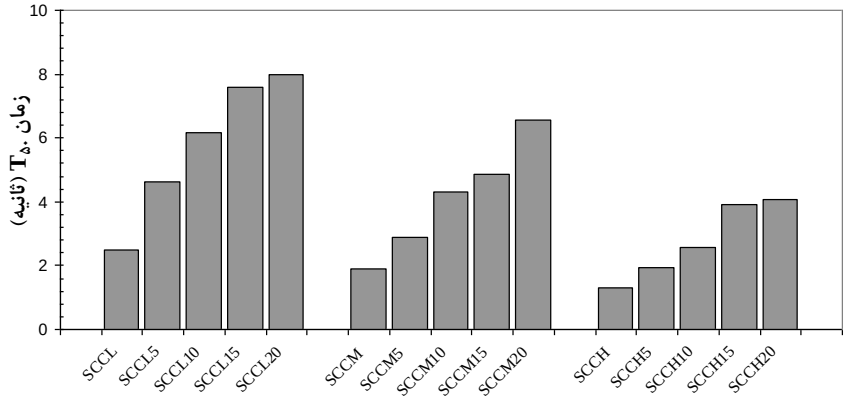


شکل ۲- تغییر جریان اسلامپ بتن خودتراکم با گذشت زمان انتقال (گروه دوم)

[2] Specific surface area of concrete mortar
[3] Cement particles' grinding
[4] Aggregate grinding
[5] Growth of cement hydrated products

۳. ۴. زمان T_{50}

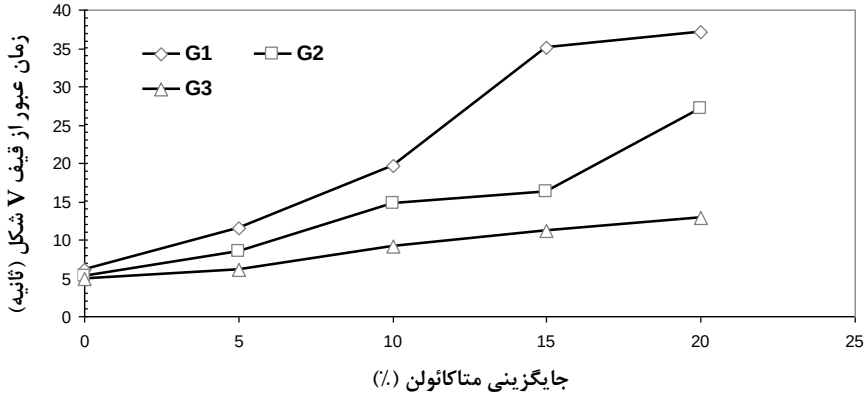
تأثیر میزان های متفاوت جایگزینی متاکائولن در نسبت های متفاوت آب به چسباننده بر زمان T_{50} در شکل ۳ نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد، زمان T_{50} در محدوده ۲/۴۸ تا ۷/۵۷ ثانیه، ۱/۹ تا ۶/۵۶ ثانیه و ۱/۳ تا ۴/۰۸ ثانیه به ترتیب برای گروه اول، دوم و سوم متغییر است. شکل ۳ همچنین نشان می دهد که افزایش متاکائولن باعث افزایش زمان T_{50} شده است. از طرفی در میزان ثابت جایگزینی متاکائولن با کاهش میزان آب به چسباننده مقادیر بالاتری از زمان T_{50} بدست آمده است که نشانه افزایش لزجت بتن می باشد.



شکل ۳- تأثیر میزان های متفاوت جایگزینی متاکائولن در نسبت های متفاوت آب به چسباننده بر زمان T_{50}

۳. ۵. قیف V شکل

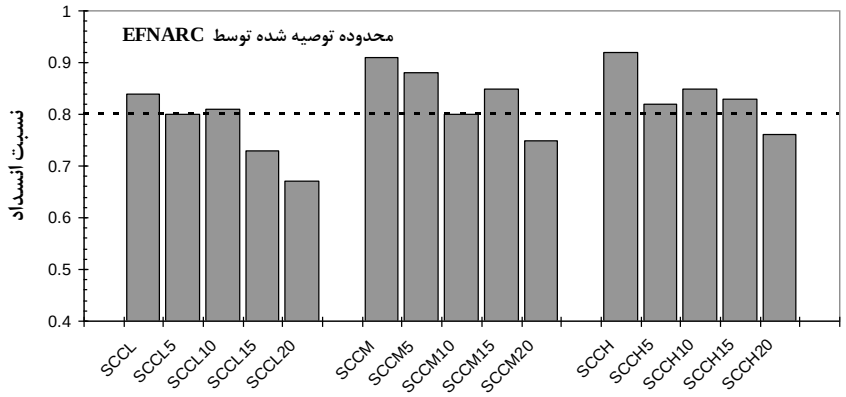
زمان عبور از قیف V شکل برای تمامی اختلاط های بتن خودتراکم حاوی متاکائولن در شکل ۴ نشان داده شده است. در گروه اول، زمان عبور از قیف V شکل در اختلاط شاهد به میزان ۶/۱ ثانیه بدست آمده که با جایگزینی متاکائولن به میزان ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد با سیمان مصرفی این زمان ۱/۹، ۳/۲۱، ۵/۷ و ۶/۱ برابر شده است. روند مشابه در گروه های دوم و سوم نیز صادق می باشد. این امر نشان از افزایش زمان عبور از قیف V شکل با افزایش میزان متاکائولن در تمامی نسبت های آب به چسباننده دارد. بر اساس EFNARC، اختلاط بتن خودتراکم با زمان عبور از قیف V شکل بالاتر از ۲۵ ثانیه توصیه نمی شود. بر این مبنا، اختلاط های SCCL15، SCCL20 و SCCM20 این توصیه را ارضاء نمی نمایند. از طرفی با توجه به شکل ۴ و همچنین جدول ۳ می توان بدین نتیجه رسید که استفاده از متاکائولن نیاز به استفاده از اصلاح کننده های لزجت در نمونه های شاهد را مرتفع می سازد. در راستای نتیجه بخش زمان T_{50}، در نسبت ثابت متاکائولن، کاهش نسبت آب به چسباننده باعث افزایش زمان عبور بتن از قیف V شکل می شود.



شکل ۴- تأثیر میزان های متفاوت جایگزینی متاکائولن بر زمان عبور از قیف V شکل

۳. ۶. شاخص انسداد

شکل ۵ نشان دهنده تأثیر افزودن متاکائولن بر شاخص انسداد بتن خودتراکم در نسبت های مختلف آب به چسباننده می باشد. این مقدار بسته به میزان متاکائولن و همچنین نسبت آب به چسباننده در محدوده ۰/۹۲ تا ۰/۶۷متغییر می باشد. بر طبق EFNARC، میزان شاخص انسدادپایین تر از ۰/۸ توصیه نمی‌گردد. با اینحال، در این مطالعه در اختلاط هایی که در آنها شاخص انسداد کمتر از ۰/۸ می باشد، نشانه ای از انسداد و یا جداشدگی سنگدانه ها در اطراف آرماتور دیده نشد.



شکل ۵- شاخص انسداد بتن خودتراکم حاوی متاکائولن در نسبت های متفاوت آب به چسباننده

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه تأثیر متاکائولن بر خواص بتن تازه خودتراکم در نسبت های متفاوت آب به چسباننده مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج زیر قابل استنباط می باشد.

۱- استفاده از متاکائولن باعث کاهش میزان جریان پذیری بتن خودتراکم می شود. با اینحال با تنظیم میزان کاهنده شدید آب قادر به تولید بتن خودتراکم در محدوده رده دوم EFNARC می باشیم. این رده از بتن خودتراکم را می توان در بسیاری از کاربردهای معمولی مهندسی مانند تیر و یا ستون استفاده نمود.
۲- بتن خودتراکم حاوی متاکائولن با شاخص پایداری صفر و یا ۱ در نسبت های متفاوت آب به چسباننده قابل تولید است.
۳- وجود متاکائولن می تواند باعث کاهش ابقاء جریان اسلامپ گردد. با این حال بتن خودتراکم حاوی ۱۵ درصد متاکائولن می تواند تا ۶۰ دقیقه جریان اسلامپ بالای ۵۰۰ میلیمتر را حفظ نماید.
۴- با افزایش میزان متاکائولن زمان عبور بتن از قیف V شکل و همچنین زمان T50 افزایش می یابد. از طرفی وجود متاکائولن نیاز به استفاده از اصلاح کننده لزجت را از بین می برد.
۵- افزایش نسبت آب به چسباننده باعث افزایش جریان پذیری و همچنین کاهش لزجت بتن خودتراکم می گردد.
۶- در تمامی اختلاط های این مطالعه نشانه ای از انسداد و یا جمع شدگی سنگدانه ها در اطراف آرماتورهای موجود در آزمایش جعبه L شکل دیده نشد.
۷- عموماً با توجه به نتایج بتن تازه خودتراکم حاوی متاکائولن، ۱۰ درصد متاکائولن را می توان به عنوان میزان بهینه جایگزینی در نسبت های متفاوت آب به چسباننده در نظر گرفت.

۵. مراجع

[1] Okamura H, Ozawa K. Mix-design for self-compacting concrete. Concrete library of JSCE, 25, 107-120, 1995.

[2] The European guidelines for self-compacting concrete; specification production and use. EFNARC; May 2005.

[3] Zerbino R, Giaccio G, Isaia GC. Concrete incorporating rice-husk ash without processing. Construction and Building Materials, 25, 371-378, 2011.

[4] Vejmelkova E, Pavlikova M, Keppert M, Kersner Z, Rovnanikova P, Ondracek M, Sedlmajer M, Cerny R. High performance concrete with Czech metakaolin: Experimental analysis of strength, toughness and durability characteristics. Construction and Building Materials, 24, 1404–1411, 2010.

[5] Poon CS, Lam L, Kou SC, Wong YL, Wong R. Rate of pozzolanic reaction of metakaolin in high performance cement pastes. Cement and Concrete Research, 31, 1301–1306. 2001.

[6] Poon CS, Kou SC, Lam L. Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete. Construction and Building Materials, 20, 858-865, 2006.

[7] Shekarchi M, Bonakdar A, Bakhshi M, Mirdamadi A, Mobasher B. Transport properties in metakaolin blended concrete. Construction and Building Materials, 24, 2217–2223, 2010.

[8] Batis G, Pantazopoulou P, Tsivilis S, Badogiannis E. The effect of metakaolin on the corrosion behavior of cement mortars. Cement & Concrete Composites, 27, 125–130, 2005.

[9] Khayat KH, Bickley J, Lessard M. Performance of self-consolidating concrete for casting basement and foundation walls. ACI Material Journal, 97, 374–380, 2000.

[10] Madandoust R, Ranjbar MM, Mousavi SY. An investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene. Construction and Building Materials, 25, 3721–3731, 2011.

[11] Ghafoori N, Barfield M. Effects of hauling time on air-entrained self-consolidating concrete. ACI Material Journal, 107, 275–281, 2010.

[12] Guneyisi E, Gesoglu M. Properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and metakaolin. Materials and Structures, 41, 1519–1531, 2008.

[13] Bouzoubaa, N. and Lachemi, M., (), "Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results. Cement and Concrete Research, 31, 413–420, 2001.