

بررسی خواص مهندسی بتن سبک خودتراکم حاوی سبکدانه اسکوریا

سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد^{۱*}، ملک محمد رنجبر^۱، سروش عیسی پور^۲، محمد

آرایشگر^۳

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، ایران، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، رشت، ایران

۲- کارشناسی مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، دانشکده فنی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۱* - email: h.mosavi@guilan.ac.ir

۱ - email: ranjbar@guilan.ac.ir

۲ - email: soroushisapour@yahoo.com

۳ - email: mohammad_ar2011@yahoo.com

کد C

چکیده:

بتن خودتراکم یکی از انواع جالب بتن های توانمند است که در بدو امر برای کاربرد در قطعات بتن آرمه پر آرماتور ابداع و ساخته شد اما امروزه کاربردهای بسیار گسترده ای پیدا کرده است. از طرف دیگر با توجه به خطر لرزه خیزی موجود گرایش به سمت سبک سازی ساختمانها افزایش داشته است. در این مطالعه به بررسی امکان ساخت بتن خودتراکم با سبکدانه های اسکوریا پرداخته شده است. طرح اختلاط بهینه بر اساس حفظ شاخص های جریان پذیری در محدوده مطلوب EFNARC و همچنین دسترسی به بتنی با وزن مخصوص مورد نظر آیین نامه های بتن سبک انتخاب شده است. بدین منظور آزمایشهای جریان اسلامپ، جعبه L و قیف V بر روی همه طرح های اختلاط در حالت تازه انجام شد و همچنین آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی، اندازه گیری سرعت عبور امواج التراسونیک و جذب آب بر روی طرح اختلاط انتخاب شده بر اساس آزمایش های بتن تازه انجام گرفت.

نتایج نشان می دهد ساخت بتن خودتراکم سبک با دانه های اسکوریای ایران با مقاومت سازه ای امکان پذیر می باشد اما کسب وزن مخصوص های پایین تر ضمن حفظ خواص خودتراکمی بتن امکان پذیر نیست. وزن مخصوص بالاتر اسکوریا در مقایسه با دیگر سبکدانه ها از یک سو، افزایش مصرف فیلر و مصالح ریزدانه نسبت به درشت دانه های سبک به منظور جبران کاهش در کارایی بتن که در نتیجه سطوح خشن دانه های اسکوریا بوجود می آید از سوی دیگر، دستیابی به بتن های با وزن مخصوص پایینتر از ۱۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب را با مشکل مواجه می کند.

کلمات کلیدی: اسکوریا، بتن خودتراکم سبک، کارایی، خواص بتن سخت شده.

مقدمه

سرباره ی آتشفشانی ۱ (اسکوریا) از نوع سنگ های آتشفشانی با ساختار شیشه ای است که از معادن روباز استخراج شده و به عنوان یک مصالح صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. حدود ۳ قرن است که سرباره آتشفشانی با موفقیت در بیش از ۷۰ کاربرد متفاوت در نقاط مختلف دنیا استفاده می شود [1]. سرباره آتشفشانی سبکدانه ای هم سنگ با مواد آتشفشانی بازالتی است، به همین دلیل این ماده با نام گدازه ی بازالتی ۲ نیز شناخته می شود. ساختار شیشه ای متخلخل این ماده چگالی پایین آن را سبب شده است. این سنگهای آتشفشانی تیره رنگ و متخلخل حاصل فرایند خروج گاز و گدازه ها در حین فوران آتشفشان ها و حبس حباب های هوا، طی سرد شدن سریع در هوا می باشند. سرباره های آتش فشانی عموماً به رنگ های قرمز تا قهوه ای موجودند. که این رنگ به دلیل میزان بالای آهن آن است. و میزان تمایل به قهوه ای یا قرمز وابسته به میزان اکسیداسیون در این مصالح می باشد [2].

بلوک های بنایی ساخته شده با سرباره سبک آتش فشانی تا ۴۵ درصد سبک تر از بلوک های بنایی سنتی است، این کاهش وزن سبب افزایش بهره وری، کاهش هزینه ی ساخت و کاهش صدمات حین کار می شود. عایق بندی عالی حرارتی، مقاومت خوب در برابر آتش، خاصیت جذب صدا، عملکرد لرزه ای خوب، انقباض و جمع شدگی پایین و ظرفیت شکل پذیری بالا از دیگر خصوصیات این بلوک ها می باشد [3].

جذب فلزات سنگین از آب:

روش های متفاوتی جهت پاکسازی آب های حاوی فلزات سنگین وجود دارد. استفاده از مواد جاذب مانند ژل سیلیسس، آلومینیوم و کربن فعال از روشهای متداول و موثر است اما استفاده از این مواد عموماً پرهزینه است. در مطالعه ای در این زمینه که قابلیت اسکوریا در جذب Zn(II) از آب آلوده را بررسی کرده است به عملکرد موثر این ماده و ظرفیت بالای جذب آن در عین سهولت دسترسی و قیمت بسیار پایین این ماده اشاره شده است [4]. همچنین در مطالعه دیگری عملکرد اسکوریا در جذب و پاکسازی یون های کادمیوم از آب بررسی شد که نتایج از عملکرد قابل قبول این مصالح خبر داد. عملکرد خوب این مصالح به دلیل سطح ویژه ی بالا، قیمت ارزان و فراوانی این محصول در جداسازی یون های فلزات سنگین از آب و پساب های آلوده در مطالعات مختلفی مورد توجه قرار گرفته است [5].

استفاده در ساخت بتن سبکدانه:

Alaettin Kılıc و همکارانش امکان استفاده از سبکدانه های اسکوریا در تولید بتن سبکدانه سازه ای را بررسی کردند. مطابق نتایج امکان ساخت بتن سبکدانه سازه ای با مقاومت فشاری استوانه ای ۳۰ مگاپاسکال بدون استفاده از افزودنی های پوزولانی امکان پذیر است. امکان دسترسی به این مقاومت فشاری در طرح حاوی ۲۰ درصد خاکستر بادی به عنوان جایگزین سیمان وجود داشته که صرفه جویی اقتصادی و مزایای محیط زیستی را به دنبال دارد. در این مطالعه با جایگزینی ۱۰ درصد از مواد سیمانی با دوده سیلیس کسب مقاومت فشاری ۴۰ مگاپاسکال و دسترسی به بتن سبکدانه با مقاومت بالا نیز میسر شد. همچنین در طرح سه جزیی حاوی خاکستر بادی و دوده سیلیس مقاومت فشاری بالاتر از ۳۵ مگاپاسکال گزارش شد. طرح های حاوی سبکدانه ها کاهش ۲۰ درصدی وزن مخصوص بتن خشک شده در محیط را نسبت به بتن معمولی نشان می دهد [6].

مقاومت فشاری کسب شده در مطالعه M.R. Moufti در طرح های حاوی مقادیر متفاوت سیمان و دوده سیلیس در حدود ۲۷ تا ۷۷ درصد بیشتر از مقادیر تعیین شده ASTM C330 به ازای مقادیر مختلف وزن مخصوص بتن سخت شده گزارش شده است که

۱ . Volcanic slag

۲ . basalt lava

نشان دهنده کیفیت قابل قبول سبکدانه های اسکوریا در ساخت بتن های سبکدانه سازه ای است [3].

کنترل واکنش های قلیایی سیلیسی و عملکرد پوزولانی پودر اسکوریا:

M.R. Moufti با جایگزینی مقادیر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد از سیمان با پودر اسکوریا قابلیت کنترل واکنش های قلیایی-سیلیسی را از طریق اندازه گیری انبساط ملات منشوری ارزیابی کرد که در نتیجه افزایش میزان جایگزینی، کاهش در انبساط آزمونه ها گزارش شد اما تنها طرح حاوی ۴۰ درصد اسکوریا سبب کنترل انبساط مطابق با الزامات مورد نظر آیین نامه شد. آزمایش ارزیابی فعالیت پوزولانی نشان دهنده کسب مقاومت فشاری ۷۳ تا ۱۰۶ درصد و ۷۷ تا ۱۱۳ درصد نمونه شاهد در سنین ۷ و ۲۸ روز برای طرح حاوی ۱۰ و ۴۰ درصد اسکوریا بوده و میزان ۷۵ درصدی مورد نظر آیین نامه را برآورده کرد. این محقق در برابند نتایج فعالیت پوزولانی و کنترل واکنش های قلیایی سیلیسی، بهترین درصد جایگزینی اسکوریا را به عنوان مواد سیمانی، ۲۰ درصد پیشنهاد می کند [3].

هدایت گرمایی و کاربرد جهت ایزولاسیون:

در مطالعه M.R. Moufti میزان هدایت حرارتی بتن های حاوی اسکوریا بین 0.168 and 0.195 W/mK اندازه گیری شده است. این در حالیست که آیین نامه ASTM C332-1995 حداکثر میزان قابل قبول را به 0.43 W/mK محدود کرده است. مشاهده می شود که نتایج ثبت شده به میزان قابل توجهی کمتر از مرز آیین نامه گزارش شده است [3]. Demirdag و همکارش، هدایت حرارتی برای بتن های غیرسازه ای ساخته شده با نسبت مصالح سنگی به سیمان ۵/۱، ۱۰/۱، ۲۵/۱، در محدوده ۰،۴۴۰ تا ۰،۶۴۵ W/mK اندازه گیری کرد در حالیکه وزن مخصوص خشک این نمونه ها از ۱۱۸۰ تا ۱۴۸۰ kg/m³ تغییر میکرد. EN 1745-2002 محدوده قابل قبول این پارامتر را 0.35-0.85 W/mK برای محدوده وزن مخصوص 800 and 1600 kg/m³ برای بتن های سبک تعیین کرده است. این پارامتر با افزایش میزان سیمان و کاهش میزان ریزدانه ها که منجر به کاهش وزن مخصوص بتن می شود کاهش می یابد. نتایج این مطالعات نشان دهنده قابلیت بالای استفاده بتن های حاوی اسکوریا در بلوک های ساختمانی جهت صرفه جویی در هزینه های انرژی گرمایشی می باشد [2].

ظرفیت مقاومتی اسکوریا:

عباس مجدی و همکارانش به مطالعه ظرفیت مقاومتی سبکدانه اسکوریا استخراج شده از دو معدن متفاوت در داخل کشور پرداختند. این محققین در این مطالعه، نمودارهایی که نشان دهنده مقاومت فشاری بتن حاوی اسکوریا بر حسب مقاومت فشاری ملات مورد استفاده در بتن مورد نظر بود را ارائه کردند. مقایسه نتایج کسب شده در بتن های حاوی سبکدانه اسکوریا با بتن حاوی سنگدانه طبیعی از ظرفیت کسب مقاومت های بالا با افزایش مقاومت ملات در طرح های بتن سبک خبر داده است [7]. مقایسه انجام شده پیرامون ظرفیت مقاومتی اسکوریا و لیکا با بتن حاوی سنگدانه های طبیعی توسط شکرچی زاده و همکارانش در مطالعه دیگر و مقایسه این پارامتر میان سبکدانه پومیس و اسکوریا نشان دهنده مشابهت بیشتر اسکوریا با سنگدانه های طبیعی در روند کسب مقاومت است. شایان ذکر است که در نموداری که در این منبع، به مقایسه مقاومت فشاری به ازای مقادیر متفاوت چگالی بتن سبک حاوی اسکوریا و لیکا پرداخته شده است، به ازای مقدار مشابه چگالی میانگین مقاومت فشاری بتن حاوی لیکا کمی بالاتر از این عدد برای طرح های حاوی اسکوریا است [8]. ذخایر اسکوریا و پومیس در نقاط مختلفی از دنیا با معادن آتشفشانی جوان موجود است. این سنگ ها در اروپا (ایتالیا، ترکیه، یونان و اسپانیا)، آمریکای مرکزی، جنوب آسیا و شرق آفریقا (اریتریا، دیبوجی، کنیا و اتیوپی) فراوانند [5]. در ایران نیز ذخایر بزرگی از این سنگ های آتشی فشانیه موجود است. مناطق آتشفشانی دماوند، سبلان و قروه-بیجار-تکاب از جمله ذخایر اسکوریا در ایران

هستند[8].

بتن خودتراکم سبک:

تفاوت قابل توجه چگالی سبکدانه ها و ملات در بتن های سبکدانه خطر جداسدگی و روزدگی سبکدانه ها و در نتیجه ایجاد یک لایه ی ضعیف در سطح بتن را افزایش می دهد([9], [10]). بتن خودتراکم به دلیل مقاومت در برابر جداسدگی ایده مناسبی جهت برطرف کردن این نقیصه می باشد. این کار به وسیله ی افزودن فیلر های معدنی و پوزولان های با سطح مخصوص زیاد انجام می شود. بتن خودتراکم نوع جدیدی از بتن های با عملکرد بالا است که می تواند بدون جداسدگی و انسداد، تحت وزن خود و بدون نیاز به لرزاندن خارجی به محل مورد نظر جریان یابد و قالب را پر کند. پایداری بتن تازه به وسیله مقاومت در برابر آب انداختگی، ته نشینی و جداسدگی توصیف می شود و به چسبندگی و گرانیروی مخلوط وابسته است ([11], [12]).

در سالهای اخیر در مطالعات مختلفی به ارائه طرح های اختلاط بتن خودتراکم سبک حاوی سبکدانه های معدنی، مصنوعی و پلیمری پرداخته شده است. در این مطالعه به ارزیابی امکان ساخت بتن خودتراکم سبک حاوی سبکدانه های معدنی اسکوریا بررسی شده است.

برنامه آزمایشگاهی:

مصالح مورد استفاده:

سیمان مورد استفاده در این تحقیق از نوع پرتلند نوع ۲ کارخانه سیمان هگمتان بوده که دارای توده ویژه 3 Kg/m^3 و 3150 و سطح مخصوص $2900 \text{ cm}^2/\text{gr}$ می باشد. همچنین از دوده سیلیس کارخانه ی صنایع فرو آلیاژ ایران (ازنا) به عنوان مواد پوزولانی در همه طرح ها استفاده شده است. توده ویژه دوده سیلیس استفاده شده 2120 Kg/m^3 می باشد که مشخصات شیمیایی سیمان و دوده سیلیس در جدول ۱ آمده است. همچنین ماسه مصرفی با قطر ذرات بین 0.425 تا 4.75 و از نوع رودخانه ای بوده که وزن مخصوص ظاهری در حالت SSD و جذب آب آن به ترتیب 2.65 و 1.6 درصد می باشد. به منظور کسب روانی مطلوب جهت ساخت بتن خودتراکم از فوق روان کننده GLENIUM 51P استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۳ آمده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان و دوده سیلیس

	SiO2	CaO	Al2O3	Fe2O3	MgO	SO3
سیمان	۲۱/۵۴	۶۳/۲۴	۴/۹۵	۳/۸۲	۱/۵۵	۲/۴۳
دوده سیلیس	۹۵/۱	۰/۴۹	۱/۳۲	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۱

نام	Glenium 51P	جدول ۲- دانه بندی ماسه و پودر سنگ		
		پودر سنگ	ماسه طبیعی	
نوع	پلی کربوکسیلیک اتر اصلاح شده	-	-	۴
ظاهر	مایع غلیظ قهوه ای کم رنگ	۱۰۰	۱۰۰	۸
وزن مخصوص (g/cm^3)	۱/۰۸ تا ۱/۰۶ در 20°C	۹۴/۵	۸۸	۱۶
ph	۶/۶	۸۱/۳	۶۹/۳	۳۰
یون کلر	وجود ندارد	۶۵/۵	۱۹/۴	۵۰
		۴۲/۹	۲/۸	۱۰۰
		۲۲/۱	۰	۲۰۰

جدول ۳- مشخصات فوق روان کننده

جدول ۴- مشخصات سبکدانه اسکوریا

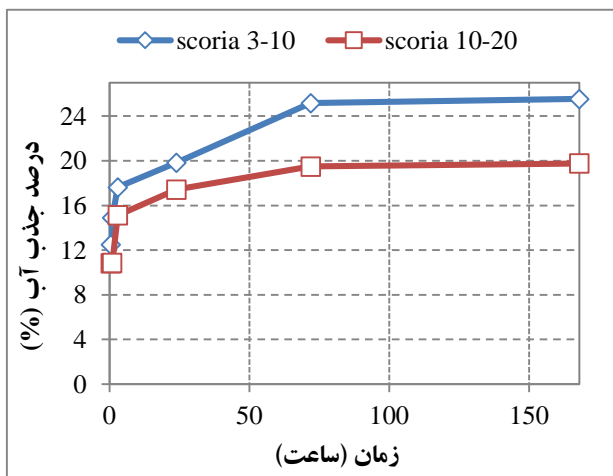
SSD			گرمخانه			
توده ی ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)	وزن مخصوص فضایی متراکم شده با میله (کیلوگرم بر متر مکعب)	وزن مخصوص فضایی غیرمتراکم (کیلوگرم بر متر مکعب)	توده ی ویژه (کیلوگرم بر متر مکعب)	وزن مخصوص فضایی متراکم شده با میله (کیلوگرم بر متر مکعب)	وزن مخصوص فضایی غیرمتراکم (کیلوگرم بر متر مکعب)	اندازه دانه ها (میلیمتر)
1786	819.3	721.2	1653	658.2	562.3	0-3
1542	765.5	655.9	1460	562.3	525.8	3-10



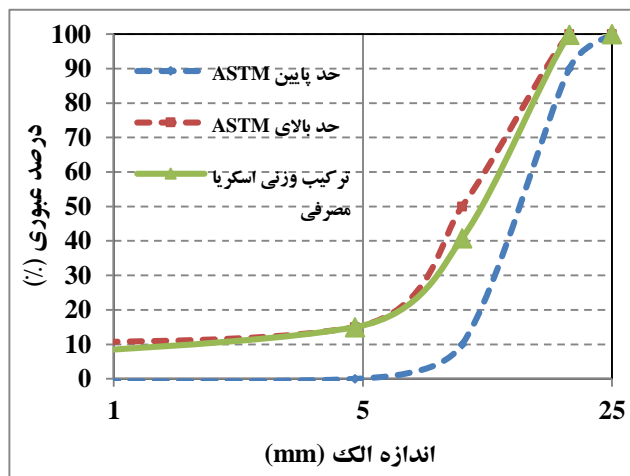
شکل ۲- اسکوریای ریزدانه



شکل ۱- اسکوریای دشت دانه



شکل ۴- تغییرات میزان جذب آب ۰,۵ تا ۱۶۸ (۷روزه)



شکل ۳- دانه بندی ترکیب وزنی سبکدانه اسکوریا

ساعته اسکوریا

طرح‌های اختلاط و آماده سازی آزمون‌ها:

در این پروژه نسبت آب به مواد سیمانی در همه طرح‌ها ثابت و برابر ۰/۳۳ در نظر گرفته شده و به میزان ۱۰ درصد از مواد سیمانی با دوده سیلیس جایگزین شده است.

ترتیب اختلاط مصالح برای ساخت بتن‌ها این گونه بود که ابتدا سبکدانه‌های خشک با قسمتی از آب اختلاط مخلوط شده که جهت پیش مرطوبی سبک دانه‌ها این مرحله تا ۱۵ دقیقه به طول انجامید. سپس ماسه و پودر سنگ به داخل مخلوط کن ریخته شده و در نهایت مواد سیمانی که شامل سیمان و دوده سیلیس می‌باشد به مخلوط اضافه شد و بعد از آن مقدار دیگری از آب به همراه فوق روان کننده به مخلوط اضافه گردید و باقیمانده آب در حین اختلاط مصالح اضافه شد. عملیات اختلاط به گونه‌ای انجام گرفت که در پایان حدود ۳۰ دقیقه بعد از مرطوب شدن سبکدانه‌ها، آب معادل جذب آب نیم ساعته مصالح که قبلاً اندازه‌گیری شده است، جذب مصالح گردید.

آزمون‌های بتن تازه ی خودتراکم بلافاصله پس از این مرحله برای هر یک از طرح‌های اختلاط انجام گرفت. پس از ساخت بتن مطابق الگوی فوق، عملیات آزمون‌گیری جهت بررسی خواص مکانیکی انجام شده و پس از پر کردن قالب‌ها، آزمون‌ها در دمای ۲۰±۲ در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند و بعد از گذشت این زمان و باز کردن قالب‌ها آزمون‌ها تا زمان آزمایش تحت عمل آوری مرطوب در دمای آزمایشگاه قرار گرفتند.

به منظور دستیابی به طرح اختلاط بهینه بتن خودتراکم سبک، طرح‌های اختلاط اولیه به گونه‌ای انتخاب شد که علاوه بر پارامتر پایداری و محدوده‌های تعیین شده برای خصوصیات جریان پذیری در EFNARC [13]، وزن مخصوص مورد قبول در آیین نامه ACI 213R-87 [14] برای بتن سبک نیز تامین گردد. طرح‌های اختلاط متفاوتی که در حجم اسکوریا، بزرگترین اندازه اسکوریا و میزان فیلر پودر سنگ به عنوان جایگزین بخشی از ماسه متفاوت اند مورد آزمایش قرار گرفت. انتخاب هر طرح اختلاط براساس نتایج طرح اختلاط قبل انجام گرفت و روند گام به گام سعی و خطا به انتخاب طرح اختلاط بهینه منجر شد.

جدول ۵- جزئیات طرح‌های اختلاط

روان کننده (Lit/m ³)	10-20 اسکوریا	3-10 اسکوریا	ماسه	پودر سنگ	آب	میکروسیلیس	سیمان	
8.93	0	490	773	150	165	50	450	mix 1
8.24	0	440	847	150	165	50	450	mix 2
7.96	326	214	622	150	165	50	450	mix 3
8.43	311	210	554	250	165	50	450	mix 4
8.67	290	190	620	250	165	50	450	mix 5

جزئیات آزمون‌ها و آزمایش‌های انجام شده:

خواص بتن تازه:

آزمایش‌های بتن تازه خودتراکم شامل جریان اسلامپ، قیف ۷، جعبه L (H2/H1) بر روی طرح‌های اختلاط بلافاصله پس از پایان مراحل اختلاط انجام گرفت.

خواص بتن سخت شده:

جهت بررسی خواص مکانیکی طرح های اختلاط ارائه شده آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مقاومت کششی به روش دو نیم شدن برزلی بر روی آزمون های عمل آوری شده در شرایط مرطوب انجام گرفت. آزمون های منشوری جهت بررسی مقاومت خمشی به صورت دو سر ساده و با طول دهانه ۳۰ سانتیمتر بارگذاری شده اند. همچنین اندازه گیری سرعت عبور امواج التراسونیک بر روی آزمون ها در سنین ۷ تا ۹۰ روز با استفاده از دستگاه PUNDIT^۳ با فرکانس ۵۴ کیلو هرتز انجام گرفت. اندازه گیری وزن مخصوص بتن سخت شده نیز در حالت خشک شده در Oven با دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت بر روی آزمون های سخت شده برای همه طرح ها اندازه گیری شد. خلاصه ای از نوع، ابعاد آزمون ها و روش های آزمایش در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶- جزییات آزمون های ساخته شده

نوع آزمون	ابعاد آزمون (cm)	تعداد آزمون	عنوان طرح	سن آزمایش
مقاومت فشاری	۱۰×۱۰×۱۰	۳	Mix4 , mix5	۷، ۱۴، ۲۸ روزه
مقاومت خمشی	۱۰×۱۰×۵۰	۲	Mix4 , mix5	۷، ۱۴، ۲۸ روزه
مقاومت کششی (برزلی)	Φ۱۵×۳۰	۲	Mix4 , mix5	۷، ۱۴، ۲۸ روزه
UPV (m/s)	۱۰×۱۰×۱۰	۳	Mix4 , mix5	۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۸ روزه
وزن مخصوص بتن	۱۰×۱۰×۱۰	۳	Mix4 , mix5	-
بررسی چشمی پایداری	Φ۱۵×۳۰	۱	Mix5	-

پراکندگی (پایداری) سبکدانه ها در پروفیل بتن سخت شده:

بررسی چشمی پایداری بتن سخت شده (HVSIF) در سالهای گذشته به عنوان یکی از روشهای ارزیابی مقاومت در برابر جداسازی استاتیکی بتن خودتراکم عرضه شده است. در این روش با بریدن استوانه Φ۱۵×۳۰ و بررسی نحوه پخش شدگی مصالح سنگی در راستای قائم، بتن ها به ۴ رده مختلف از ۰ تا ۳ دسته بندی می شود. به طوری که بتن کاملاً پایدار (عدم مشاهده ی لایه خمیر یا ملات در سطح و عدم تفاوت در درصد درشت دانه ها در ارتفاع استوانه) در رده ۰ و بتن کاملاً ناپایدار (مشاهده لایه خمیر یا ملات با ضخامت بیش از ۲،۵ سانتی متر در سطح و تفاوت واضح در درصد درشت دانه ها در ارتفاع استوانه) در رده ۳ قرار می گیرد. دسته بندی فوق برای بتن های خود تراکم سبکدانه قابل استفاده نیست به این دلیل که در بتن های خودتراکم حاوی سبکدانه ها عملکرد کاملاً متفاوتی از بتن های حاوی سنگدانه های طبیعی مشاهده می شود بدین معنی که در صورت وقوع جداسازی و ناپایداری، سبکدانه ها به سطح بتن صعود و ملات سنگین تر در پایین نشست می کند، دسته بندی فوق برای این بتن ها قابل استفاده نیست، اما ارزیابی چشمی قطعات استوانه ی سخت شده جهت سنجش پایداری بتن های خودتراکم سبک امکان پذیر است. بدین منظور، در این مطالعه مطابق روش ذکر شده، استوانه ی به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر ساخته شد و نحوه ی پراکندگی سبکدانه ها در ارتفاع این استوانه برای طرح اختلاط منتخب مورد ارزیابی قرار گرفت [15].

ارائه و بررسی نتایج آزمایشگاهی:

نتایج آزمایش های بتن تازه:

در این قسمت نتایج بدست آمده در آزمایش های بتن تازه ی خودتراکم ارائه شده است. ارزیابی خواص بتن تازه برای طرح های اختلاط ابتدا در آزمایش جریان اسلامپ و ارزیابی چشمی شاخص پایداری در این آزمایش

۳. Portable ultrasonic non-destructive digital indicating tester

۴. Hardened Visual Stability Index

انجام گرفت. آزمایش قیف V و جعبه ی L تنها بر روی طرح هایی انجام گرفت که خصوصیات مطلوب در آزمایش جریان اسلامپ و شاخص پایداری چشمی را برآورده کرده باشند.

نتایج آزمایش های بتن تازه در کنار وزن مخصوص اندازه گیری شده از میانگین سه نمونه مکعبی با ابعاد ۱۰*۱۰*۱۰ که به مدت ۲۴ ساعت در Oven نگهداری و خشک شد معیار پذیرش طرح اختلاط بهینه بتن خودتراکم سبک در این مطالعه قرار گرفت. در طرح اختلاط شماره ۱ (mix 1) سبکدانه ها اسکوریا ۳-۱۰ میلی متر به عنوان درشت دانه مورد استفاده قرار گرفت. نحوه پخش شدگی بتن در آزمایش جریان اسلامپ با خصوصیات قید شده در استاندارد ایران و ASTM C1611 برای شاخص پایداری دیداری ۳ که حالت فوق العاده غیر پایدار نامگذاری شده است، مطابقت داشت. معیار معرفی شده در استاندارد برای این حالت اینگونه توصیف شده است: " همراه با جدادگی به طور واضح و دارای حلقه محیطی بیشتر یا مساوی ۱۰ میلیمتر و یا توده سنگدانه ها در قسمت مرکزی حجم بتن " [16].

در طرح اختلاط شماره ۲ (mix 2) سعی شد تا با کاهش حجم سبکدانه ها و به تبع آن افزایش میزان ملات، رفتار خمیری بتن بهبود یابد. نتایج آزمایش های بتن تازه حکایت از تحقق این امر دارد به طوری که در نتیجه این تغییر، تجمع سنگدانه ها در سمت مرکزی حجم بتن در آزمایش جریان اسلامپ برطرف شده و از میزان آب انداختگی نیز کاسته شد. اما اندازه گیری وزن مخصوص نمونه های سخت شده بیشتر از محدوده مورد نظر این مطالعه اندازه گیری شد.

تخلخل سطحی سبکدانه و نفوذ ملات به داخل این خلل و فرج سبب کاهش بعد فضای متخلخل سبکدانه ها در بتن سخت شده می شود و از کارایی سبکدانه در جهت کاهش وزن مخصوص بتن می کاهد بدین دلیل به جهت دسترسی به چگالی مورد نظر، بعد سبکدانه های مصرفی به ۱۹ میلی متر افزایش یافت تا پس از نفوذ ملات بعد متخلخل تمام شده افزایش یافته و دسترسی به وزن مخصوص پایینتر امکان پذیر گردد.

جدول ۷- نتایج آزمایشهای بتن تازه

چگالی	شاخص	جعبه L	جعبه V	جریان اسلامپ
-	3	-	-	570
1950	2	0.83	22.4	660
-	3	-	-	620
1875	۰	0.82	14.3	655
1910	۰	0.94	8.6	670

بدین منظور در طرح اختلاط شماره ۳ (mix 3) ترکیب مشخصی از سبکدانه ها با محدوده دانه بندی ۱۰-۳ و ۲۰-۱۰ که در محدوده مورد نظر ASTM C330 [17] قرار گیرد، مورد استفاده قرار گرفت. علی رغم وزن مخصوص مناسب نمونه های اخذ شده از این اختلاط، در آزمایش جریان اسلامپ پخش شدگی نامطلوب بتن مشاهده شد. نحوه پخش شدگی بتن در این آزمایش با تجمع سنگدانه ها در مرکز حجم بتن و آب انداختگی با شاخص پایداری دیداری ۲ به معنی غیر پایدار مطابقت داشته است. به جهت بهبود خصوصیات بتن تازه این طرح، در طرح شماره ۴ (mix 4) میزان جایگزینی ماسه با پودر سنگ به ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافت

تغییرات ذکر شده سبب افزایش وزن مخصوص نمونه های سخت شده نسبت به طرح ۳ شده اما کسب خصوصیات مطلوب بتن تازه در این طرح را سبب شد. به دلیل کسب وزن مخصوص نزدیک به ۱۸۵۰ کیلوگرم در متر مکعب در این طرح ضمن رفتار مطلوب در حالت تازه، می توان این طرح را به عنوان طرح بهینه ی بتن خودتراکم سبک معرفی کرد.

با توجه به اینکه موضوع این مقاله، یعنی انتخاب طرح اختلاط بهینه بتن خودتراکم حاوی سبکدانه های اسکوریا بخشی از پروژه مطالعه اثر الیاف فولادی بر عملکرد بتن های خودتراکم سبک توسط نویسندگان این مقاله است، رسیدن به طرح اختلاطی که پس از افزودن الیاف فولادی از کارایی قابل قبول بتن های خودتراکم برخوردار باشد مورد نظر بود. بنابراین سعی شد تا با کاهش وزن درشت

دانه های سبک اعم از محدوده دانه بندی ۱۰-۳ و ۲۰-۱۰ به ۴۸۰ کیلوگرم در متر مکعب، امکان دسترسی به بتنی با کارایی بالا مورد بررسی قرار گیرد تا امکان کسب خواص تازه ی مطلوب پس از افزودن الیاف نیز میسر گردد. بهبود قابل ملاحظه ی شاخص انسداد در طرح شماره ۵ که نشانگر قابلیت عبور بتن خودتراکم از شبکه ی میلگردهاست از نتایج تغییر اخیر می باشد. این درحالیست که افزایش ناگزیر وزن مخصوص به ۱۹۱۰ کیلوگرم در متر مکعب در این طرح به ثبت رسید.

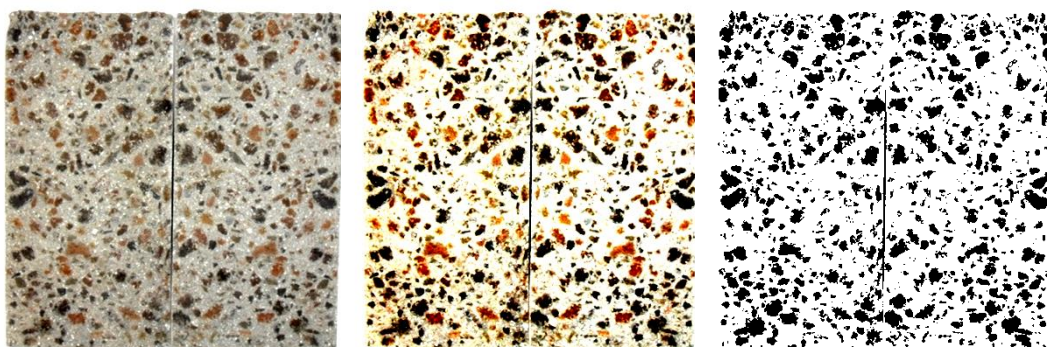


شکل ۵- پروفیل بتن سخت شده، تصویر سمت راست (mix2) و تصویر سمت چپ (mix5)

نحوه توزیع سبکدانه ها در پروفیل آزمون ۱۰*۱۰*۱۰ برای طرح های اختلاط ۲ و ۵ را نشان داده شده است. تصویر سمت راست متعلق به طرح ۲ و تصویر سمت چپ پروفیل آزمون پر شده از طرح ۵ را نشان می دهد که تفاوت محدوده دانه بندی سبکدانه ها اسکوریا در دو طرح به وضوح مشخص است.

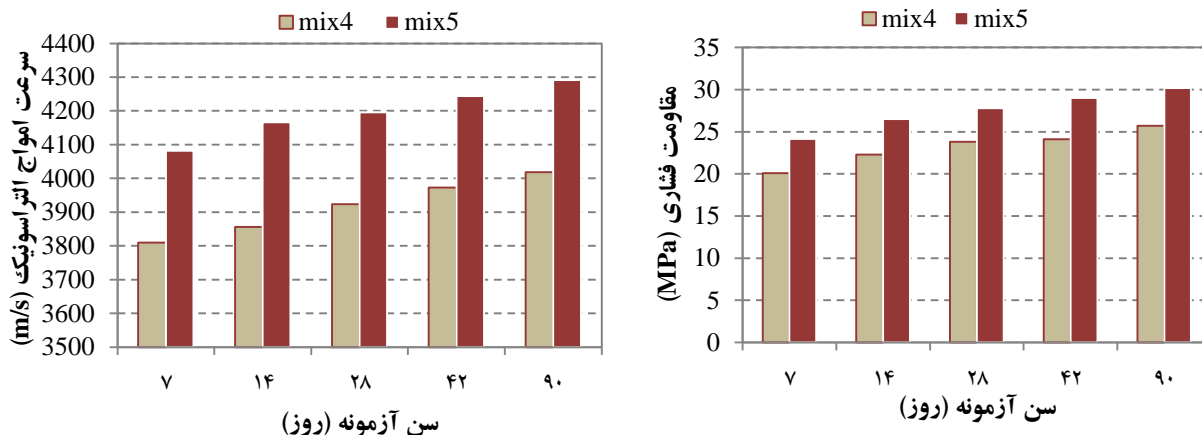
پراکندگی (پایداری) سبکدانه ها در پروفیل بتن سخت شده:

به منظور بررسی پایداری در برابر جداشدگی استاتیکی با افزایش بعد سبکدانه ها به دلیل کاهش چگالی و تمایل بیشتر دانه های سبکتر خطر جداشدگی و شناوری این سبکدانه ها افزایش می یابد. در شکل ۶ تصاویر ثبت شده از قطعات بریده شده استوانه ۳۰*۱۵ نشان داده شده است. به منظور تفکیک بهتر سبکدانه ها از ملات در تصاویر، ملات با رنگ سفید و سبکدانه های اسکوریا با رنگ سیاه نشان داده شد. مطابق تصاویر مشخص است پایداری سبکدانه در طرح اختلاط ۵ کاملاً تامین شده است.



شکل ۶- پروفیل بتن سخت شده

نتایج آزمون های بتن سخت شده



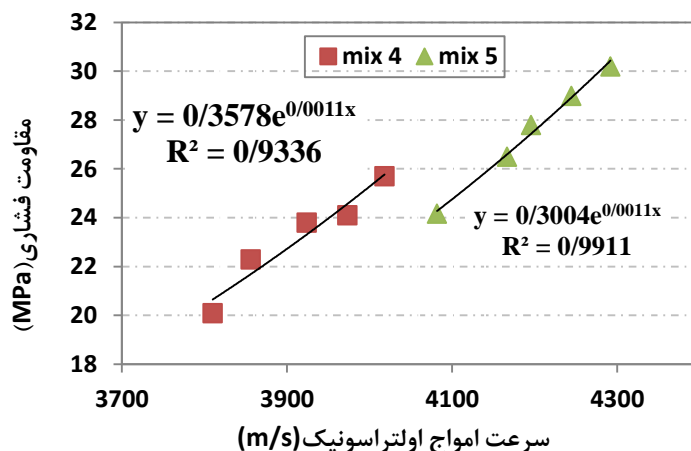
شکل ۸- نمودار تغییرات سرعت عبور امواج اولتراسونیک

شکل ۷- نمودار تغییرات مقاومت فشاری

مطابق نتایج آزمایش مقاومت فشاری کسب مقاومت فشاری در حدود ۲۵ و ۳۰ مگاپاسکال در سن ۹۰ روز برای طرح های اختلاط ۴ و ۵ امکان پذیر است. مقاومت های ذکر شده بیشتر از مرز مقاومت بتن های سبک جهت کاربردهای سازه ای می باشد. در این تحقیق همانند بررسی روند تغییرات مقاومت فشاری روند تغییرات سرعت امواج اولتراسونیک نیز در طرح های مختلف در سنین ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲ و ۹۰ روز برای نمونه های ۱۰×۱۰×۱۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج سرعت امواج اولتراسونیک در سنین مختلف در شکل ۸ آورده شده است.

Whitehurst پیشنهادی را جهت طبقه بندی بتن از نظر کیفیت ارائه داده است [18]. بتن به ۵ دسته عالی، خوب، مشکوک، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم شده است. میزان سرعت امواج اولتراسونیک به ترتیب ۴۵۰۰ متر بر ثانیه و بالاتر، ۳۵۰۰-۴۵۰۰ متر بر ثانیه، ۳۰۰۰-۳۵۰۰ متر بر ثانیه، ۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر بر ثانیه و پایینتر برای دسته بندی ذکر شده ارائه شده است. شکل ۸ تغییرات سرعت عبور امواج التراسونیک را در سنین ۷ تا ۹۰ روز برای طرح های اختلاط ۴ و ۵ نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که سرعت عبور امواج برای هر دو طرح در محدوده ۳،۵ تا ۴،۵ قرار دارد که مطابق دسته بندی Whitehurst در محدوده خوب قرار دارند.

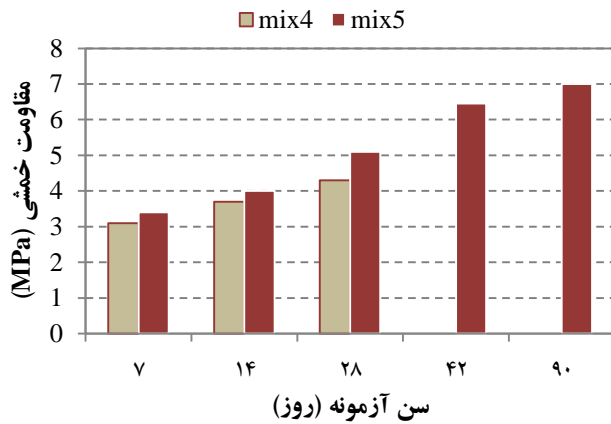
مقاومت فشاری بر حسب اولتراسونیک:



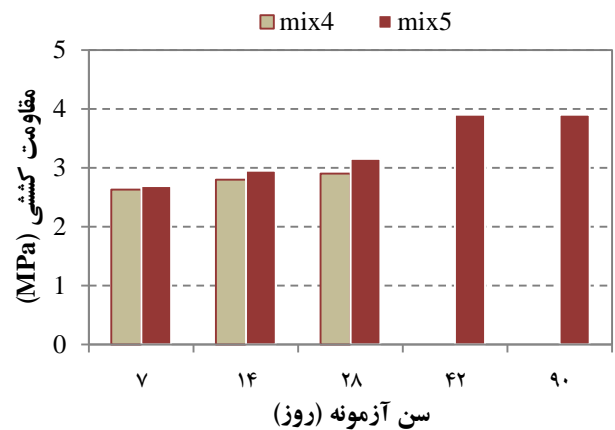
شکل ۹- نمودار تغییرات سرعت عبور امواج اولتراسونیک

نمودار نشان می دهد که سرعت امواج اولتراسونیک با گذشت زمان افزایش پیدا کرده است. این امر را می توان به روند رو به رشد هیدراتاسیون خمیر سیمان و پر شدن حفرات و منافذ موئینه از محصولات واکنش های سیمانی و در نتیجه متراکم شدن بتن در گذر زمان نسبت داد. البته نرخ افزایش سرعت امواج نسبت به مقاومت فشاری نرخی کند تر مشاهده شد.

مقاومت کششی و خمشی:

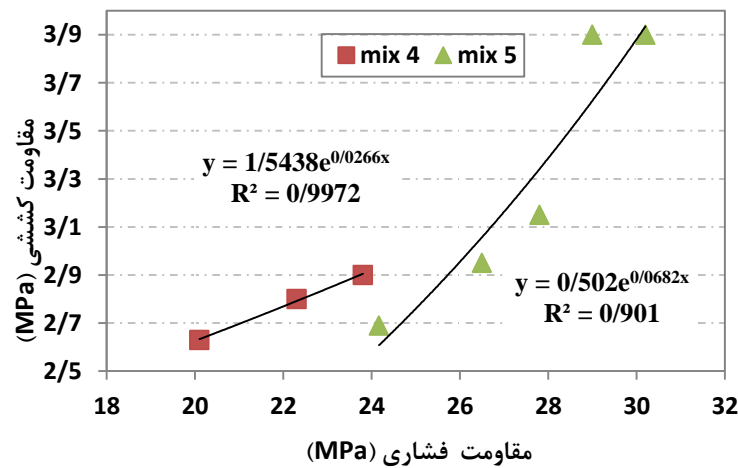


شکل ۱۱- نمودار تغییرات مقاومت خمشی



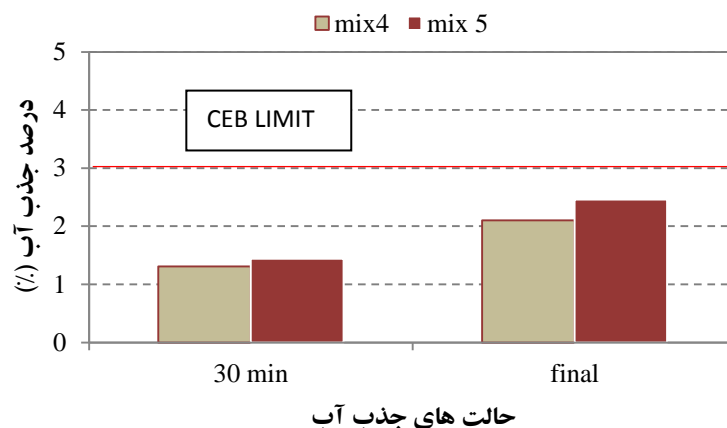
شکل ۱۰- نمودار تغییرات مقاومت کششی

مقاومت فشاری بر حسب کششی:



شکل ۱۲- نمودار تغییرات مقاومت فشاری بر حسب کششی

مقاومت کششی بتن خودمتراکم حاوی سبکدانه های اسکوریا تقریباً روند مشابه با آنچه که در مقاومت فشاری دیده شد را دنبال می نماید. بر مبنای شکل ۱۲ که در آن مقاومت کششی نمونه ها در مقابل مقاومت فشاری آنها نمایش داده شده است، ضریب همبستگی قابل قبول (۹۹٫۷ و ۹۰٫۱ درصد) بین مقاومت فشاری مکعبی و مقاومت کششی در بتن خودمتراکم حاوی سبکدانه های اسکوریا قابل استنباط می باشد.



شکل ۱۳- نمودار تغییرات جذب آب

جذب آب به عنوان حرکت مایعات در منافذ موجود در جرم های جامد به علت کشش سطحی در منافذ مویینه تعریف می شود. به طور کلی در بتن با سنگدانه های سبک میزان جذب آب بالا می باشد که در اکثر موارد توسط محققین بالای ۱۰٪ گزارش شده است [19] ولی با استفاده از میکروسیلیس می توان این مقدار را کاهش داد. کیفیت بتن توسط CEB [20] به سه رده ضعیف، متوسط و خوب به ترتیب بر مبنای جذب آب ۵ درصد و بالاتر، بین ۳ تا ۵ درصد و کمتر از ۳ درصد تقسیم بندی شده است. با این وجود همانطور که در شکل ۱۳ دیده می شود، بر اساس رده بندی تعیین شده توسط CEB نمونه های هر دو طرح ۴ و ۵ در محدوده خوب طبقه بندی می شوند. مقادیر مناسب جذب آب طرحهای اختلاط را می توان به استفاده از میکرو سیلیس نسبت داد. سیلیس موجود در میکروسیلیس با محصولات واکنش های هیدراتاسیون واکنش نشان داده و منافذ موجود در بتن را پر نموده و بتنی با تراکم بیشتر تشکیل می دهد.

نتیجه گیری:

نتایج نشان می دهد ساخت بتن خودتراکم سبک با دانه های اسکوریا ایران با مقاومت سازه ای امکان پذیر می باشد اما کسب وزن مخصوص های پایین تر ضمن حفظ خواص خودتراکمی بتن امکان پذیر نیست. وزن مخصوص بالاتر اسکوریا در مقایسه با دیگر سبکدانه ها از یک سو، افزایش مصرف فیلر و مصالح ریزدانه نسبت به درشت دانه های سبک به منظور جبران کاهش در کارایی بتن که در نتیجه سطوح خشن دانه ها اسکوریا بوجود می آید از سوی دیگر، دستیابی به بتن های با وزن مخصوص پایینتر از ۱۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب را با مشکل مواجه می کند.

مراجع:

1. S. Demirdag, I. Ugur, S. Sarac, " The effects of cement/fly ash ratios on the volcanic slag aggregate lightweight concrete masonry units", Construction and Building Materials 22 (2008) 1730-1735
2. S.Demirdag, L.Gunduz, " Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units", Construction and Building Materials 22 (2008) 135-142
3. M.R. Moufti, A.A. Sabtan, O.R. El-Mahdy, W.M. Shehata, "Assessment of the industrial utilization of scoria materials in central Harrat Rahat", Saudi Arabia, Engineering Geology 57 (2000) 155-162
4. Jang-Soon Kwon a, Seong-Taek Yun a, Soon-Oh Kim b, Bernhard Mayer c, Ian Hutcheon, "Sorption of Zn(II) in aqueous solutions by scoria", Chemosphere 60 (2005) 1416-1426
5. Esayas Alemayehu, Bernd Lennartz, "Virgin volcanic rocks: Kinetics and equilibrium studies for the adsorption of cadmium from water", Journal of Hazardous Materials 169 (2009) 395-401,
6. Alaettin Kilic, Cengiz Duran Atis, Ergul Yas, ar, Fatih O zcan, "High-strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures", Cement and Concrete Research 33 (2003) 1595-1599

۷. شکرچی زاده، احمد جعفری، نیکلاس علی لیبر، عباس ناصری، " بررسی ظرفیت مقاومتی سبکدانه اسکریا به منظور کاربرد در بتن سبکدانه سازه ای " اولین کنفرانس ملی بتن سبک، دانشگاه تهران، ۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۰، صفحه ۲۶۳-۲۷۳
۸. محمد شکرچی زاده، نیکلاس علی لیبر، مال جلیلی، "راهنمای ساخت بتن سبکدانه سازه ای"، انتشارات علم و ادب با همکاری انستیتو مصالح ساختمانی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، چاپ اول، ۱۳۹۰، صفحه ی ۱۴۷ و ۱۴۸.
9. Chia KS, Kho CC, Zhang MH.(2005), "Stability of fresh lightweight aggregate concrete under vibration" *ACI Mater J* 2005;102(5):347-54.
10. Madandoust.R.,M, Ranjbar,M. M, Mousavi.S. Y.(2011), "An investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene " *Construction and Building Materials* 25 pages 3721-3731.
11. K.H.Khayat, c.Hu and H.Monty,"Stability of self-consolidating concrete, advantages, and potential applications",1rd International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, 13-14 september, stockholm,Sweden
12. K.H.Khayat, A. Ghezal and M.S. Hadriche,"Utility of statistical models in proportioning self-consolidating concrete",1rd International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, 13-14 september, stockholm,Sweden
13. The European guidelines for self-compacting concrete; specification production and use. EFNARC, May 2005.
14. ACI 213R-87,"Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete",1999
15. David A. Lange, Leslie J. Struble, Matthew D. Dambrosia, Lin Shen, Fernando Tejada-Dominguez, Benjamin F. Birch, Andrew J. Brinks, " Performance and Acceptance of Self-Consolidating Concrete: final report" Illinois Center for Transportation July 2008,
16. ASTM C330-04," Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete", 2004
۱۷. استاندارد ملی ایران شماره ی ۱۱۲۷۰، چاپ اول، سال ۱۳۸۷، " اندازه گیری جریان اسلامپ بتن خودتراکم"، (ISIRI 11270)
18. Whitehurst EA., " Soniscope tests concrete structures ", *J Am Concr Inst*;47:443-4, 1951.
19. Joao. A. Rossignolo, Marcos. V. Agnesini, " Durabiliti of Polymer-modified lightweight aggregate concrete ", *Cement & Concrete Composites* 26, pp. 375-380, 2004.
20. CEB-FIP, " Diagnosis and assessment of concrete structures – state of the art report ", *CEB Bull* 192; 1989: 83-5.