

## بررسی دوام بتن خودتراکم حاوی پلیمر استایرن بوتادین در برابر اسیدسولفوریک

سیدحسین قاسم زاده موسوی نژاد<sup>۱</sup>، مهدی اسدی<sup>۲</sup>

۱- استادیار مهندسی عمران، دانشگاه گیلان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه گیلان

Email: [Hossghas@yahoo.com](mailto:Hossghas@yahoo.com) Tel: 09143514520

Email: [m\\_asadi.8085@yahoo.com](mailto:m_asadi.8085@yahoo.com) Tel: 09171106681

کد مقاله: D، کد انجمن: 272D

مسئول مکاتبات و ارائه کننده: مهدی اسدی

### چکیده:

نظر به اینکه استفاده از SCC در پروژه های بتنی رو به رشد بوده و مانند دیگر انواع بتن ها در برابر تهاجم اسیدسولفوریک، آسیب پذیر می- باشد در این تحقیق خواص رئولوژیکی و مقاومت در برابر حملات اسیدی بتن خودتراکم حاوی پلیمر SBR مورد بررسی قرار گرفته است. جهت دستیابی به خواص خودتراکمی، از یک فوق روان کننده پلی کربکسیلات اتری (PCE) استفاده شد. مقدار سیمان در تمام طرح ها  $450 \text{ Kg/m}^3$  و W/C نیز برابر ۰/۵ بود. پلیمر استایرن بوتادین رابر (SBR) با نسبتهای ۲/۵، ۵ و ۷/۵ درصد نسبت به وزن سیمان اضافه شد. پس از بررسی خواص رئولوژیکی بتن خودتراکم، مقاومت فشاری و درصدهای کاهش مقاومت فشاری و وزن نمونه ها پس از ۲، ۴ و ۶ هفته قرارگیری در محلول ۳ درصد اسیدسولفوریک محاسبه گردیدند. نتایج حاصله حاکی از این است که در بتن خودتراکم شامل ۲/۵ درصد پلیمر پس از گذشت ۶ هفته بیشترین و در بتن خودتراکم شامل ۷/۵ درصد پلیمر کمترین کاهش وزن به وقوع می پیوندد.

**کلید واژه:** بتن خودتراکم، خوردگی، اسیدسولفوریک، بیوژنیک، استایرن بوتادین رابر

# Investigation the durability of SCC containing SBR exposed to sulfuric acid

S.H.Mousavi<sup>1</sup> , M.Asadi <sup>2</sup>

1.Associate professor of Guilan University

2.M.Sc. student of Guilan University

Email: [Hossghas@yahoo.com](mailto:Hossghas@yahoo.com) Tel: 09143514520

Email: [m\\_asadi.8085@yahoo.com](mailto:m_asadi.8085@yahoo.com) Tel: 09171106681

## Abstract

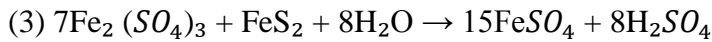
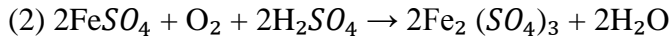
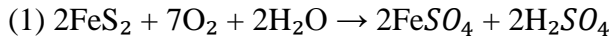
Considering that the use of self-compacting concrete (SCC) has developing in concrete projects and such as other type of concretes damaged by sulfuric acid attack, in this research rheological properties and sulfuric acid resistance of SCC containing Styrene Butadiene Rubber (SBR) have been investigated. For achieving self compactibility, a Poly Carboxylate Ether (PCE) super plasticizer used, respectively. Cement amount and W/C ratio were 450Kg/m<sup>3</sup> and 0.5 in all mixture, respectively. SBR added 2.5, 5 and 7.5 percent by weight of cement. Then measuring the rheological properties of SCC, compressive strength, Strength Loss (SL) and Weight Loss (WL) of specimens after 2, 4 and 6 weeks exposing to 3% sulfuric acid solution have been evaluated. The results indicate that in SCC containing 2.5% SBR most and in 7.5% SBR, least WL occurred, after 6 weeks.

**Keywords:** SCC, Corrosion, Sulfuric acid, Biogenic, Styrene Butadiene Rubber.

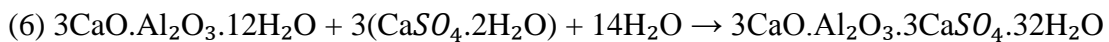
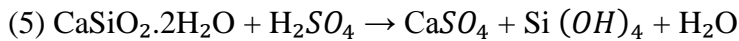
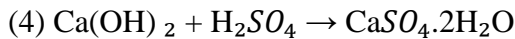
## مقدمه

در سرتاسر جهان، سیستم های جمع آوری آب های زائد شهری مواجه با خوردگی اسید سولفوریک بیوژنیک (زیست زائیده) بتن می باشند. این خوردگی به شدت سلامت زیرساخت ها را به خطر انداخته و آن ها را نیازمند هزینه های گزاف تعمیر و جایگزینی زودتر از موعد سازه های زوال یافته می نماید. در شمال غربی اروپا (بلژیک) خوردگی بیوژنیک در حدود ۱۰ درصد از کل مخارج سیستم های تصفیه فاضلاب را شامل می گردد. [۱]

از اسیدهای غیرآلی، تنها اسید سولفوریک است که بطور طبیعی امکان وجود در خاک ها و آب های زیرزمینی را دارد. این اسید حاصل هوازدگی اکسیدی برخی از سولفیدهای معدنی است (عمدتاً سولفیدهای آهن پیریت و مارکازیت (FeS<sub>2</sub>) که به مقادیر زیادی یافت می شوند). در حضور هوا و رطوبت، اکسیداسیون پیریت به سولفات فروس (Ferrous) و اسید سولفوریک، به وقوع می پیوندد. این یک واکنش شیمیایی بوده و اکسیداسیون بیش از این پیشروی نمی نماید. اگر برخی از باکتری های هوازی حضور داشته باشند دو مرحله دیگر نیز اضافه گشته و تجزیه پیریت از شتاب زیادی برخوردار خواهد شد. این باکتری ها متعلق به گونه Thiobacillus Ferrooxidans و Thiobacillus Thiooxidans بوده که Autotrophic (قابل تغذیه خودبخود) می باشند یعنی قادر به کسب انرژی از رشد و تکثیر خود توسط اکسیداسیون ترکیب های غیرآلی در حضور اکسیژن اتمسفر هستند. این اتوتروف های خاص نیازمند محیطی اسیدی در بازه PH ۲، تا ۴/۵ می باشند و در مقادیر بالاتر غیر فعال خواهند بود. آن ها مسبب اکسیداسیون سولفات فروس (Ferrous) به سولفات فریک (Ferric) هستند، واکنشی که در حضور اسید سولفوریک بطور شیمیایی رخ نمی دهد. سولفات فریک، ماده ای اکسیدکننده است و روی پیریت تغییر نیافته تأثیر گذاشته و اسید سولفوریک و سولفات فروس تولید می کند که محصول فرآیند مرحله اول می باشند. طبق واکنش های زیر، چرخه اکسیداسیون می تواند تا زمانیکه پیریت در دسترس باشد ادامه یابد: [۲]



خوردگی بتن توسط اسید سولفوریک را عموماً توسط واکنش های ذیل مشخص می نمایند: [۳]



محصول واکنش اولیه، که در سطح بتن مشهود است گچ بوده و همراه با افزایش حجم می باشد (۲/۲ برابر حجم واکنش دهنده-ها)، که می تواند تنش های کششی در بتن ایجاد نموده و سبب ترک خوردگی و تورق آن گردد. اگر این گچ شسته نشود، تجمع آن روی سطح بتن ممکن است سرعت خوردگی را به علت بستن منافذ سطحی کند نماید. [۴] واکنش های بعدی گچ با فازهای کلسیم آلومیناتی در ماتریس سیمانی می تواند موجب تشکیل اترینگایت گردد، که نسبت به گچ، افزایش حجم بیشتری دارد (حدود ۷ برابر)، بنابراین منجر به ترک های میکروسکوپی و ماکروسکوپی زیاده تری می شود. در مجموع، اسید سولفوریک، ماتریس سیمانی را توسط از بین بردن هیدرات سیلیکات کلسیم (C-S-H) تجزیه نموده و سبب کاهش مقاومت آن می گردد. [۳] بتن خودتراکم، بتنی است با شکل پذیری بالا و مقاوم در برابر جدایشی که می تواند فضای بین آرماتورهای درهم فشرده یا مناطقی که غیر قابل ویریه نمودن است را پر نماید. [۲۹]

Chang و همکاران [۵] برای بهبود مقاومت بتن در برابر حمله اسیدی، از دو نوع سنگدانه سیلیسی و آهکی استفاده نمودند. سیمان های مورد استفاده شامل یک نمونه با سیمان معمولی و دیگری با سیمان دوگانه شامل سرباره کوره بلند و دو سیمان سه گانه شامل سرباره، دوده سیلیس یا خاکسترآبی و دوده سیلیس بود که نسبت W/C در تمامی نمونه ها برابر ۰/۴ و مقاومت

فشاری آن ها در بازه  $45 \text{ MPa}$  تا  $58 \text{ MPa}$  بود. استوانه های بتنی را در محلول ۱ درصد اسیدسولفوریک قرار داده و بطور متناوب تغییرات وزنی و مقاومت فشاری آن ها مورد بررسی قرار گرفت. بتن شامل سنگدانه های آهکی و سیمان سه گانه شامل دوده سیلیس (۷درصد) و خاکستر بادی (۳۳ درصد)، خواص بهتری (پس از ۲۸ روز غوطه وری تحمل بار  $448/4 \text{ KN}$ ، پس از ۵۶ روز  $463 \text{ KN}$  و پس از ۱۶۸ روز  $389 \text{ KN}$ ) از خود بروز داد.

Tamimi و همکاران [۶] نیز مخلوط های بتنی فوق توانمند ساخته شده از ۱۰ درصد دوده سیلیس با درصد های متفاوتی از خاکستر بادی که جایگزین سیمان پرتلند شده اند ساخته و در معرض اسیدسولفوریک و اسید هیدروکلریک قرار دادند. هدف از این تحقیق بررسی حدود متفاوت از مصالح جایگزین و کسب مخلوط بهینه ای بود که بیشترین مقاومت را در برابر حمله اسیدها داشته باشد. پارامتر مورد بررسی زمان (برحسب هفته) بود که ۲۰ درصد کاهش وزنی نمونه های غوطه ور در محلول اسیدسولفوریک ۱ درصد و همین مقدار کاهش وزن، در محلول اسید هیدروکلریک ۱ درصد مشاهده گردید. نتایج حاصله مبین این امر است که در بتن شامل ۱۰ درصد دوده سیلیس و حداکثر ۶۰ درصد خاکستر بادی (جایگزین سیمان پرتلند) محافظت بهینه در محیط اسیدی کسب می گردد. شدت تهاجم اسیدها به بتن، متناسب با غلظت و قدرت اسید، مدت زمان قرارگیری بتن در محیط اسیدی و کیفیت بتن می باشد.

### برنامه آزمایشگاهی

امکان آسیب دیدگی توسط حمله اسید سولفوریک در عناصر سازه ای بتنی متعددی، از جمله فونداسیون ها (آب های زیرزمینی حاوی اسیدسولفوریک ناشی از اکسیداسیون پیریت در خاکریزها)، کف های صنعتی کارخانه های شیمیایی، دیوار زیرزمین ساختمان های نزدیک به کارخانه های شیمیایی، قسمت های فوقانی سازه ها (به علت باران اسیدی) و غیره وجود دارد. [۴] بطور مقایسه ای، لوله های فاضلاب نوع ویژه ای از خوردگی توسط اسید بیوژنیک را متحمل می گردند. در موارد قبل، غوطه وری در اسید شیمیایی توانایی شبیه سازی تهاجم توسط اسید سولفوریک را داراست زیرا که باکتری در آن ها دخیل نمی باشد. با این حال، در مورد سیستم های جمع آوری فاضلاب، ترکیبی از آزمایش های شیمیایی و میکروبیولوژیکی می تواند از دقت کافی برخوردار باشد. در تحقیق حاضر، آزمایش غوطه وری شیمیایی جهت ارزیابی مقاومت SCC که در موارد متفاوتی مانند فونداسیون ها، دیوارها، کف ها، لوله ها و غیره استفاده می شود در مقابل اسیدسولفوریک، اتخاذ گردیده است. آزمایش غوطه وری شیمیایی بهترین تناسب را با این هدف دارد زیرا اطلاعات ناچیزی درباره مقاومت SCC در برابر تهاجم اسیدسولفوریک وجود دارد. این نگرش آزمایشی نتایج عمومی و کلی تری در بازه گسترده کاربردها نسبت به آزمایش های ویژه بیوژنیک ارائه می نماید. جهت بررسی مقاومت بتن در برابر اسیدسولفوریک، ۳ دیدگاه آزمایشی در تحقیق ها اتخاذ گردیده است: شیمیایی، میکروبیولوژیکی و تست های در محل. [۴]

### مصالح مصرفی

سیمان نوع I مطابق با استاندارد ASTM مورد استفاده قرار گرفت که ترکیب شیمیایی آن در جدول (۱) ارائه گردیده است. انواع مختلفی از پلیمرها برای استفاده در بتن در مراجع مختلف پیشنهاد شده است. پلیمر مورد استفاده از خانواده استایرن بوتادین ها بوده و با نام تجاری لاتکس در بازار عرضه می گردد. این پلیمر دارای وزن مخصوص  $1/02$  کیلوگرم بر لیتر بوده و رنگ آن سفید شیری می باشد. از مواد افزودنی شیمیایی جهت دستیابی به خصوصیات خود تراکمی شامل فوق روان کننده پلی کربکسیلاتی اتری (PCE) جهت افزایش کارایی استفاده شد. سنگدانه های مورد استفاده از مصالح محلی تهیه گردیدند که درشت دانه مصرفی با حداکثر اندازه  $19 \text{ mm}$  و ریزدانه با حداکثر اندازه  $4/75 \text{ mm}$  که هر دو با رطوبت طبیعی مورد استفاده قرار گرفتند. چگالی شن مصرفی در حدود  $2/68$  و جذب آب آن  $0/5$ ٪ و چگالی ماسه مصرفی در حدود  $2/73$  و جذب آب آن  $0/8$ ٪ می باشد.

## جدول ۱- ترکیب شیمیایی سیمان مصرفی

K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
۰/۳۸	۰/۳	۲/۰۹	۱/۱۳	۶۴/۳	۳/۰۸	۵/۰۴	۲۰/۱

## آماده سازی نمونه ها

در این مقاله از ۴ طرح اختلاط استفاده شده است که در جدول (۲) قابل مشاهده می باشند. مقدار سیمان در طرح  $450 \text{ Kg/m}^3$  و درصد آب به سیمان (w/c) ۵۰٪ می باشد (به انضمام آب موجود در پلیمر لاتکس). پلیمر (SBR) نسبت به وزن سیمان افزوده شده است.

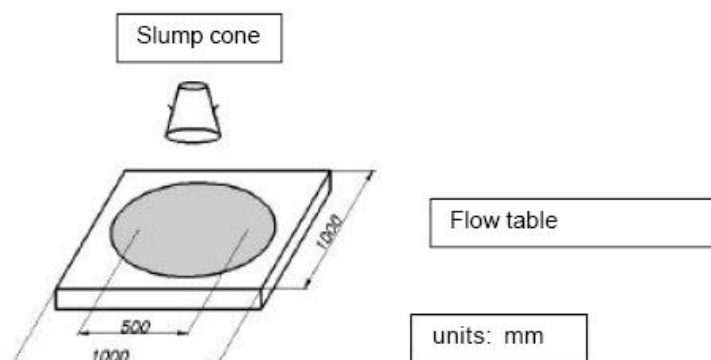
## جدول ۲ - طرح اختلاط های مورد استفاده

SBR <sup>5</sup> (%)	SP <sup>4</sup> (%)	VMA <sup>3</sup> (Kg/m <sup>3</sup> )	G <sup>2</sup> (Kg/m <sup>3</sup> )	S <sup>1</sup> (Kg/m <sup>3</sup> )	Cement (Kg/m <sup>3</sup> )	w/c	Mixture
۰	۴	۰/۷۵	۶۴۰	۹۶۰	۴۵۰	۰/۵	Ctrl
۲/۵	۲/۵	۰/۷۵	۶۴۰	۹۶۰	۴۵۰	۰/۵	۲/۵% SBR
۵	۲	۰/۷۵	۶۴۰	۹۶۰	۴۵۰	۰/۵	۵% SBR
۷/۵	۱/۵	۰/۷۵	۶۴۰	۹۶۰	۴۵۰	۰/۵	۷/۵% SBR

1. S:Sand 2. G:Gravel 3. VMA:Viscosity Modifying Admixture 4. SP:Superplasticizer 5. SBR:Styrene Butadiene Rubber

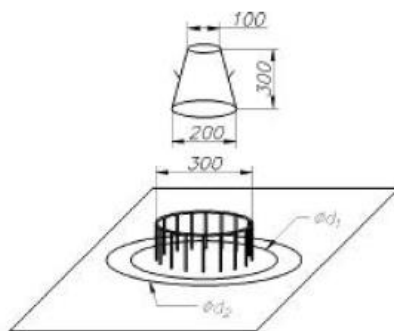
## آزمایش های انجام شده

آزمایش جریان اسلامپ: این آزمایش جهت ارزیابی خاصیت پرنندگی بوده [۲۶] که شامل یک مخروط ناقص با قطر ۲۰۰ mm در پایین و ۱۰۰ mm در بالا و ارتفاع ۳۰۰ mm می باشد که قطر بتن تخلیه شده در دو جهت را اندازه گیری کرده و میانگین آن ها گزارش می گردد (شکل ۴).



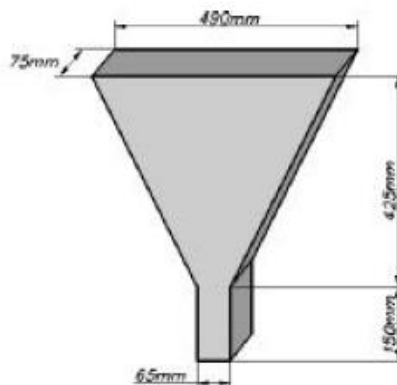
شکل ۴ - آزمایش جریان اسلامپ

آزمایش حلقه J: آزمایش رینگ J در دانشگاه paisley توسعه یافت. این روش جهت بررسی خاصیت عبوری بتن طراحی شده است که شامل مخروط ناقص آزمایش اسلامپ و یک حلقه فلزی با قطر ۳۰۰ mm و ارتفاع ۱۰۰ mm با میلگردهای عمود بر صفحه پایینی می باشد (شکل ۵). [۲۶]



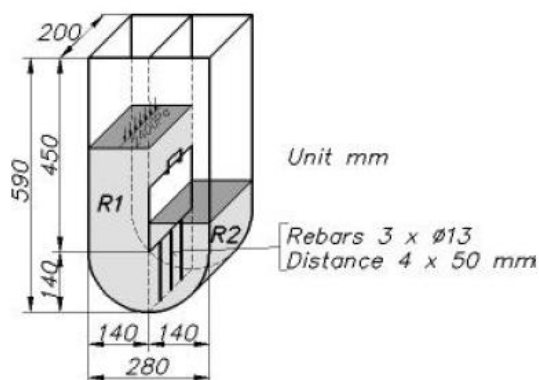
شکل ۵- آزمایش رینگ J

آزمایش قیف V: این آزمایش توسط Ozawa و همکارانش در ژاپن توسعه یافت که جهت بررسی خاصیت پرکنندگی بتن با ماکزیمم اندازه سنگدانه ۲۰ mm طراحی گردیده است. در این آزمایش زمان تخلیه بتن از داخل قیف مورد بررسی قرار می-گیرد (شکل ۶). [۲۶]



شکل ۶- آزمایش قیف V

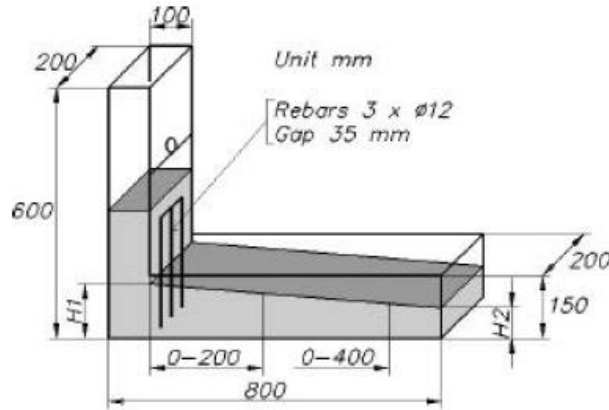
آزمایش قیف U: این آزمایش توسط مرکز تحقیقات فناوری مؤسسه Taisei در ژاپن ابداع گردید که یک طرف آن را با بتن پر کرده و سپس دریچه را می گشاییم که در قسمت پایینی دریچه ای با سه میلگرد  $\phi 13$  قرار دارد. قیف U خاصیت پرکنندگی SCC را مورد ارزیابی قرار می دهد (شکل ۷). [۲۶]



شکل ۷- آزمایش جعبه U

**آزمایش قیف L:** این آزمایش شامل یک جعبه با مقطع مستطیلی (شکل ۸) می باشد که جهت اندازه گیری خاصیت عبوری بکار می رود بدین منظور ارتفاع بتن در ابتدا و انتهای قسمت پایینی قیف اندازه گرفته شده و نسبت آن ها مورد ارزیابی قرار می-

گیرد. [۲۶]



شکل ۸- آزمایش جعبه L

**آزمایش مقاومت فشاری نمونه استوانه ای:** نمونه های استوانه ای به ابعاد ۱۵×۳۰ سانتیمتر بر طبق دستورالعمل ASTM C39 پس از قرار گیری در آب معمولی، در سنین ۱۴، ۲۸ و ۹۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند.

**آزمایش کاهش مقاومت و وزن اسیدی:** پس از ۱۴ روز عمل آوری در آب، سه نمونه از هر طرح اختلاط در محلول اسیدسولفوریک (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ۳ درصد (۳۰ گرم در هر لیتر که PH محلول پیش از قرارگیری نمونه ها حدود ۰/۹۷ تا ۱/۰۲ بود) برای ۲، ۴ و ۶ هفته در یک ظرف پلاکسی گلاس غوطه ور گردیدند. پس از هر دو هفته قرارگیری در اسید، سطح نمونه ها که به وسیله اسید خورده شده بود با آب شیر شسته و پاک گردید. مقاومت شیمیایی توسط اندازه گیری کاهش وزن (WL) و کاهش مقاومت فشاری (SL) نمونه ها به ترتیب توسط معادله های زیر مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$(7) \text{WL}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} * 100$$

$$(8) \text{SL}(\%) = \frac{f_{c1} - f_{c2}}{f_{c1}} * 100$$

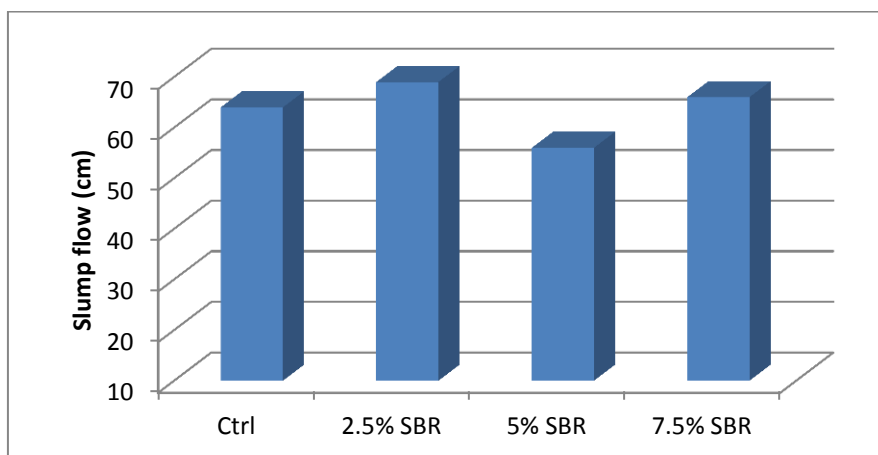
که  $W_1$  و  $W_2$  وزن نمونه ها (برحسب گرم) به ترتیب پیش و پس از هر دوره ی غوطه وری می باشند. و  $f_{c1}$  مقاومت فشاری نمونه های کنترل و  $f_{c2}$  مقاومت فشاری نمونه ها پس از قرارگیری در محیط ۳ درصد اسیدسولفوریک در هر دوره است.

### بحث و بررسی

در مورد تهاجم اسیدسولفوریک، اگرچه غالباً تشکیل گچ گزارش شده اما در مورد نتایج تشکیل آن، اتفاق نظر وجود ندارد. برخی از مؤلفین معتقدند که غیر قابل حل بودن نسبی گچ تشکیل یافته سبب می گردد تا سرعت فرآیند تخریب کاهش یابد در حالیکه برخی دیگر از مؤلفین گزارش نموده اند که بخاطر تشکیل گچ، انبساط و ترک خوردگی رخ خواهد داد. [۲۷]

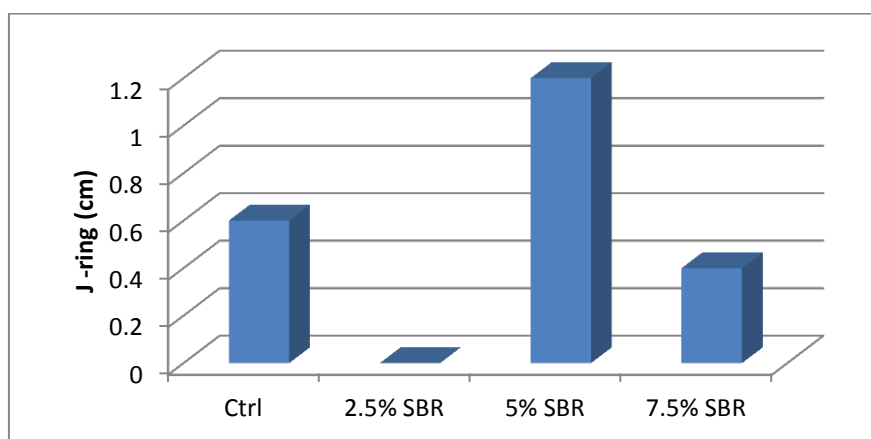
**جریان اسلامپ:** چنانچه از شکل ۹ مشخص می باشد نمونه های شامل ۲/۵ و ۷/۵ درصد SBR در رده دوم از دسته بندی مؤسسه EFNARC ( قطر ۶۶ تا ۷۵ سانتی متر) [۲۶] قرار دارد و این بتن را می توان در انواع کارهای بتنی، مصرف کرد. اما قطر بتن شامل ۵ درصد SBR در رده اول از رده بندی مؤسسه EFNARC (۵۵ تا ۶۵ سانتی متر) قرار دارد که می توان این

بتن را در سازه های غیرمسلح یا با تراکم پایین آرماتورها به کار گرفت. همچنین در هیچ یک از نمونه ها آب انداختگی مشاهده نگردید.



شکل ۹- نتایج آزمایش جریان اسلامپ

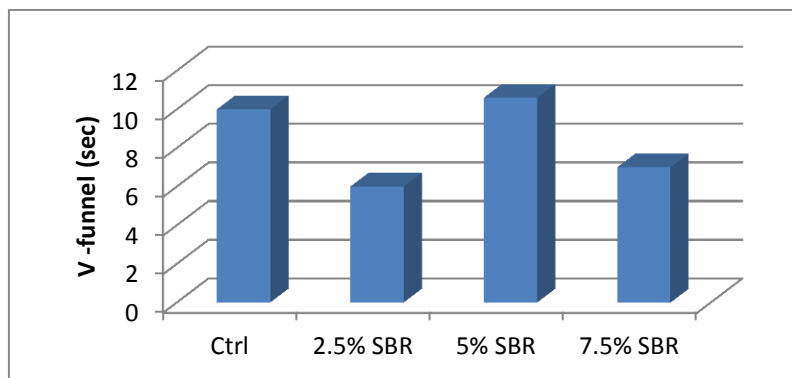
**حلقه J:** تفاوت بین ارتفاع بتن در داخل و خارج حلقه اندازه گیری می شود، هرچه این اختلاف ارتفاع بیشتر باشد بیانگر قابلیت عبوری کمتر بتن مورد نظر خواهد بود. در بتن شامل ۲/۵ درصد SBR این مقدار تقریباً به صفر رسیده، که نشان دهنده توانایی بالای این ماده در پرکنندگی و ایجاد لزجت مناسب برای بتن خودتراکم است. مطابق با پیشنهاد مؤسسه EFNARC [۲۶] (اختلاف کمتر از ۱ سانتی متر) بتن شامل ۷/۵ درصد SBR نیز در محدوده قابل قبول قرار دارد. (شکل ۱۰)



شکل ۱۰- نتایج آزمایش حلقه J

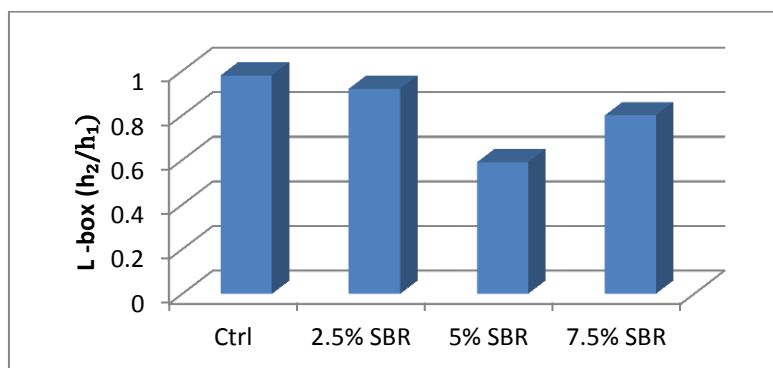
**قیف V:** این آزمایش جهت بررسی قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم، به کار گرفته می شود. علاوه بر اینکه زمان تخلیه بتن از قیف گزارش می گردد با مشاهدات دیداری، می توان نظر خود را در مورد یکنواختی و کیفیت بتن تخلیه شده نیز ثبت نمود. مطابق با پیشنهاد EFNARC [۲۶] هنگامی بتن خودتراکم، دارای پرکنندگی مناسب می باشد که زمان تخلیه قیف بین ۶ تا ۱۲ ثانیه باشد. چنانچه از شکل ۱۱ مشهود است زمان تخلیه تمامی بتن های خودتراکم شامل SBR، در بازه مورد نظر بوده و نکته مهم اینکه بتن شامل ۲/۵ درصد SBR از یکنواختی بیشتری برخوردار بود.





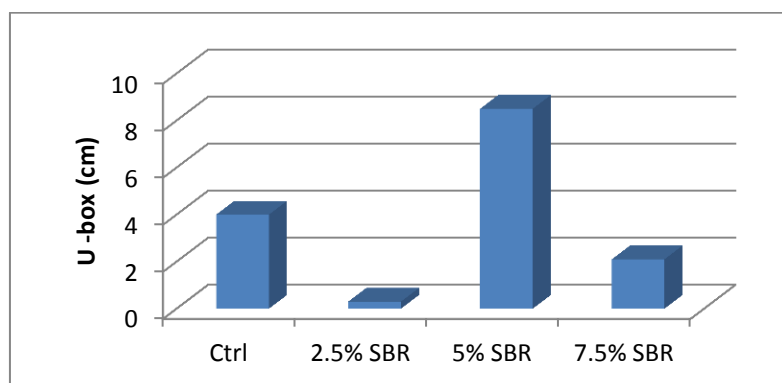
شکل ۱۱ - نتایج آزمایش قیف V

**جعبه L:** از این آزمایش جهت ارزیابی خاصیت عبوری بتن خودتراکم، استفاده می شود. بنابر پیشنهاد EFNARC [۲۶] جهت اقتناع شرایط خود تراکمی، نسبت  $h_2/h_1$  باید بین ۰/۸ تا ۱ باشد. چنانچه در شکل ۱۲ مشاهده می گردد بتن های شامل ۲/۵ و ۷/۵ درصد SBR این شرط را ارضاء نموده و در بتن شامل ۵ درصد SBR این نسبت از میزان مورد نظر کمتر بود.



شکل ۱۲ - نتایج آزمایش جعبه L

**جعبه U:** این آزمایش نیز جهت بررسی توانایی بتن خودتراکم در عبور از موانع می باشد، اما تفاوت آن با دیگر آزمایش های عبوری در این است که بتن مورد نظر باید بتواند برخلاف جهت جاذبه زمین (وزن خود) حرکت نماید. حداکثر اختلاف ارتفاع در طرفین جعبه که توسط EFNARC [۲۶] پیشنهاد گردیده ۳ سانتی متر می باشد. با توجه به شکل ۱۳ مشاهده می گردد که در بتن شامل ۵ درصد SBR، این مقدار بیش از ۳ سانتی متر بوده و در بتن شامل ۲/۵ درصد SBR بهترین نتیجه کسب شده است.



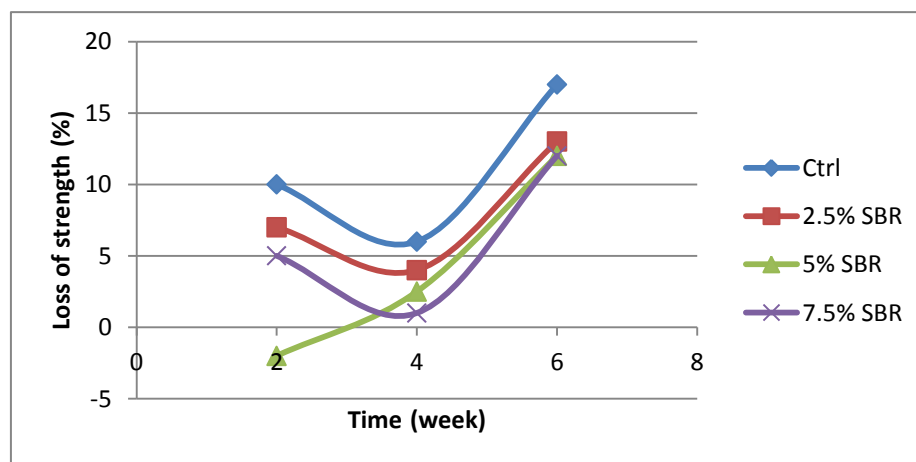
شکل ۱۳ - نتایج آزمایش جعبه U

**مقاومت فشاری نمونه استوانه ای:** چنانچه در شکل مشاهده می گردد مقاومت فشاری تمام نمونه ها نسبت به زمان افزایش می یابد. با این حال، بهترین مقاومت فشاری در بتن شامل ۲/۵ درصد SBR پس از گذشت ۹۰ روز کسب گردیده است. بعلاوه در تمامی بتن ها در سن ۷ تا ۲۸ روزه افزایش مقاومت کمتری نسبت به سن ۲۸ تا ۹۰ روزه داشته ایم که علت آن را می توان به کند شدن روند هیدراتاسیون نسبت داد.

### جدول ۳- نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه استوانه ای در شرایط عادی (برحسب $\text{Kg/cm}^2$ )

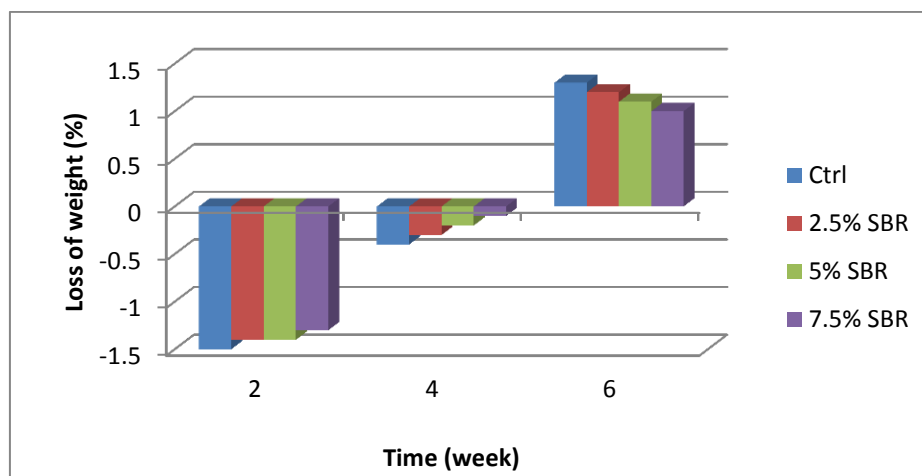
90(day)	28(day)	14(day)	
۴۱۰/۷	۳۵۰/۳	۳۲۵/۶	Ctrl
۳۴۳/۱	۲۸۷/۹	۲۶۳	۲/۵% SBR
۳۰۷/۵	۲۴۹/۸	۲۰۰/۸	۵% SBR
۳۱۲/۹	۲۵۱/۸	۲۲۳/۵	۷/۵% SBR

**درصد کاهش مقاومت در محیط اسیدی:** نتایج حاصل از این آزمایش برای بتن های غوطه ور در محیط ۳ درصد اسیدسولفوریک در سنین ۲، ۴ و ۶ هفته، ارائه گردیده است. نمونه ها را قبل از آزمایش با آب شیر شسته و سطح آن ها را پاک کرده و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد قرار دادیم. همانگونه که در شکل مشاهده می گردد در بتن شامل ۵ درصد SBR در تمامی سنین، درصد کاهش مقاومت کمتری، رخ داده است. همچنین در تمامی نمونه ها با افزایش دوره قرارگیری در محلول اسیدی، درصد کاهش مقاومت، بیشتر شد.



شکل ۱۴ - نتایج آزمایش کاهش مقاومت اسیدی

**درصد کاهش وزن در محیط اسیدی:** پیش از قرارگیری نمونه ها در محلول ۳ درصد اسید سولفوریک، به مدت ۲۴ ساعت آن ها را در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد، قرار داده و سپس وزن اولیه آن ها محاسبه شد. پس از قرارگیری نمونه ها و شستشو و پاک نمودن، آن ها را به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد قرار داده و وزن آن ها تعیین گردید، سپس درصد کاهش وزن نمونه ها بدست آمد. چنانچه در شکل دیده می شود تمامی نمونه ها در سنین ۲ و ۴ هفته، دارای افزایش وزن بوده اند که مقدار آن با درصد منفی نشان داده شده است. همچنین با افزایش دوره قرارگیری در محلول اسیدی، درصد کاهش وزن، افزایش می یابد. بعلاوه نتایج حاصله حاکی از این است که پس از ۶ هفته قرارگیری در محیط اسیدی، با افزایش درصد SBR، درصد کاهش مقاومت، کمتر می گردد.



شکل ۱۵ - نتایج آزمایش کاهش وزن اسیدی

## نتیجه گیری

در این مقاله پس از تبیین فرآیندها و علل خوردگی بتن توسط اسیدسولفوریک، به بررسی تأثیر این نوع خوردگی در بتن های خودتراکم شامل SBR پرداخته شد که نتایجی به شرح ذیل حاصل گردید:

- با توجه به اینکه هزینه های تعمیر و نگهداری در سازه های بتنی که در معرض خوردگی اسیدسولفوریک قرار دارند بسیار گزاف می باشد لازم است پیش از ساخت، این امر، مدنظر قرار گرفته و به کیفیت بتن مصرفی، توجه ویژه ای شود.
- در این تحقیق به این نتیجه رسیدیم که می توان از SBR به عنوان یک فیلر مناسب در بتن خودتراکم استفاده نمود و همچنین با استفاده از وزن کمتری از این ماده، (با عنایت به نتایج آزمون های خودتراکم) می توان به شرایط لازم خودتراکمی دست یافت.
- چنانچه در نتایج آزمایش جریان اسلامپ مشاهده گردید بتن های شامل ۲/۵ و ۷/۵ درصد SBR، در زمره بتن های دارای قابلیت پرکنندگی مناسب (طبق پیشنهاد EFNARC) قرار دارند ولی در آزمایش قیف V، که آن هم خاصیت پرکنندگی را ارزیابی می کند تمامی بتن ها در بازه مطلوب جای گرفتند که به نظر می آید می توان حد بالای این بازه را از ۱۲ ثانیه به ۱۰ ثانیه تقلیل داد. شایان ذکر است که بهترین نتایج پرکنندگی مربوط به بتن شامل ۲/۵ درصد SBR بود.
- با توجه به نتایج آزمایش های حلقه J، جعبه U و جعبه L دیده می شود که در این آزمایش ها بتن های شامل ۲/۵ و ۷/۵ درصد SBR، نتایج مقتضی را کسب نموده اند که مبین خاصیت عبوری مطلوب این دو طرح می باشد. البته در مقایسه بتن های حاوی ۲/۵ و ۷/۵ درصد SBR، ارجحیت با نمونه دارای ۲/۵ درصد SBR می باشد.
- در مورد بررسی پدیده های آب انداختگی و جداسدگی، با توجه به اینکه برای رسیدن به طرح های بهینه ۱۶ طرح با درصدهای متفاوتی از مواد افزودنی بررسی گردیدند که از ارائه آن ها احتراز شده است، هیچ گونه آب انداختگی و جداسدگی در نمونه ها رؤیت نگردید.
- آزمایش مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای نشان می دهد که با افزایش دوره عمل آوری، در سن ۱۴ تا ۲۸ روزه، افزایش مقاومت کمتری، نسبت به سن ۲۸ تا ۹۰ روزه، داشته ایم که این امر را می توان به کندشدن روند هیدراتاسیون نمونه ها نسبت داد، همچنین نمونه شامل ۲/۵ درصد SBR، در تمامی سنین دارای مقاومت فشاری برتری بود.
- در آزمایش مقاومت نمونه ها در محیط اسیدی، رؤیت گردید که با افزایش زمان قرارگیری نمونه ها در محیط اسیدی، درصد کاهش مقاومت فشاری آن ها افزایش یافته است و نیز بهترین نتایج (کمترین کاهش مقاومت) مربوط به نمونه حاوی ۵ درصد SBR می باشد که حتی پس از گذشت ۲ هفته افزایش مقاومت نیز داشته است.

- در بررسی کاهش وزن نمونه ها در محیط اسیدی چنین استنتاج شد که در سنین ۱۴ و ۲۸ روزه، تمام نمونه ها دارای افزایش وزن بوده اند. همچنین طولانی تر شدن دوره قرارگیری در محیط اسیدی، میزان کاهش وزن را زیاد می کند. بعلاوه کمترین کاهش وزن ها پس از گذشت ۴ و ۶ هفته مربوط به نمونه حاوی ۷/۵ درصد SBR بوده است.

#### مراجع:

1. Willem De Muynck, Nele De Belie, Willy Verstraete, " Effectiveness of admixtures, surface treatments and antimicrobial compounds against biogenic sulfuric acid corrosion of concrete", *Cement & Concrete Composites* 31 (2009) 163–170.
2. Peter C. Hewlett, *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, 4th edition, ARNOLD, ISBN: 0340565896, 1998, pp.324-327.
3. Zhang L, De Schryver P, De Gussem B, De Muynck W, Boon N, Verstraete W. "Chemical and biological technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer systems: a review". *Water Res* 2008;42(1-2):1-12.
4. Daczko JA, Johnson DA, Amey SL. Decreasing concrete sewer pipe degradation using admixtures. *Mater Perform* 1997;36(1):51-6.
5. Vincke E, Wanseele EV, Monteny J, Beeldens A, Belie ND, Taerwe L, et al. "Influence of polymer addition on biogenic sulfuric acid attack of concrete. *Int Biodeter Biodegrad* 2002;49(4):283-92.
6. Vipulanandan C, Liu J. Performance of polyurethane-coated concrete in sewer environment. *Cem Concr Res* 2005;35(9):1754-63.
7. Vipulanandan C, Liu J. Glass-fiber mat-reinforced epoxy coating for concrete in sulfuric acid environment. *Cem Concr Res* 2002;32(2):205-10.
8. Liu J, Vipulanandan C. Evaluating a polymer concrete coating for protecting non-metallic underground facilities from sulfuric acid attack. *Tunn Undergr Sp Technol* 2001;16(4):311-21.
9. Redner JA, Hsi RP, Esfandi EJ, Sydney R. Evaluation of protective coatings for concrete. California: County Sanitation Districts of Los Angeles County; 1998.
10. Sand W, Dumas T, Marcdargent S. Accelerated biogenic sulfuric-acid corrosion tests for evaluating the performance of calcium-aluminate based concrete in sewage applications. In: Kearns JR, Little BJ, editors. *Microbiologically influenced corrosion testing*, ASTM ATP 1232. Philadelphia: American Society for Testing and Materials; 1994.
11. Vaidya S, Montes C, Allouche EN. Use of nanomaterials for concrete pipe protection. In: *Proceedings advances and experiences with trenchless pipeline projects city*; 2007.
12. Shiwei G. Synergistic protection against microbiologically influenced corrosion using a 100% solids polyurethane incorporated with anti-microbial agents. <[http://www.madisonchemical.com/pdf\\_tech\\_papers/Synergistic\\_Protection\\_Against\\_MIC.pdf](http://www.madisonchemical.com/pdf_tech_papers/Synergistic_Protection_Against_MIC.pdf)>; 2004.
13. Hewayde E, Nakhla G, Allouche E. Effect of metal oxide coating on generation of sulfide in concrete sewer pipes. In: Chidiac S, *Proceedings 1st Canadian conference on effective design of structures city*, McMaster University; 2005.
14. Alum A, Rashid A, Mobasher B, Abbaszadegan M. Cement-based biocide coatings for controlling algal growth in water distribution canals. *Cem Concr Compos* 2008;30(9):839-47.
15. Do J, Song H, So H, Soh Y. Antifungal effects of cement mortars with two types of organic antifungal agents. *Cem Concr Res* 2005;35(2):371-6.

16. علی اکبر رمضانیاپور، طیبہ پرهیزکار، حمید رحمانی، "آسیب دیدگیهای بتن در محیطهای اسیدی و ارائه راه حل مناسب جهت کاهش خرابی ها" اولین کنگره ملی مهندسی عمران، اردیبهشت ۱۳۸۳.

17. Brendt, M.L., "Protection of Concrete in Cooling Towers from Microbiologically Influenced Corrosion", Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 25, 3-7, San Diego, 2001.
18. Elke Vincke, Ellen Van Wanseele, Joke Montenyb, Anne Beeldensc, Nele De Belieb, Luc Taerweb, Dionys Van Gemertc, Willy Verstraete; Influence of polymer addition on biogenic sulfuric acid attack of concrete International Biodeterioration & Biodegradation 49 (2002) 283 – 292.
19. J. Monteny, E. Vincke, A. Beeldens, N. De Belie, L. Taerwe, D. Van Gemert, W. Verstraete, Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete, Cem. Concr. Res. 30 (4) (2000) 623–634.
20. M.T. Bassuoni, M.L. Nehdi, " Resistance of self-consolidating concrete to sulfuric acid attack with consecutive pH reduction" Cement and Concrete Research 37 (2007) 1070–1084.
21. Zhen-Tian Chang,\*, Xiu-Jiang Song, b, Robert Munna, Marton Marosszekya, "Using limestone aggregates and different cements for enhancing resistance of concrete to sulphuric acid attack", Cement and Concrete Research 35 (2005) 1486 – 1494.
22. N. De Belie,\*, J. Monteny, A. Beeldens, E. Vincke, D. Van Gemert, W. Verstraete, "Experimental research and prediction of the effect of chemical and biogenic sulfuric acid on different types of commercially produced concrete sewer pipes", Cement and Concrete Research 34 (2004) 2223–2236.
23. Elke Vincke, Ellen Van Wanseele, Joke Montenyb, Anne Beeldensc, Nele De Belieb, Luc Taerweb, Dionys Van Gemertc, Willy Verstraete, " Influence of polymer addition on biogenic sulfuric acid attack of concrete" International Biodeterioration & Biodegradation 49 (2002) 283 – 292.
24. Serdar Aydın, Halit Yazıcı, Hüseyin Yigit, Bulent Baradan, "Sulfuric acid resistance of high volume fly ash concrete", Building and Environment 42 (2007) 717–721.
25. A. K. Tamimi, " High-performance concrete mix for an optimum protection in acidic conditions", Materials and Structures/Matériaux et Constructions, Vol. 30, April 1997, pp 188-191.
26. EFNARC, The European guidelines for self compacting concrete, The European federation of specialist construction chemicals and concrete systems, <www.efnarc.org>. 2002.
27. Ali Allahverdi, František Škvára, "Acidic corrosion of hydrated cement based materials part 1.- mechanism of the phenomenon", Ceramics -Silikáty 44 (3) 114-120 (2000).
28. قاسم سهرابی، یوسف زندی، "تکنولوژی پیشرفته بتن"، انتشارات فروزش، ۱۳۸۵.
29. M. Lachemi, K.M.A. Hossain, V. Lambros, P.-C. Nkinamubanzi, N. Bouzoubaa, " Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures", Cement and Concrete Research, vol.34, pp.917–926, (2004).