

بررسی استفاده از پلیمر سوپر جاذب در ساخت بتن سبک سازه‌ای

جعفر رشیدی^۱، مطهره رحیمی^۲، حسام آذری جعفری^۳، جواد برنجیان^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های دریایی دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه موسسه آموزش عالی طبری بابل

۳- کارشناس انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت موسسه آموزش عالی طبری بابل

۵- استادیار و سرپرست موسسه آموزش عالی طبری بابل

j.rashidi@srbiau.ac.ir,

چکیده

کاهش هزینه‌ها در امر ساخت و ساز موضوعی است که از دیرباز مورد توجه دست‌اندرکاران صنعت ساخت و ساز قرار گرفته است. یکی از راه‌های کاهش هزینه‌ها در ساخت سازه‌های بتنی، کاهش ابعاد سازه است که این امر از طریق استفاده از بتن‌های سبک سازه‌ای امکان پذیر است. علاوه بر این استفاده از بتن‌های سبک در ساخت قطعات پیش ساخته سبب سهولت در حمل و نصب آنها شده و به طور غیر مستقیم در طراحی آنها تاثیر می‌گذارد. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب بتن سبکی دست پیدا کرد که علاوه بر دارا بودن مقاومت سازه‌ای، خود عمل‌آور (self-cure) نیز باشد. به منظور دستیابی به این هدف ماده خشک پلیمر سوپر جاذب به صورت جایگزین حجمی ماسه و براساس درصد وزنی سیمان به مخلوط بتن اضافه شد و مقاومت فشاری ۷ و ۱۴ و ۲۸ روزه نمونه‌های بتنی تعیین شد. نتایج نشان می‌دهد که دستیابی به بتن سبک سازه‌ای ساخته شده با پلیمرهای سوپر جاذب و بدون استفاده از سبک‌دانه امکان پذیر است.

واژه‌های کلیدی: بتن سبک سازه‌ای، پلیمر سوپر جاذب، خود عمل‌آوری

An Investigation on use of super absorbent polymer in structural lightweight concrete

Jafar Rashidi¹, Motahare Rahimi², Hessam Azari Jafari^{3,4}, Javad Berenjian⁵

1-Student of Offshore Structures Engineering, Science and Research branch of Islamic Azad university-Tehran

2-Student of Structural Engineering, Tabari Institute of Higher Education-Babol

3-Research Assistant of Construction Material Institute, University of Tehran

4-Student of Construction Management and Engineering, Tabari Institute of Higher Education-Babol

5-Assistant professor, Head of Tabari Institute of Higher Education- Babol

E-mail: j.rashidi@srbiau.ac.ir, Tel:09122150829

Abstract:

Reduction of cost in construction is considered by construction industries practitioners. Reduction in structure elements dimensions is one of the methods for decreasing the cost and it is possible with use of lightweight concrete. In addition, use of lightweight concrete in precast segments facilitate of transportation and installation. In this paper it was tried to achieve "self-curing structural lightweight concrete" using super absorbent polymer. In the mix design super absorbent polymer were used as volumetric replacement of sand and fraction of cement weight. Compressive strength of concrete in 7, 14 and 28 days was measured. The result shown it is possible to achieve lightweight concrete containing super absorbent polymer without lightweight aggregates.

Keywords: Structural lightweight concrete, Super absorbent polymer, Self curing

مقدمه

پس از جنگ جهانی اول و به ویژه بعد از تولید اولین سبکدانه‌های سازه‌ای در اوایل قرن بیستم در آمریکای شمالی در مقیاس صنعتی تا به امروز تحقیقات گسترده‌ای روی این نوع بتن انجام شده و تحولات زیادی در ساخت و کاربرد آن به وجود آمده است [۱ و ۲]. استفاده از بتن‌های سبک مزایای بسیاری دارد که می‌توان از آن‌ها به کاهش بار مرده سازه، کاهش ابعاد المان‌های سازه، کاهش بار وارده ناشی از زلزله، کاهش اتلاف انرژی با توجه به عایق حرارتی بودن آن اشاره کرد. طبق تعریف ارائه شده در استاندارد ACI C330-82a بتن سبک به بتنی اطلاق می‌شود که وزن مخصوص آن از ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب تجاوز نکند (مقررات ملی ساختمان ایران نیز حداکثر چگالی مجاز بتن سبک را مشابه ACI C330-82a در نظر گرفته است). این در حالی است که استاندارد اروپایی EN 206-1 حداکثر چگالی بتن سبک خشک شده را برابر ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته است. بتن سبک از نظر مقاومتی در سه رده: بتن سبک غیر سازه‌ای، بتن سبک نیمه سازه‌ای (با مقاومت متوسط) و بتن سبک سازه‌ای تقسیم می‌شود. در جدول ۱ برخی از ویژگی‌های این سه رده بتن سبک شامل وزن مخصوص، حداکثر مقاومت فشاری و موارد مصرف هر رده به صورت جدا از هم آمده است [۱].

جدول ۱- ویژگی‌های رده‌های مقاومتی بتن سبک

موارد مصرف	چگالی (Kg/m^3)	مقاومت فشاری (MPa)	رده بتن سبک
به عنوان عایق حرارتی و صوتی، کف سازی، تیغه‌های جداکننده	> 800	$> 9/5$	غیر سازه‌ای
کف سازی، ساخت بلوک مجوف	۷۰۰-۱۴۰۰	۵-۱۵	نیمه سازه‌ای
مورد استفاده در تمامی المان‌های سازه‌ای	$< 2000 (1840)$	< 17	سازه‌ای

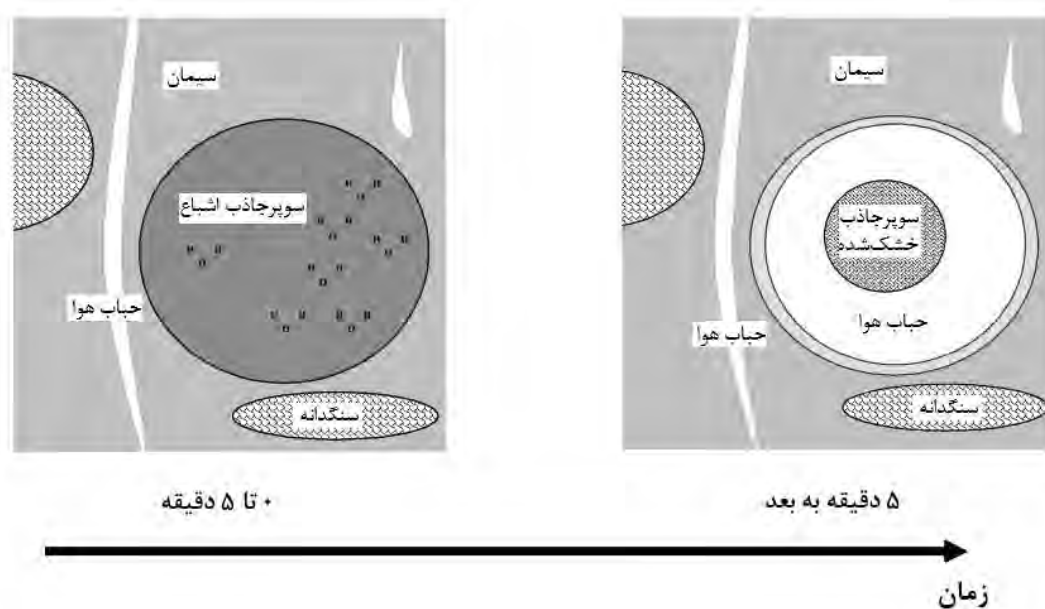
از طرف دیگر می‌توان بر اساس روش ساخت، بتن‌های سبک را به سه دسته اصلی تقسیم کرد که در جدول ۲ آورده شده است [۱].

جدول ۲- روش‌های متداول ساخت بتن سبک

نوع	مکانیزم کاهش چگالی
بتن با ساختار باز ^۱	عدم استفاده از درشت دانه
بتن اسفنجی (CLC, AAC)	ایجاد حباب هوا در ماتریس سیمان
بتن ساخته شده با سبکدانه‌ها	استفاده از سنگدانه‌های سبک (مصنوعی یا طبیعی)

۱ - Open structure concrete

همان طور که در جدول بالا نشان داده شده است یکی از راه های سبک سازی ایجاد تخلخل در توده بتن است و یکی از راه های ایجاد تخلخل، استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب^۲ می باشد. این پلیمرها انواع مختلفی دارد ولی به دلیل آبدوست بودن پلی اکریلیک اسیدها^۳ اغلب از این مواد ساخته می شوند [۳]. این پلیمرها توانایی جذب آب بالایی دارند (نسبت مقدار آب جذب شده به وزن ماده خشک سوپر جاذب) و بر حسب فرمول ساخت می توانند تا ۵۰۰۰ برابر وزن خود آب خالص جذب کنند [۴]. این پلیمرها که معمولاً از آنها با نام SAP یاد می شود پس از جذب آب افزایش حجم می دهند و دوباره پس از خشک شدن حجم آنها کاهش یافته و سبب ایجاد حفرات در ماتریس سیمان می شود. مکانیزم عمل این پلیمرها در شکل ۱ نشان داده شده است. به دلیل توانایی جذب و حفظ آب توسط این پلیمرها و همچنین دفع آب جذب شده به هنگام خشک شدن محیط بتن، تا به امروز از این پلیمرها جهت عمل آوری داخلی^۴ بتن های توانمند و فوق توانمند استفاده شده است [۵ و ۶]. در این تحقیق سعی شده تا با استفاده از خاصیت افزایش حجم به هنگام جذب آب و کاهش حجم این پلیمرها به هنگام خشک شدن تخلخلی درون ماتریس بتن ایجاد کرد تا بدین وسیله با کاهش وزن مخصوص بتن و بدون استفاده از سبکدانه به بتن سبک سازه ای دست یافت. ویژگی اصلی تخلخل ایجاد شده توسط پلیمرهای سوپر جاذب نسبت به حباب سازها، پایداری حفره ها درون ماتریس بتن است.



شکل ۱- طرح شماتیک مکانیزم عمل پلیمرهای سوپر جاذب پیش خیس شده در محیط بتن

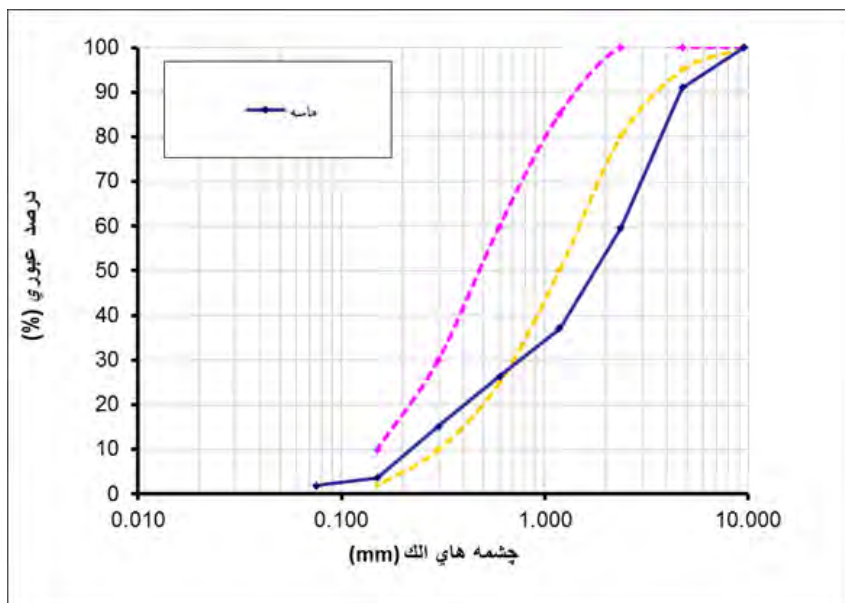
مصالح

در این تحقیق از پلیمرهای سوپر جاذب ساخته شده توسط شرکت SNF فرانسه استفاده شده است. مشخصات این پلیمرها با توجه به اطلاعات شرکت سازنده در جدول ۳ آورده شده است. همچنین از سنگدانه طبیعی بابل با سایز ۰-۸ و با وزن مخصوص ۲/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و میزان جذب آب ۲/۸ درصد استفاده شد که نمودار دانه بندی آن در شکل ۲ آورده شده است. همچنین از سیمان تیپ II نکا و پودر میکروسیلیس محصول شرکت فرو آلیاژ ازنا با وزن مخصوص ۲/۲۱ گرم بر سانتیمتر مکعب و آب آشامیدنی شهرستان بابل به عنوان آب مورد نیاز طرح اختلاط استفاده شد. مشخصات پلیمرهای سوپر جاذب مورد استفاده در جدول ۳ و آنالیز شیمیایی سیمان و میکروسیلیس در جدول ۴ آورده شده است.

۲- Super absorbent polymer (SAP)

۳- polyacrylic acids

4 - internal curing



شکل ۲ - نمودار دانه بندی سنگدانه

جدول ۳ - مشخصات پلیمر سوپر جاذب

ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) meq/g)	حداکثر جذب آب (w/w)	pH	وزن مخصوص (gr/cm ³)	جنس
۴/۶	۴۰۰ برابر در آب مقطر	۸/۱۰	۱/۱۰	پلیمرهای شبکه‌ای آکریلامید و آکریلات پتاسیم

جدول ۴ - آنالیز شیمیایی سیمان و میکروسلیس

افت وزنی در اثر حرارت (%)	باقیمانده نامحلول (%)	تری اکسید سولفور (%)	اکسید منیزیم (%)	اکسید کلسیم (%)	اکسید آهن (%)	اکسید آلومینیوم (%)	دی اکسید سیلیسیم (%)	
۵/۲	۰/۶	۲/۵	۱/۷	۶۳/۸	۳/۶	۳/۷	۲/۲	سیمان
۱/۹۸	۰/۸۶	۰/۱۷	۰/۳۶	۰/۴۳	۲/۳	۲/۹	۹۱	میکروسلیس

روش اختلاط

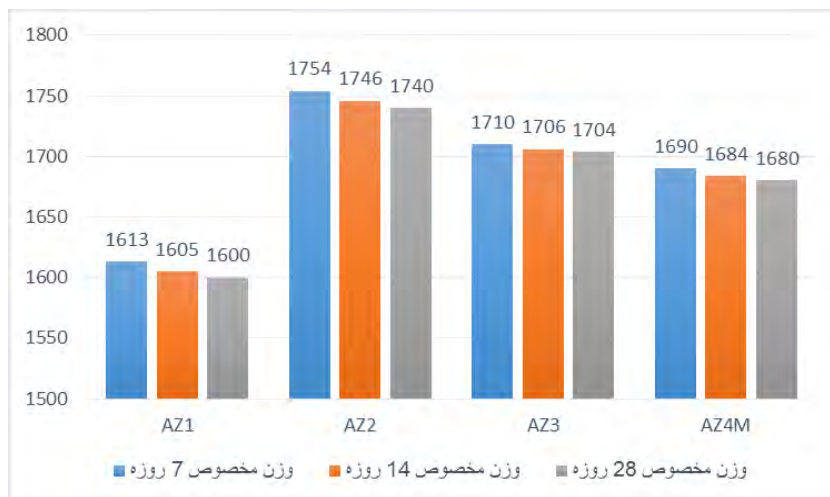
پیش از شروع اختلاط مصالح، ابتدا با استفاده از آزمایش کیسه چای^۵ میزان جذب آب توسط پلیمرهای سوپرچاذب اندازه گیری شد. روش انجام این آزمایش بدین صورت است که ابتدا ۰/۲ گرم از ماده خشک پلیمر را درون کاغذ صافی ریخته و کاغذ را به مدت ۱۵ دقیقه درون آب قرار می‌دهیم. پس از گذشت این مدت مجدداً آن را وزن می‌کنیم. دلیل انجام این آزمایش آن است که میزان جذب آب اعلام شده توسط شرکت تولید کننده، در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی و در آب خالص بوده است. با توجه به آزمایش، میزان جذب آب پلیمرها برابر 150 gr/gr بدست آمد. پس از تعیین میزان جذب آب، برای ساخت مخلوط بتن، ابتدا ماسه و سیمان درون میکسر ریخته شد و با هم مخلوط شدند. برخلاف تحقیقات گذشته که از این پلیمرها به صورت خشک در مخلوط بتن استفاده شده است [۴-۹]، در این تحقیق ابتدا پلیمرهای سوپرچاذب با استفاده از آب اختلاط تعیین شده به صورت پیش‌خیس شده در آورده شدند و سپس به مخلوط بتن اضافه شدند. پس از اضافه کردن پلیمرهای پیش‌خیس شده، حداقل ۵ دقیقه زمان لازم بود تا پلیمرهای در حال میکس شدن شروع به دفع آب جذب شده بکنند و رطوبت مخلوط را به حد دلخواه برسانند این دفع آب تقریباً تا ۱۰ دقیقه پس از شروع مخلوط شدن ادامه داشت. البته در مواردی که بعد از ۵ دقیقه بتن به روانی مناسب نمی‌رسید مقدار مشخصی آب به مخلوط اضافه می‌شد. در نمونه‌های ساخته شده با میکروسیلیس ابتدا مقداری از آب اختلاط را به پودر میکروسیلیس اضافه کرده و پس از گذشت ۵ دقیقه از اضافه کردن پلیمرهای پیش‌خیس شده، به مخلوط اضافه شد. در پایان از هر یک از مخلوط‌های ساخته شده تعداد سه نمونه مکعبی 15×15 تهیه و آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه‌ها انجام شد. نسبت‌های اختلاط برای هر یک از طرح‌های ساخته شده در جدول ۵ آورده شده است. البته شایان ذکر است که عمل‌آوری نمونه‌ها به منظور تعیین اثر عمل‌آوری داخلی بر روند کسب مقاومت، در هوای آزاد با دمای 25 ± 2 و رطوبت ۵۰ درصد انجام شد. محل انجام این آزمایشها در آزمایشگاه تکنولوژی بتن موسسه آموزش عالی طبری بابل بود.

جدول ۵- نسبت‌های اختلاط

کد نمونه	سیمان (کیلوگرم بر مترمکعب)	آب (کیلوگرم بر مترمکعب)		سنگدانه ۸-۰ (کیلوگرم بر مترمکعب)	سوپرچاذب (کیلوگرم بر مترمکعب)	پودر میکروسیلیس (کیلوگرم بر مترمکعب)
		آب جذب شده در سوپرچاذب	آب مورد استفاده در طرح			
AZ1	۵۸۰	۲۹۵	۴۷۰	۸۸۰	۹/۵	—
AZ2	۶۳۰	۳۲۰	۴۲۵	۹۶۰	۱۰	—
AZ3	۶۳۰	۴۲۵	۴۲۵	۹۶۰	۱۰	—
AZ4M	۵۸۰	۲۱۰	۳۷۰	۹۶۰	۷	۴۲

نتایج و تحلیل

نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها در جدول ۶ و نمودار تغییرات وزن مخصوص آنها در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳- نمودار تغییرات وزن مخصوص نمونه‌ها

جدول ۶ - نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت ۲۸ روزه Mpa	مقاومت ۱۴ روزه Mpa	مقاومت ۷ روزه Mpa	وزن مخصوص ۲۸ روزه Kg/m ³	وزن مخصوص ۱۴ روزه Kg/m ³	وزن مخصوص ۷ روزه Kg/m ³	نمونه
۱۴/۸	۱۲/۳	۱۰/۵	۱۶۰۰	۱۶۰۵	۱۶۱۳	AZ1
۱۷/۸	۱۵/۸	۱۳/۶	۱۷۴۰	۱۷۷۵	۱۷۵۴	AZ2
۱۳/۹	۱۳/۹	۹/۹	۱۷۰۴	۱۷۰۶	۱۷۱۰	AZ3
۲۲/۴	۲۰/۷	۱۶/۱	۱۶۸۰	۱۶۸۴	۱۶۹۰	AZ4M

همان طور که در جدول بالا دیده می شود نمونه AZ3 از سایر نمونه‌ها مقاومت کمتری داشته است که این موضوع می‌تواند به دلیل نبود آب اولیه آزاد و پیش اشباع کردن پلیمرهای سوپر جاذب با تمام آب محاسبه شده باشد. این کار سبب شده تا آب مورد نیاز بتن در ساعت‌های اولیه جهت انجام واکنش‌های هیدراسیون وجود نداشته باشد. همین دلیل می‌تواند به صورت معکوس برای AZ1 رخ داده باشد به طوری که مقدار بیشتری از آب به صورت آب آزاد به بتن اضافه شده و مقدار کمتری درون پلیمرها برای عمل آوری داخلی باقی مانده است. در اینجا مجدداً لازم به ذکر است که نمونه‌ها خارج از حوضچه آب و در هوای آزاد عمل آوری شده اند. مقاومت بالای نمونه AZ4M می‌تواند به دلیل واکنش‌های پوزولانی میکروسیلیس موجود در این نمونه باشد.

به طور کلی زمان مورد نیاز برای خشک شدن پلیمرهای سوپرجاذب، شعاعی از بتن که تحت تاثیر آنها قرار می‌گیرند، و مقدار آبی که پس از خشک شدن کامل درون پلیمرهای سوپرجاذب باقی‌مانده، هنوز مشخص نیست و نیاز به تحقیقات گسترده و جامع دارد.

در ساخت چندین نمونه از این بتن‌ها سعی شد تا از روان کننده‌ها با پایه‌های شیمیایی نفتالینی، پلی‌کربوکسیلاتی و لیگنو سولفوناتی استفاده شود اما بلافاصله پس از اضافه کردن روان کننده‌ها چه به صورت مستقیم و چه به صورت محلول در آب، چسبندگی مخلوط به حدی بالا می‌رفت که تماماً اطراف میکسر چسبیده و امکان مخلوط شدن بیشتر برای آن وجود نداشت و بتن کارایی خود را به طور کامل از دست می‌داد. بررسی دلایل وقوع چنین اتفاقی نیاز به انجام آزمایش‌های ویژه درمورد واکنش-های شیمیایی بین انواع روان کننده‌ها و پلیمرهای سوپرجاذب دارد.

جمع بندی

استفاده از بتن‌های سبک علاوه بر کاهش بار مرده ساختمان و در نتیجه کاهش بار وارده ناشی از زلزله، سبب کاهش هزینه‌های ساخت و ساز از طریق کاهش ابعاد المان‌های سازه نیز می‌شود. به علاوه این بتن‌ها عایق‌های مناسبی در برابر حرارت نیز می‌باشند. روش‌های مختلفی برای ساخت بتن‌های سبک وجود دارد که اکثر آنها منجر به ساخت بتن‌های سبک غیر سازه‌ای و نیمه سازه‌ای می‌گردد. در این مقاله سعی شد تا با استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب روشی جدید برای ساخت بتن سبک ابداع کرد. برای این منظور در بعضی نمونه‌ها بخشی از آب اختلاط و در برخی دیگر تمام آب اختلاط به پلیمرها افزوده شد و پلیمرها به صورت از پیش خیس شده به مخلوط اضافه گردید. پس از ساخت، نمونه‌ها در هوای آزاد عمل‌آوری شدند تا تاثیر عمل‌آوری داخلی پلیمرهای سوپرجاذب و خود عمل‌آور بودن این نوع بتن مشخص شود. پس از انجام آزمایش مقاومت فشاری دیده شد که نمونه‌هایی که بخشی از آب اختلاط آنها به پلیمرها اضافه شده و بخش دیگر به صورت آب آزاد به مخلوط بتن اضافه گردید، دارای مقاومت فشاری بهتری هستند. شایان ذکر است که تعیین شعاع تاثیر، سرعت دفع آب، میزان آب باقی‌مانده درون پلیمرها پس از پایان دفع آب و تاثیر حضور موادی مانند روان کننده‌ها و فوق‌روان کننده‌ها بر عملکرد این پلیمرها نیاز به بررسی‌های دقیق دارد.

مراجع

۱. شکرچی‌زاده، محمد، لیبر، نیکلاس علی، جلیلی، مارال، راهنمای کاربردی بتن سبکدانه سازه‌ای، تهران، انتشارات علم و ادب، ۱۳۹۰
۲. تدین، محسن، "مشکلات به کارگیری و اجرای بتن سبکدانه در ایران"، اولین کنفرانس ملی بتن سبک، صفحات ۶۰۹-۶۱۶، ۲۶ و ۲۷ بهمن ماه، دانشگاه تهران
3. Mechtcherine, Victor, Reinhardt, Hans-Wolf, Application of Superabsorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction, Volume 2, Germany, Stuttgart, Springer, 2012
4. Moning, sven, "Water Saturated Super-Absorbent Polymers Used In High Strength Concrete", Otto Graf Journal, Vol 16, 2005, Pages 193-202
5. Craeye, Bart, Geirnaert, Matthew, De Schutter, Geert, "Super absorbing polymers as an internal curing agent for mitigation of early-age cracking of high-performance concrete bridge decks", Construction and Building Materials, Volume 25, Issue 1, January 2011, Pages 1-13
6. Soliman A.M., Nehdi M.L., "Effect of partially hydrated cementitious materials and superabsorbent polymer on early-age shrinkage of UHPC", Construction and Building Materials, Volume 41, April 2013, Pages 270-275
7. Tange Hasholt, Marianne, Mejlhede Jensen, Ole, Kovler, Konstantin, Zhutovsky, Semion, "Can super absorbent polymers mitigate autogenous shrinkage of internally cured concrete without compromising the strength?", Construction and Building Materials, Volume 31, June 2012, Pages 226-230

8. Wyrzykowski, Mateusz, Lura, Pietro,” Controlling the coefficient of thermal expansion of cementitious materials – A new application for superabsorbent polymers”, Cement and Concrete Composites, Volume 35, Issue 1, January 2013, Pages 49

9- Yao, Yan, Zhu, Yu, Yang, Yingzi, “Incorporation superabsorbent polymer (SAP) particles as controlling pre-existing flaws to improve the performance of engineered cementitious composites(EEC)”, Construction and Building Materials, Volume 28, Issue 1, March 2012, Pages 139-145