



بتن سبک سازه‌ای

عباس ایران منش، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
سید مجتبی ثمره هاشمی، کارشناس ارشد سازه

چکیده

هدف اصلی از این تحقیق تهیه بتن سبک سازه‌ای با استفاده از سنگدانه‌های طبیعی است. بتنی که بتواند در اجرای سقف، تیرها و ستونها مورد استفاده قرار گیرد. بر اساس بازدهیها و کاوشهای متعددی که در محدوده استان کرمان با همکاری بخش زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت، دو نوع سنگ دانه سبک که دارای معادنی با ذخایر غنی می‌باشند، یافت شد که از این مصالح در ساخت بتن مذکور استفاده شده است. آزمایش‌هایی که بر روی مصالح سنگی انجام شده است شامل: شناخت دانه‌ها از لحاظ زمین‌شناسی، اندازه‌گیری میزان جذب آب دانه‌ها در زمانهای مختلف، اندازه‌گیری چگالی دانه‌ای مصالح در دو حالت، خشک شده در هوا و اشباع با سطح خشک (SSD) و تعیین میزان رطوبت دانه‌ها از حالت خشک شده در هوا به حالت خشک شده در گرمچال و آزمایش‌هایی که بر روی نمونه‌های بتنی انجام شده است، شامل اندازه‌گیری مقاومت فشاری نمونه‌ها و همچنین میزان انبساط بتن در اثر جذب رطوبت می‌باشد. لازم به ذکر است که در ساخت نمونه‌ها تاثیر جایگزین کردن ماسه به جای ریزدانه و همچنین اثر افزودنی‌هایی نظیر میکروسیلیس و فوق روان‌کننده نیز تا حدودی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

کلید واژه‌ها: بتن سبک سازه‌ای، سنگدانه‌های طبیعی، مقاومت فشاری، افزودنی‌های شیمیایی، مصالح سنگی

مقدمه:

یکی از اصلی ترین مشکلات در طراحی و اجرای ساختمانها، وزن قابل توجه بار مرده که عمدتاً ناشی از وزن سقفها و دیوارهای جدا کننده است، می باشد. بدیهی است استفاده از مصالح سبک موجب کم شدن بار مرده و در نتیجه کاهش وزن تیرها، ستونها و شالوده ها می گردد که در نهایت به اقتصادی شدن طرح منجر خواهد شد. با توجه به اهمیت موضوع تاکنون تحقیقات فراوانی برای تهیه بتن سبک در جهان صورت گرفته است.

بتن های سبک را می توان به سه دسته کلی بتن های دانه سبک، بتن های کفی یا اسفنجی و بتن های بدون ریز دانه تقسیم بندی نمود که در ساخت این نوع بتن ها می توان از افزودنی های شیمیایی نیز استفاده کرد

بتن های سبک از لحاظ کاربرد به دو دسته کلی بتن های سبک سازه ای و غیر سازه ای تقسیم می شوند: بتن های سبک سازه ای طبق آیین نامه بتن ایران (آبا) باید مقاومت فشاری ۲۸ روزه ای (نمونه استوانه ای استاندارد) بیشتر از ۱۶۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع داشته باشند. اما بتن های دسته دوم (غیر سازه ای) اغلب جهت ساخت دیوارهای جدا کننده، شیب بندی بامها، کف سازیها، تیغه بندی های عایق صوت و غیره مورد استفاده قرار می گیرند.

طرح اختلاط نمونه ها

در طرح اختلاط، از روش مورد توصیه ACI-313 (بخش مربوط به بتن دانه سبک) استفاده شده است. دانه بندی مورد استفاده بنا به پیشنهاد این توصیه، بر اساس ضوابط ASTM C-33 بوده است. جهت طرح اختلاط مراحل زیر دنبال شده است: تخمین مقدار مناسب اسلامپ

مقدار مناسب اسلامپ با توجه به نوع کار از جدول شماره ۱ انتخاب می شود، البته باید توجه داشت که مخلوطهای بتن با کمترین اسلامپ که در عین حال امکان بتن ریزی به شکل مناسب را فراهم می آورند باید انتخاب شوند. در این حالت اسلامپ بتن ۶۰ میلیمتر انتخاب گردیده است.

جدول ۱ (انتخاب مقدار مناسب اسلامپ)

اسلامپ (mm)		موارد اجرایی مختلف (انواع سازه)
حداقل	حداکثر	
۲۵	۷۵	پی های دیوار و پی های مجزای مسلح
۲۵	۷۵	پی های مجزا، صندوقچه ها، و دیوارهای زیرسازه ای غیر مسلح
۲۵	۱۰۰	تیرها و دیوارهای مسلح
۲۵	۱۰۰	ستونهای ساختمانی
۲۵	۷۵	روسازیهای و دالها
۲۵	۵۰	بتن حجیم

انتخاب بزرگترین اندازه سنگدانه

سنگدانه هایی با اندازه اسمی بزرگتر حجم بیشتری در واحد حجم بتن دارند، بنابراین نیاز به ملات کمتری داشته و لذا اقتصادی تر می باشند. البته باید توجه داشت در هر حالتی بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه ها نباید از یک پنجم کمترین فاصله بین دو وجه قالبها یا یک سوم ضخامت دالها و یا سه چهارم کمترین فاصله بین میلگردها بزرگتر شود. در بتن دانه سبک باید توجه داشت که استفاده از دانه های درشت سبب می شود بتن تا حدی به علت مقاومت کمتر این نوع مصالح و تا حدی در نتیجه سست شدن زمینه دور مصالح ضعیف گردد. با حذف مصالح درشت دانه در بتن دانه سبک مقاومت بالا رفته ولی چگالی افزایش

می‌یابد، برای مثال در مورد بتن سبک ساخته شده با دانه‌های لیکا (رس منبسط شده) اگر حداکثر اندازه دانه‌ها از حد ۲۵ میلی‌متر به ۱۶ میلی‌متر کاهش یابد مقاومت بتن ممکن است تا ۳۰ درصد افزایش یابد. [۸ و ۴] در این مقاله با توجه به بخش ۶ از ASTM C-33 حداکثر اندازه‌ها به ۱۰ میلی‌متر محدود شده است و در مورد دانه‌بندی این مصالح نیز از همین استاندارد استفاده شده است.

تخمین آب اختلاط و مقدار هوای محبوس

مقدار آب مورد نیاز برای ایجاد یک اسلامپ مشخص عمدتاً به سه عامل: بزرگترین اندازه اسمی، شکل و بافت سنگدانه‌ها و دانه‌بندی بستگی دارد. مقادیر تخمینی آب اختلاط مورد نیاز برای بتن‌های بدون افزودنی حباب هوا ساز (هوازایی نشده) در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مقدار آب در واحد حجم بتن برای بزرگترین اندازه اسمی مشخص شده سنگدانه، (kg/m^3)

اسلامپ (mm)	۹/۵	۱۲/۵	۱۹	۲۵	۳۷/۵	۵۰	۷۵	۱۵۰
بتن هوازایی نشده								
۵۰ تا ۲۵	۲۰۷	۱۹۹	۱۹۰	۱۷۹	۱۶۶	۱۵۴	۱۳۰	۱۱۳
۷۵ تا ۱۰۰	۲۲۸	۲۱۶	۲۰۵	۱۹۳	۱۸۱	۱۶۹	۱۴۵	۱۲۶
۱۵۰ تا ۱۷۵	۲۴۳	۲۲۸	۲۱۶	۲۰۲	۱۹۰	۱۷۸	۱۶۰	—
مقدار تقریبی هوای محبوس در بتن هوازایی نشده، بر حسب درصد	۳	۲/۵	۲	۱/۵	۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲

انتخاب مقدار سیمان

مقدار سیمان مورد نیاز به منظور مقاومت ثابت بتن، بسته به انواع مختلف دانه‌های مصرفی متغیر است و تنها می‌تواند به وسیله مخلوط‌های آزمایشی تهیه شده با مصالح معین و با استفاده از یک دانه‌بندی مشخص دقیقاً تعیین شود. در اصل این مقدار سیمان برای مقاومت ثابت بتن به مقاومت و مدول تغییر شکل دانه‌های مصرفی و همچنین مقدار آب آزاد لازم برای کارایی مشخص، بستگی دارد. برای اطمینان از حصول کارایی مناسب، دوام، حفاظت از آرماتورها و به منظور چسبندگی مناسب بتن و آرماتور، باید دقت شود که مقدار سیمان از عیار ۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن کمتر نباشد [۱ و ۲].

با اضافه کردن سیمان، مقاومت بتن سبک افزایش می‌یابد، اما نه به مقداری که مقاومت در بتن معمولی افزوده می‌شود. در بتن معمولی با افزایش مقدار ۱۰ درصد سیمان، در حدود ۱۵ درصد به مقاومت بتن بدست آمده افزوده می‌شود، در صورتی که برای بتن سبک با افزایش ۱۰ درصد سیمان، این رقم (افزایش مقاومت بتن) به ۵ تا ۱۰ درصد یا حتی کمتر کاهش می‌یابد [۳]. البته باید توجه داشت که استفاده از سیمان به میزان زیاد باعث بوجود آمدن مشکلاتی نظیر افزایش انقباض ناشی از خشک شدن، افزایش انبساط ناشی از جذب آب، افزایش دقیق‌تر مقدار خزش و غیره می‌گردد. بنابراین ضروری است که میزان حداکثر سیمان مصرفی از ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن تجاوز ننماید [۲]. در این مقاله با توجه به اینکه سنگدانه‌های سبک یافت شده، دارای مقاومت فشاری کمتری نسبت به خمیر سخت شده سیمان بوده‌اند، سعی شده است از حداکثر مقدار سیمان البته با توجه به محدودیت ذکر شده استفاده شود.

تخمین مقدار سنگدانه

جهت تخمین مقدار سنگدانه‌ها از روش حجمی که دقیق‌تر از روش وزنی می‌باشد، (خصوصاً در مورد مصالح سبک) استفاده شده است. در این روش فرمول زیر بکار گرفته شده است:

(حجم سیمان مصرفی + حجم تقریبی هوای محبوس + حجم آب) - حجم بتن = حجم سنگ دانه
به عنوان مثال، اگر با توجه به جدول شماره ۲ میزان آب ۲۲۰ لیتر و مقدار تقریبی هوای محبوس ۳ درصد انتخاب شده باشد و سیمان مصرفی با توجه قسمت (د) ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب باشد خواهیم داشت:

$$(3 = \text{چگالی سیمان}) \quad \text{حجم سنگدانه} = 1 - \left(\frac{0}{22} + \frac{0}{3} + \frac{0.5}{3} \right) = 0.583 \text{ m}^3$$

اگر وزن مخصوص دانه‌ای سنگدانه‌ها را در حالت اشباع با سطح خشک (SSD) برابر با γ فرض شود، وزن سنگدانه‌ها از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\gamma \times \text{حجم سنگدانه‌ها} = \text{وزن سنگدانه}$$

اصلاحات مربوط به رطوبت سنگدانه‌ها

اگر مقدار جذب آب سنگدانه‌ها که معمولاً به وسیله یک روز غرقاب کردن سنجیده می‌شود بیش از تقریباً ۱ درصد باشد ممکن است به علت کاهش آب اختلاط، نسبت آب به سیمان موثر کاهش یابد. در چنین حالتی سنگدانه‌ها قبل از اختلاط باید ۳۰ دقیقه در آب قرار داده شوند. مقدار جذب آب برابر با مقدار آب موجود در حفره‌های سنگدانه‌هاست. وقتی که سنگدانه‌ها به مدت ۲۴ ساعت طبق ASTM C127 و ASTM C128 در آب قرار داده باشند، برای سنگدانه‌های با جذب بالاتر از ۱ درصد ASTM C192 آماده سازی سنگدانه را (خیس کردن آنها در صورت نیاز) جهت رساندن رطوبت کل سنگدانه‌ها در حد مقدار جذب آب آنها یا بیشتر، ضروری می‌داند. اگر مقدار رطوبت کل از مقدار جذب بیشتر شود لازم است مقدار سنگدانه‌ها و همچنین آب اختلاط تنظیم شوند. نتایج آزمایش‌هایی که بر روی سنگدانه‌های یافت شده انجام شد، نشان دادند که مقدار جذب آب سنگدانه‌ها بعد از ۲۴ ساعت کمتر از ۱ درصد می‌باشد.

استفاده از ماسه طبیعی به جای ریز دانه

ماسه طبیعی را اغلب به منظور کارایی بهتر، کاهش انقباض ناشی از خشک شدن، افزایش مقاومت بتن و یا به علت صرفه جویی بیشتر در مصرف مصالح سبک، به درشت دانه‌های سبک می‌افزایند. البته اضافه کردن ماسه باعث افزایش وزن مخصوص بتن سبک خواهد شد. برای نمونه با جایگزین کردن حدود ۱۰ درصد حجم ماسه به جای ریز دانه‌های سبک در حدود ۱۰۰ کیلوگرم در متر مکعب به وزن مخصوص افزوده می‌شود و همزمان مدول تغییر شکل ۲۰ درصد افزایش می‌یابد [۳].
یادآوری می‌شود که جایگزین کردن ماسه طبیعی به جای مقداری از ریز دانه‌های سبک، مقاومت بتن بدست آمده را افزایش می‌دهد. این افزایش مقاومت به دو دلیل زیر قابل توجیه است:

- ۱- جذب آب در ریز دانه‌های سبک با سطح زبر بیشتر از دانه‌های با سطح صاف و گرد (ماسه) صورت می‌گیرد در نتیجه با استفاده از ماسه به جای ریز دانه سبک، نسبت آب به سیمان کاهش یافته و مقاومت افزایش می‌یابد
- ۲- ملات ماسه سیمان مقاوم‌تر از ریز دانه سبک و سیمان است (ماسه مقاوم‌تر از ریز دانه سبک است)
وقتی ماسه طبیعی به عنوان ریز دانه به کار می‌رود، باید از به کار بردن ماسه درشت به ابعاد بیشتر از ۲ میلیمتر پرهیز نمود، زیرا ماسه ریزتر برای بهبود کارایی مناسب‌تر می‌باشد
حداکثر ماسه مصرفی به ۲۰ تا ۳۰ درصد حجم مصالح محدود می‌شود، چون به کارگیری مقادیر بیشتر باعث افزایش چگالی بتن می‌شود [۳].

افزودنی های شیمیایی

در مورد استفاده از مصالح سبک در ساخت بتن باید توجه داشت که مقاومت مصالح درشت دانه باید حداقل ۵۰ درصد مقاومت بتن باشد. اگر در نظر باشد بتنی با مقاومت های بیشتر از مقاومت سبک دانه های معینی بسازیم، قسمتی از مصالح، در یک نقطه مشخص، قبل از اینکه بار به مقاومت بتن برسد می شکند. واضح است که بعد از این اتفاق، نیروی وارد بر ملات بیشتر شده و بنابراین به ملاتی با مقاومت خیلی بیشتر از مقاومت بتن نیاز می باشد [۳] برای بالا بردن مقاومت ملات، یک راه حل، استفاده از میکروسیلیس است. این ماده از پوزولانهای بسیار فعال است و در کسب مقاومت بتن حتی در سنین اولیه نقش مهمی دارد. این خاصیت به دلیل کاهش حجم منافذ بزرگ است که سبب ایجاد بافت و ساختار متراکم بتن می شود. امروزه ثابت شده است که با کنترل کمیت و کیفیت اجزاء بتن دارای میکرو سیلیس (مانند داب، بندی سنگدانه ها، نوع و مقدار روان کننده و غیره) می توان مقاومتی در حدود ۲۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع نیز به دست آورد.

از آنجایی که میکرو سیلیس فوق العاده ریز دانه است (اندازه ذرات حدود یک صدم اندازه ذرات در سیمان پرتلند می باشد) وقتی که با بتن مخلوط می گردد، ویسکوزیته بتن افزایش یافته و از کارایی آن کاسته می شود، در نتیجه اسلامپ بتن کاهش می یابد. بنابراین بر مقدار آب مورد نیاز برای کسب کارایی معین افزوده می گردد. برای جلوگیری از این پدیده می توان از ماده افزودنی فوق روان کننده استفاده نمود. به عبارت دیگر استفاده از میکرو سیلیس امکان پذیر نیست مگر آنکه فوق روان کننده به کار برده شود. فوق روان کننده ها از مواد کاهنده آب هستند که برای ایجاد یک کارایی معین میزان آب بتن را بین ۲۵ تا ۳۵ درصد کاهش داده و مقاومت یک روزه را بین ۵۰ تا ۷۰ درصد افزایش می دهند [۵ و ۶ و ۷].

نتایج مطالعات آزمایشگاهی

آزمایشهای انجام شده بر روی دانه ها

شناخت دانه ها از لحاظ زمین شناسی

مصالح نوع اول از سنگدانه زیر تشکیل شده است.

سنگ از مینرالهای اصلی پلاژیوکلاز، هورنبلند و کوارتز و کانیهای فرعی اوپک و آپاتیت تشکیل شده است و سنگ دارای قطعات لیتیک است. ترکیب قطعات لیتیک در حد واسیت است. اسم سنگ کریستال لیتیک توف می باشد اما تفاوت با سنگ نوع دوم در این است که این نوع سنگ حمل شده و دوباره رسوب گذاری شده است. (دگرگونی شدیدتر نسبت به مصالح نوع دوم) مصالح نوع دوم شامل سنگدانه زیر می باشد.

سنگ از مینرالهای اصلی پلاژیوکلاز، هورنبلند و کوارتز و کانیهای فرعی اوپک و آپاتیت تشکیل شده است و سنگ دارای قطعات لیتیک است. ترکیب قطعات لیتیک در حد واسیت است. اسم سنگ کریستال لیتیک توف می باشد.

اندازه گیری میزان جذب دانه ها

میزان جذب آب دانه ها در جدول شماره ۳ نشان داده شده است

جدول ۳- درصد جذب آب دانه ها

نوع مصالح	درصد آب جذب شده پس از ۵/۰ ساعت	درصد آب جذب شده پس از ۲۴ ساعت
۱	۱۲	۱۲/۵
۲	۱۱	۱۱/۸

اندازه گیری چگالی دانه‌ای مصالح

چگالی دانه‌ای مصالح در جدول زیر داده شده است

جدول ۴- چگالی دانه‌ای مصالح

حالت اشباع با سطح خشک	حالت خشک شده در هوا	نوع مصالح
۱/۳۵	۱/۲۸	۱
۱/۴۳	۱/۳۷	۲

تعیین میزان رطوبت دانه‌ها

پس از اندازه گیری میزان رطوبت دانه‌ها از حالت خشک شده در هوا به حالت خشک شده در گرمچال (به مدت ۲۴ ساعت) نتایج زیر حاصل شد.

۱. $W = 4/5\%$: مصالح نوع ۱

۲. $W = 3/4\%$: مصالح نوع ۲

آزمایشهای انجام شده بر روی نمونه‌های بتنی

اندازه گیری مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی (مکعبی $10 \times 10 \times 10$ سانتی متر)

نتایج این آزمایشها در جدول شماره ۵ ارائه شده است. لازم به ذکر است که منظور از نمونه P_i نمونه‌های ساخته شده با مصالح نوع اول و T_i نمونه‌های ساخته شده با مصالح نوع دوم می‌باشد، همچنین حالت‌های دانه‌بندی در گراف شماره ۱ نشان داده شده است. (دانه‌بندی حالت ۳ شبیه به حالت ۲ است، با این تفاوت که کلیه مصالح زیر الک نمره ۶۰ می‌باشند) وزن مخصوص نمونه‌ها حدود ۱۷۵۰ کیلوگرم در متر مکعب می‌باشد.

جدول ۵- مشخصات و مقاومت فشاری نمونه‌ها

نام نمونه	حالت دانه‌های مصرفی	حالت دانه‌بندی	مقدار سیمان kg/m^3	مقدار آب Lit/m^3	مقدار ماسه kg/m^3	مقدار افزودنی kg/m^3	مقاومت فشاری kg/cm^2	
							۷ روزه	۲۸ روزه
P_1	SSD	۲	۳۰۰	۱۵۰	۳۰۰	—	۷۵	۱۲۵
P_2	SSD	۲	۴۵۰	۲۰۰	۳۲۰	—	۱۴۰	۲۰۰
P_3	SSD	۲	۴۵۰	۱۸۰	۲۶۰	میکروسیلیس ۷۰ فوق روان‌کننده ۶۰	۲۴۵	۳۰۰
P_4	SSD	۱	۴۵۰	۲۱۰	—	—	۱۴۵	۱۶۳
P_e	SSD	۱	۴۵۰	۲۱۰	—	—	۱۳۰	۱۵۵
P_A	خشک در هوا	۳	۴۵۰	۲۹۰	—	میکروسیلیس ۷۰ فوق روان‌کننده ۶۰	۲۰۰	۳۵۰
T_1	SSD	۲	۳۰۰	۱۴۰	—	—	۱۳۰	۱۹۰
T_2	SSD	۲	۵۰۰	۲۳۰	۳۲۰	—	۲۳۰	۳۲۵
T_3	خشک در هوا	۲	۵۰۰	۲۶۰	۳۲۰	—	۲۵۰	۳۱۰
T_e	SSD	۱	۴۵۰	۲۰۰	—	—	۲۰۰	۳۱۵

اندازه‌گیری میزان انبساط در اثر جذب آب

میزان جذب آب به طور متوسط برای نمونه‌های P_i ۳ درصد و برای نمونه‌های T_i ۲ درصد اندازه‌گیری شده است

جنبه‌های اقتصادی بتن سبک

مهمترین قضاوت درباره اقتصادی بودن بتن سبک، مقایسه آن با بتن ساخته شده از شن و ماسه معمولی می‌باشد. می‌توان برای یک سازه معین دو طرح جداگانه، یکی با بتن معمولی و دیگری با بتن سبک تهیه نمود و سپس هزینه هر طرح را برآورد نمود و بین این دو، مقایسه به عمل آورد. در بسیاری از موارد علی‌رغم اینکه بتن سبک گران‌تر از بتن معمولی است، اما قیمت ساختمان ساخته شده با آن کمتر از حالت استفاده از بتن معمولی می‌شود. امتیازهای اقتصادی بتن سبک را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود، یکی امتیازهای ناشی از بار مرده کمتر و دیگری امتیازهای ناشی از خواصی نظیر: عایق‌بندی حرارتی بیشتر، مقاومت در مقابل آتش و یخ‌زدگی و غیره، به علاوه اینکه در مورد قطعات پیش ساخته‌ای که در آنها از بتن سبک استفاده شده، وزن کم تاثیر بسزایی در هزینه‌های حمل و نقل خواهد گذاشت.

با توجه به اینکه در بتن سبک این تحقیق، مصالح طبیعی به کار برده شده‌اند، یک متر مکعب این بتن از قیمت تقریباً یکسانی نسبت به بتن معمولی برخوردار می‌باشد. لذا با استفاده از این بتن می‌توان صرفه جویی قابل توجهی در سازه‌ها و قطعات ساخته شده با آن به عمل آورد.

تشکر و قدردانی

از آقای دکتر محسن آروین از بخش زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان و سرکار خانم مهندس مهین وزیری نسب از آزمایشگاه فنی مکانیک خاک استان کرمان بواسطه همکاری و مساعدت بی‌دریغ تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع و مأخذ

[1] Aurich, H. "Short Handbook on Lightweight Concrete" Wiesbaden, Berlin, Bauverlag Gmbh 1971.

[۲] نویل، آ.ام، "بتن شناسی (خواص بتن)"، ترجمه هرمز فامیلی، جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۶۹.

[۳] فامیلی، هرمز. حک، بهروز "بتن دانه سبک". جهاد دانشگاهی دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۶۶

[۴] "طرح اختلاط بتن طبق آئین نامه آمریکا"، ترجمه دکتر علی‌رضا باقری و محمود ایراجیان

[۵] "مجموعه مقالات سمینار بین المللی کاربرد میکروسیلیس در بتن". مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،

[۶] باقری، علیرضا، "مواد جایگزین سیمان در بتن". مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۷.

[۷] ماجدی اردکانی، محمد حسین، "ترکیبات و ویژگیهای فوق روان کننده بتن"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۷۴.

[۸] تاییدی، کامبیز، "لیکابتن، بتن سبک با استفاده از پوکه صنعتی"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۶۶.