همایش پژوهش های نوین در علوم و فناوری
Conference on Recent Research in Science and Technology

امکان‌سنجی ساخت بتن سبک با استفاده از سبکدانه ورمیکولیت

حسن زارعی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

hnzareei@gmail.com

سیدفتح اله ساجدی*

دانشیار گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

**: Corresponding author, Email: f_sajedi@yahoo.com, sajedi@iauahvaz.ac.ir*

چکیده

در این تحقیق با مطالعات آزمایشگاهی امکان‌سنجی ساخت بتن سبک با کاربرد سبکدانه ورمیکولیت بررسی شد. به این منظور ۱۸ طرح اختلاط با نسبت‌های آب به سیمان ۰/۳ و ۰/۴ ساخته شدند. سپس بر روی نمونه‌های مکعبی استاندارد در سنین ۷ و ۲۸ روزه با عمل‌آوری در آب، آزمایش مقاومت فشاری انجام گردید. هم‌چنین آزمایش مقاومت خمشی سه نقطه‌ای استاندارد بر روی نمونه‌های تیر استاندارد عمل‌آوری شده به مدت ۲۸ روز در آب، صورت گرفت. آزمایش ضریب ارتجاعی استاتیکی نیز بر روی نمونه‌های استوانه‌ای استاندارد که به مدت ۲۸ روز عمل‌آوری شدند، انجام شد. آزمایش‌های اسلامپ و وزن مخصوص برای تمامی طرح‌های بتن نیز انجام شدند و نشان دادند که وزن مخصوص بتن کاهش پیدا نمود. بر اساس نتایج حاصله مشاهده شد که با افزایش درصد سبکدانه ورمیکولیت ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن افزایش داشته، اما مقاومت‌های فشاری و خمشی کاهش داشتند. هم‌چنین نتایج نشان داد که با جایگزینی سبکدانه ورمیکولیت با درصدی از سنگدانه‌ها می‌توان به بتن سبک در محدوده وزن مخصوص خشک ۱۹۳۱ تا ۱۹۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری از ۱۷/۱ تا ۱۸/۵ مگاپاسکال دست‌یافت.

کلمات کلیدی: بتن سبک، سبکدانه ورمیکولیت، خواص مکانیکی بتن، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، ضریب ارتجاعی استاتیکی.

۱. مقدمه

در آغاز سده حاضر، بعد از گذشت حدود نیم‌قرن از ابداع بتن‌آرمه استفاده از آن در صنعت ساختمان به‌طور جدی مطرح گردید و به‌سرعت گسترش یافت. استفاده از بتن‌آرمه در صنعت ساختمان نشان داد که با بهره‌گیری از قابلیت‌های بسیار بتن، می‌توان با آن ساختمان‌های زیبا و مقاوم بنا نمود، پل‌های بسیار بزرگ ساخت، تأسیسات ذخیره‌سازی برای محصولات کشاورزی و مواد و فراورده‌های صنعتی احداث کرد، رویه‌های جاده‌ها و فرودگاه‌ها را ساخت و برای حفاظت انسان در مقابل امواج و تشعشات مختلف از آن بهره گرفت. طی یک سده چنان پیشرفت‌های شگرفی در مصالح و فن‌آوری بتن حاصل شده است که علی‌رغم اینکه در مواردی کاربرد نادرست بتن توسط افراد ناآگاه و یا سودجو، از اعتبار بتن کم کرده، اما در حال حاضر همگان معتقدند که بتن ماده ساختمانی مطلوب، کلیدی و بلامنازع قرن آینده است و با نیازهای روز، به‌خصوص از دیدگاه حفظ و حراست محیط زیست انطباق دارد. بتن سبک عبارت است از بتنی که جرم مخصوص آن به‌طور محسوسی کمتر از جرم مخصوص بتنی است که با سنگدانه‌های طبیعی یا شکسته ساخته می‌شود[۱]. در این تحقیق، سبکدانه ورمیکولیت به‌عنوان

Archive of SID
www.SID.ir

جایگزین در صدی از سنگدانه‌ها ا ستفاده شده و تأثیر آن بر خواص مکانیکی بتن شامل مقاومت ف شاری، مقاومت خم شی و هم‌چنین ضریب ارتجاعی ا ستاتیکی برر سی شده ا ست. از دلایل توجیهی ا ستفاده از سبکدانه ورمیکولیت جهت تولید بتن سبک، وجود منابع معدنی ورمیکولیت در ایران و ضرورت تولید دانش فنی در باره بتن ساخته شده به وسیله سبکدانه ورمیکولیت اشاره نمود. تحقیقات جوانیولیو و بینگ چن[1] ن شان داده که بتن سبک ساخته شده با م صالح سبک[2] دارای محدوده وزن مخ صوص ۱۸۰۰ – ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و محدود مقاومتی ۲۵-۱۰ مگاپاسکال هستند که برای مصارف ساز ه‌ای مناسب می‌باشند [۲]. بررسی‌های نوشچنو و ویتکومب[3] نشان داده که با استفاده از سبکدانه‌های سیلیسی منبسط‌شده[4] با مصرف ۵۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب سیمان و میکرو سیلیس تا ٪۲۰ وزن سیمان می‌توان به مقاومتی معادل ۷۰/۵ مگاپا سکال با وزن مخ صوص ۱۸۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب دست یافت[۳]. نتایج تحقیق حسین[5] نیز نشان داد که کاربرد پوزولان طبیعی پومیس در سن ۱۸ روزه باعث کاهش مقاومت ف شاری می شود و با افزایش میزان جایگزینی پومیس تا ٪۳۰، میزان کاهش مقاومت ف شاری بتن بیش‌تر می‌شود [۴]. دباغ و همکاران با استفاده از مصالح سبکدانه اسکریا در معدن قروه استان کردستان توانستند بتن سبک سازه‌ای با وزن مخ صوص ۱۷۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت ف شاری ۱۷ مگاپا سکال، مقاومت ک ش شی ۲/۹ مگاپا سکال و مقاومت خمشی ۳/۲ مگاپاسکال دست یابند[۵]. رمضانیان‌پور در پژوهش خود در مورد بتن سبک به این نتایج دست یافت که به‌طورکلی ن سبت مقاومت ف شاری در سن ۷ روزه به سن ۲۸ روزه برای بتن‌های نیمه سبکدانه و به‌خ صوص بتن‌های تمام سبکدانه در مقایسه با بتن‌های مرجع متناظر مقادیر بیش‌تری است. هم‌چنین با اضافه کردن ماسه طبیعی تأثیر مطلوب‌تر بر مقاومت حاصل شده که دلیل آن هم می‌تواند مقاومت خرد شدگی بهتر و جذب آب کم‌تر بتن‌های حاوی ماسه طبیعی بیش‌تر باشد[۶]. مدندو ست و همکاران در برر سی خود بر ا ستفاده از زئولیت بر خواص بتن تازه خودتراکم دریافتند که ا ستفاده از زئولیت باعث افزایش میزان مصرف کاهنده شدید آب‌شده و با افزایش زمان انتقال، جریان‌پذیری بتن خودتراکم به‌شدت کاهش‌یافته و در عین حال این پودر باعث حفظ لزجت بتن خودتراکم می‌شود و خاصیت پرکنندگی مطلوب در بتن خودتراکم ایجاد می‌کند[۷]. رمضانیان‌پور و همکاران در بررسی آثار مواد پوزولانی بر دوام بتن خودتراکم به این نتیجه رسیدند که امکان استفاده از پومیس به‌عنوان پوزولان در بتن خودتراکم وجود دارد و د ست‌یابی به چنین بتنی با کیفیت مطلوب، با توانایی برآورده ساختن الزامات بتن خودتراکم ازنظر شرایط بتن تازه (مانند قابلیت و سرعت تغییر شکل منا سب، بدون بروز جدا شدگی و آب‌انداختگی) میسر است[۸]. باقریان در تحقیق خود با توجه به این‌که وزن مخصوص پومیس بیش‌تر از سایر پوکه‌های معدنی و مصنوعی می‌باشد، اما به دلیل وجود بیش از ٪۶۰ سیلیس علاوه بر بهبود نتایج مقاومت فشاری با بتن خودتراکم نیز سازگارتر است، در نتیجه هم در بخش سرعت اجرایی و هم در بخش مقاوم‌سازی و کاهش هزینه‌ها کاملا اجرایی و مقرون به‌صرفه می‌باشد[۹]. یزدانی و همکاران با بررسی استفاده از بتن سبک سازه‌ای در ساختمان‌های مختلف به این نتیجه دست یافتند که با استفاده از بتن سبک می‌توان بار مرده و نیروهای لرزه‌ای که به‌طور مستقیم به سازه وارد می‌شوند را کاهش داد. هم‌چنین باعث کاهش بار وارد بر فندا سیون و کوچک‌تر شدن ابعاد آن می شود؛ و در نهایت باعث سهولت در حمل‌ونقل قطعات پیش ساخته و م صالح م صرفی تولید شده با بتن سبک خواهد شد[۱۰]. ح سینی و همکاران طرح اختلاط‌های متفاوت با در صدهای مختلفی از ن سبت آب به مواد سیمانی و میزان سبکدانه در کل حجم بتن، ساخته و آزمایش‌های خواص مکانیکی بتن شامل مقاومت‌های فشاری، ک ش شی، خم شی و ضریب ارتجاعی ا ستاتیکی را انجام دادند؛ نتایج حاکی از د ست‌یابی به مقاومت‌های بالای ۵۰ مگاپا سکال با وزن مخصوص در محدوده ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد[۱۱]. خالو در پژوهش خود در مورد بتن سبک به این نتایج دست‌یافت که به‌طورکلی نسبت مقاومت فشاری در سن ۷ روزه به سن ۲۸ روزه برای بتن‌های نیمه‌سبکدانه و به‌خصوص بتن‌های تمام سبکدانه در مقایسه با بتن‌های مرجع متناظر مقادیر بیش‌تری است. هم‌چنین با اضافه کردن ماسه طبیعی تأثیر مطلوب بر مقاومت حاصل شده است که دلیل آن‌هم می‌تواند مقاومت خرد شدگی بهتر و جذب آب کم‌تر بتن‌های حاوی ماسه

[1] Juanyu Liu & Bing Chen
[2] Expanded Polystyren (EPS)
[3] Norok shchenov & whit comb
[4] Expanded Silicate Aggregates (ESA)
[5] Hussian

www.SID.ir

طبیعی بیش‌تر باشد[۱۲]. در تحقیق دیگری که توسط جی و همکاران[۶] انجام گردید، خصوصیات نانوسیلیس بر روی تراوش و نفوذپذیری بتن مورد بررسی قرار گرفت و کم‌ترین میزان تراوش در نمونه‌ای که بیش‌ترین میزان سیمان، کم‌ترین نسبت آب به سیمان و بیش‌ترین میزان نانوسیلیس را دارا بود، مشاهده شد[۱۳]. ماهوتیان و همکاران در زمینه تأثیر الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن بر خواص مکانیکی بتن تحقیقاتی را انجام دادند که نتایج نشانگر تأثیر نسبتا کم الیاف پلی‌پروپیلن در بهبود مقاومت‌های خمشی و کششی و کاهش مقاومت فشاری در مقایسه با الیاف فولادی است[۱۴].

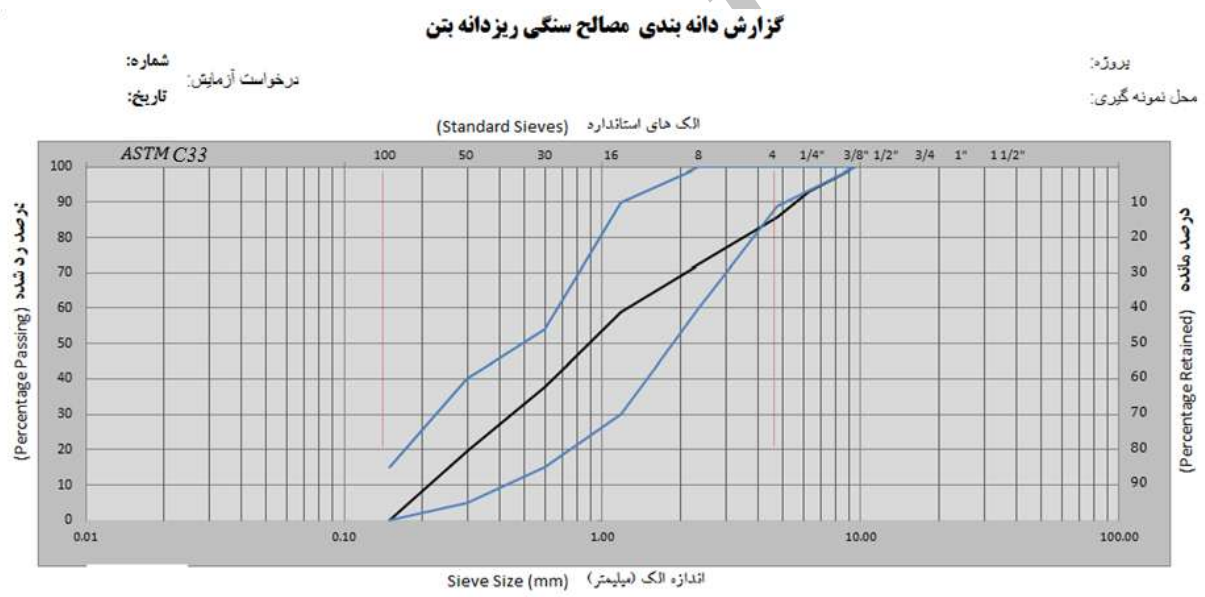
۲-۱- مشخصات مصالح مصرفی

۲-۱-۱- سنگدانه‌های مورداستفاده

در طرح اختلاط‌ها و ساخت نمونه‌ها از شن رودخانه‌ای با دانه‌بندی یکنواخت و حداکثر اندازه دانه ۱۹ میلی‌متر، وزن مخصوص ۱۵۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب با جذب آب ٪۸/۹ و ماسه رودخانه‌ای به وزن مخصوص ۱۶۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب، جذب آب ٪۱۶/۳ و مدول نرمی ۲/۹۶ و هم‌چنین سبکدانه ورمیکولیت با وزن مخصوص ۱۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب و دانه‌بندی یکنواخت استفاده گردید. دانه‌بندی شن و ماسه مطابق بر استاندارد ASTM C33[۷] بوده و از معدن شهرستان دزفول تهیه شده است.

۲-۱-۲- سیمان

سیمان استفاده‌شده در این پژوهش، از سیمان پرتلند نوع ۲ خوزستان بوده، که خواص آن مطابق با استاندارد شماره ۳۸۹ ملی ایران می‌باشد. در این تحقیق، تجزیه شیمیایی برای سیمان، با استفاده از دستگاه طیف‌سنج فلوئورسانس پرتو ایکس[۸] موجود در آزمایشگاه شرکت صنایع فولاد خوزستان انجام گرفته است. اجزای شیمیایی سیمان مصرفی در تحقیق به شرح جدول ۱ می‌باشد.

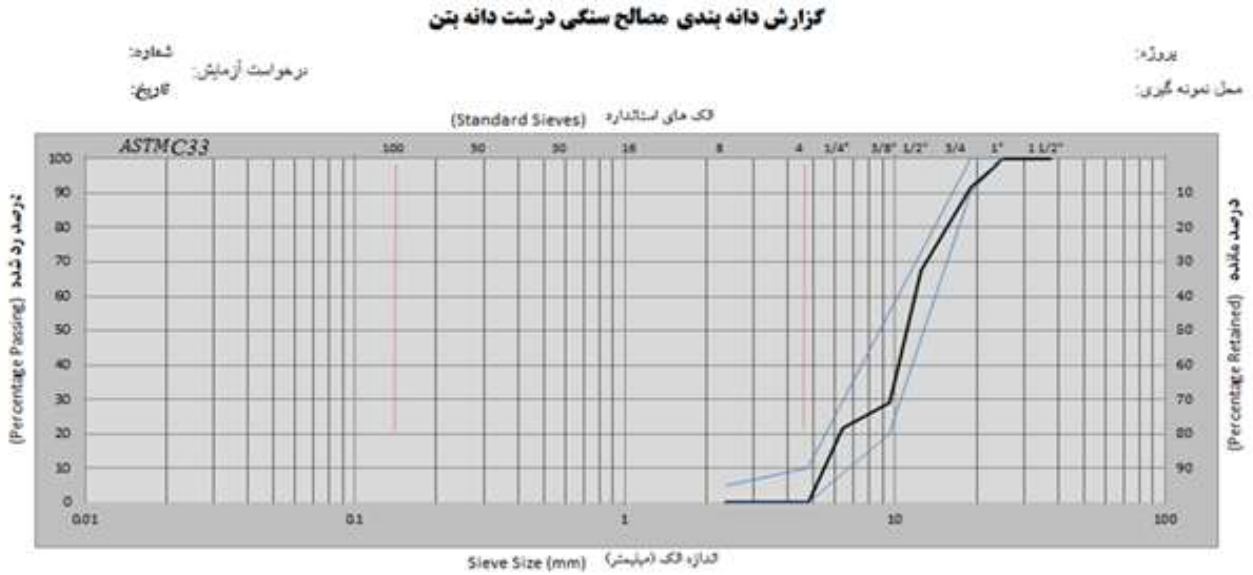


نمودار ۱- منحنی دانه‌بندی ریزدانه‌های مصرفی در بتن

[1] Ji
[2] American Society for Testing and Materials (ASTM)
[3] X-Ray Fluorescence (XRF)

www.SID.ir

نمودار ۲- منحنی دانه‌بندی سبکدانه مصرفی در بتن



نمودار ۳- منحنی دانه‌بندی درشت‌دانه مصرفی در بتن

جدول ۱- اجزای شیمیایی سیمان مصرفی در تحقیق (٪)						
CaO	SiO_2	Al_2O_3	S	Fe_2O_3	MgO	P
۶۳/۶۵	۱۷/۱۶	۳/۶۴	۱/۹۴	۲/۷۷	۲/۶۷	۰/۰۴۵

۲-۱-۳- آب

آب استفاده شده در ساخت و عمل‌آوری طرح اختلاط‌ها و نمونه‌های بتنی، آب شرب شهر اهواز می‌باشد.

۲-۱-۴- سبکدانه ورمیکولیت

سبکدانه‌های ورمیکولیت استفاده شده در تحقیق از مجتمع معادن و کارخانجات انبساط ورمیکولیت ارسباران واقع در آذربایجان شرقی تهیه گردیدند.

www.SID.ir

جدول ۲- تجزیه شیمیایی ورمیکولیت استفاده شده در تحقیق									
اکسید	SiO_2	Al_2O_3	Fe_3O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	TiO_2	MnO
درصد	۳۸/۲۱	۱۵/۴۸	۱۳/۶	۴/۳۵	۱۸/۲۵	۰/۲۹	۰/۷	۱/۹۴	۰/۰۹۹

شکل ۱- نمایی از انواع سنگدانه‌های ورمیکولیت مصرفی در تحقیق

۲-۱-۵- فوق روان‌کننده

در این تحقیق از فوق روان‌کننده بر پایه پلی‌کربوکسیلات که از شرکت سراپوش شیمی تهیه شده و دارای مشخصات فنی در جدول ۳ می‌باشد، استفاده گردید.

جدول ۳- مشخصات فوق روان‌کننده مصرفی در تحقیق	
بر پایه استاندارد مرجع ASTM C494 TYPE F	
محصول شرکت	سراپوش شیمی
نام تجاری	SPC-N1
حالت فیزیکی	مایع
رنگ	طیفی از زرد تا قرمز (قهوه‌ای)
وزن مخصوص	۱/۱ گرم در سانتی‌متر مکعب در ۲۵ درجه سانتی‌گراد
اسیدیته (pH)	۶/۵
مقدار کلر	حداکثر ۷۰۰ ppm
مقدار نیترات	فاقد نیترات
پایه شیمیایی	پلی کربوکسیلات اتر باحالت نوترال
شرایط نگ‌داری	از دمای ۵+ تا ۳۵+
مدت نگهداری	حداکثر ۸ ماه
بسته‌بندی	در بشکه‌های ۲۲، ۳۳ و ۲۴۰ لیتری

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۲- طرح اختلاط، ساخت و عمل‌آوری

طرح اختلاط بتن‌های مرجع مطابق با جدول ۴ و بر اساس آیین‌نامه بتن آمریکا[1] انجام پذیرفته است. هم‌چنین سایر طرح اختلاط‌ها که مربوط به بتن سبک حاوی ورمیکولیت هستند، در جدول ۴ قابل مشاهده هستند. با توجه به جذب آب بالای سبکدانه ورمیکولیت به جهت حفظ روانی و رسیدن به اسلامپ موردنظر از فوق روان‌کننده بر پایه پلی‌کربوکسیلات استفاده شد. در این تحقیق، هدف بررسی جایگزینی سبکدانه‌های ورمیکولیت با درصدی از ریزدانه‌ها و درشت‌دانه‌های بتن می‌باشد. سبکدانه ورمیکولیت به‌صورت حجمی با درصدهای مختلف جایگزین ریزدانه و درشت‌دانه در بتن شده است. کلا ۱۸ طرح اختلاط در تحقیق استفاده گردید که جزئیات آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- جزئیات طرح اختلاط‌های بتن سبک تحقیق مطابق استاندارد ACI 211

شماره طرح	سیمان (kg)	نسبت آب به سیمان	آب (kg)	سنگدانه‌ها (kg)		اسلامپ (mm)	ریزدانه ورمیکولیت (kg - ٪)	درشت‌دانه ورمیکولیت (kg - ٪)	فوق روان کننده (٪)
				ماسه	شن				
Ref 1	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۸۵	NC	NC	۰/۴۵
Ref 2	۳۵۰	۰/۳	۱۰۵	۵۳۰	۷۸۰	۹۰	NC	NC	۰/۴۵
۱	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۶۵	۴/۷۶ – ۱۰	۷ - ۱۰	NC
۲	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۶۲	۴/۷۶ – ۱۰	۱۲/۱۵ – ۱۵	NC
۳	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۵۵	۷/۱۵ – ۱۵	۷ - ۱۰	NC
۴	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۵۰	۷/۱۵ – ۱۵	۱۲/۱۵ – ۱۵	NC
۵	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۴۳	۹/۵۳ – ۲۰	۱۷/۷ – ۲۵	NC
۶	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۳۶	۱۱/۹ – ۲۵	۱۷/۷ – ۲۵	NC
۷	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۱۰۵	۱۱/۹ – ۲۵	۱۷/۷ – ۲۵	۰/۴۵
۸	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۱۰۰	۱۱/۹ – ۲۵	۲۱/۳ – ۳۵	۰/۴۵
۹	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۹۷	۱۱/۹ – ۲۵	۲۴/۸ – ۳۵	۰/۴۵
۱۰	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۸۶	۱۶/۷ – ۳۵	۱۴/۲ – ۲۰	۰/۷
۱۱	۳۵۰	۰/۴	۱۴۰	۵۳۰	۷۸۰	۸۰	۱۶/۷ – ۲۵	۳۱/۹ – ۴۰	۰/۷
۱۲	۳۵۰	۰/۳	۱۰۵	۵۳۰	۷۸۰	۱۰۰	۱۱/۹ – ۲۵	۱۷/۷ – ۲۵	۰/۴۵
۱۳	۳۵۰	۰/۳	۱۰۵	۵۳۰	۷۸۰	۹۴	۱۱/۹ – ۲۵	۲۱/۳ – ۳۰	۰/۴۵
۱۴	۳۵۰	۰/۳	۱۰۵	۵۳۰	۷۸۰	۸۸	۱۱/۹ – ۲۵	۲۴/۸ – ۳۵	۰/۴۵
۱۵	۳۵۰	۰/۳	۱۰۵	۵۳۰	۷۸۰	۷۷	۱۶/۷ – ۳۵	۱۴/۲ – ۲۰	۰/۷
۱۶	۳۵۰	۰/۳	۱۰۵	۵۳۰	۷۸۰	۷۰	۱۶/۷ – ۳۵	۳۱/۹ – ۴۰	۰/۷

Ref 1 و Ref 2: بتن‌های مرجع؛ *: فوق‌روان‌کننده برحسب درصد وزنی عیار سیمان مصرفی است. ؛ NC : بتن فاقد سبکدانه‌های ریز و درشت

۳- آزمایش‌ها

۳-۱- آزمایش‌های بتن تازه

۳-۱-۱- آزمایش اسلامپ

[1] American Concrete Institute (ACI)

www.SID.ir

برای سنجش حالت بتن‌های تازه از آزمایش اسلامپ بر اساس استاندارد ASTM C143 استفاده شد. این آزمایش برای اندازه‌گیری لزجت مخلوط در حالت تازه مطرح می‌شود. این آزمایش به دلیل سادگی به‌طور وسیع در کارگاه‌های ساختمانی نقاط مختلف دنیا به‌کاربرده می‌شود. آزمایش اسلامپ کارایی بتن را نمی‌سنجد، ولی می‌توان آن را به‌صورت سنجشی از روانی بتن توصیف کرد و برای پی بردن به تغییرات در یکنواختی مخلوط بتن با نسبت‌های اسمی معین، بسیار مفید است.

۳-۱-۲- آزمایش وزن مخصوص

پس از آماده شدن مخلوط بتنی، اقدام به نمونه‌گیری از آن مطابق استاندارد ASTM C172 و جهت تعیین وزن مخصوص بتن تازه بر اساس استاندارد ASTM C138 گردید.

۳-۲- آزمایش‌های بتن سخت شده

۳-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری

نمونه‌های مکعبی استاندارد پس از عمل‌آوری در آب به مدت ۶ و ۲۷ روز مطابق استاندارد ASTM C511 از حوضچه عمل‌آوری خارج شدند و آزمایش تعیین مقاومت فشاری، با جک هیدرولیکی بتن شکن، با سرعت بارگذاری ۳ کیلونیوتن بر ثانیه، بر اساس استاندارد BS 188 بر روی نمونه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک انجام پذیرفت. هر طرح اختلاط در هر سن دارای سه نمونه بود، که نتایج نهایی میانگین مقاومت سه نمونه بر اساس استاندارد می‌باشند.

شکل ۳- انجام آزمایش مقاومت فشاری با استفاده از جک بتن‌شکن

۳-۲-۲- آزمایش مقاومت خمشی

نمونه‌های تیر استاندارد پس از ۲۷ روز عمل‌آوری در آب مطابق استاندارد ASTM C511 از حوضچه عمل‌آوری خارج شدند و آزمایش تعیین مقاومت خمشی، با استفاده از جک هیدرولیکی، با سرعت بارگذاری ۰/۹کیلونیوتن برثانیه، بر اساس استاندارد ASTM C78 به روش سه نقطه‌ای بر روی نمونه‌ها در حالت اشباع با سطح خشک انجام پذیرفت. هر طرح اختلاط در هر سن دارای دو نمونه بود که نتایج نهایی، مقاومت میانگین مقاومت دو نمونه بر اساس استاندارد می‌باشند.

۳-۲-۳- آزمایش ضریب ارتجاعی استاتیکی

برای انجام این آزمایش ابتدا باید نمونه استوانه‌ای استاندارد مناسبی از هر طرح اختلاط بتن سبک تهیه شود. سپس نمونه را که دستگاه کرنش‌سنج به آن متصل است، در روی قطعه فلزی پایین ماشین آزمون گذاشته و به‌دقت، محور نمونه در امتداد محور نیروی وارده (قسمت کروی در بالا) قرار داده شود.

www.SID.ir

شکل۵- نمایی از انجام آزمایش ضریب ارتجاعی استاتیکی نمونه‌های بتن

قرائت‌ها باید در شرایط زیر انجام شوند:

بار باید به‌طور مداوم و یکنواخت و بدون ضربه وارد گردد و سپس باید بدون قطع بارگذاری بار وارده و کرنش را در مراحل ذیل قرائت نمود:

الف- وقتی کرنش 50×10^{-6} می‌باشد.

ب- زمانی که بار وارده، برابر با ٪۴۰ بار نهایی است.

ضریب ارتجاعی استاتیکی براساس استاندارد ملی شماره ۵۲۵ ایران با دقت ۲۰۰ مگاپاسکال از رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.000050} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، E ضریب ارتجاعی استاتیکی برحسب مگاپاسکال، σ_2 ٪۴۰ حداکثر تنش وارده برحسب مگاپاسکال، σ_1 تنش وارده برحسب مگاپاسکال به ازاء کرنش برابر با 50×10^{-6} و ε_2 کرنش به ازاء ٪۴۰ حداکثر تنش وارده می‌باشند.

۴- نتایج و تفسیر داده‌ها

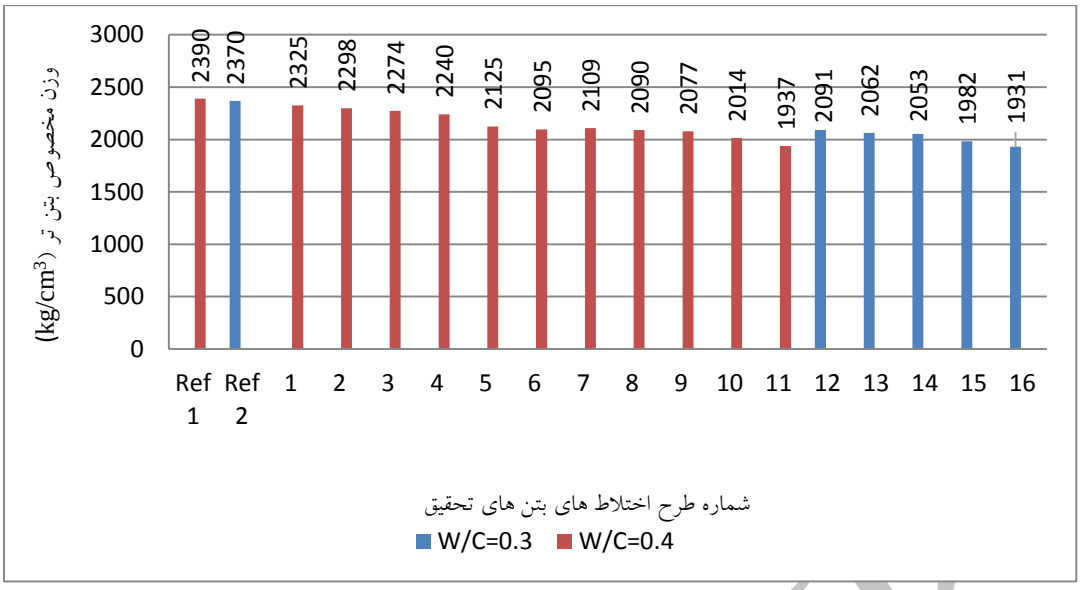
۴-۱- نتایج آزمایش وزن مخصوص

در جدول ۵ و نمودار ۴ وزن مخصوص نمونه‌های مکعبی استاندارد طرح اختلاط‌های تحقیق در سن ۲۸ روزه ارائه شده است.

جدول ۵- وزن مخصوص نمونه‌های بتنی در حالت سخت‌شده (kg/m^3)

شماره طرح	Ref 1	Ref 2	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
وزن مخصوص	۲۳۹۰	۲۳۷۰	۲۳۲۵	۲۲۹۸	۲۲۷۴	۲۲۴۰	۲۱۲۵	۲۰۹۵	۲۱۰۹
شماره طرح	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
وزن مخصوص	۲۰۹۰	۲۰۷۷	۲۰۱۴	۱۹۳۷	۲۰۹۱	۲۰۶۲	۲۰۵۳	۱۹۸۲	۱۹۳۱

www.SID.ir



نمودار ۴- بررسی و مقایسه وزن مخصوص تر طرح اختلاط‌های تحقیق

از نمودار ۴ مشهود است که با افزایش درصد سبکدانه ورمیکولیت و هم‌چنین با کاهش نسبت آب به سیمان، وزن مخصوص بتن نیز کاهش مناسبی پیدا نموده که از اثرات مثبت کاهش نسبت آب به سیمان تلقی می‌شود. در طرح‌های ۱۱، ۱۵ و ۱۶ وزن مخصوص بتن به کم‌تر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب رسیده است.

۴-۱-۲- مقاومت فشاری

با توجه به جدول ۶ و نمودارهای ۵ و ۶ می‌توان مشاهده نمود که نمونه‌های بتنی مرجع مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه خوبی داشته، اما با جایگزینی سبکدانه ورمیکولیت به‌جای مصالح ریزدانه و درشت‌دانه طبیعی، با کاهش محسوس مقاومت فشاری نمونه‌ها روبرو شدند. در برخی از طرح اختلاط‌ها در سن ۷ روزه کاهش مقاومت فشاری حدود ٪۶۹ نسبت به طرح مرجع خود وجود داشته و هم‌چنین در سن ۲۸ روزه کاهش مقاومت فشاری حدود ٪۶۴ وجود داشته است. از عوامل اصلی کاهش مقاومت‌ها می‌توان به نسبت آب به سیمان و هم‌چنین جایگزینی سنگدانه‌های طبیعی با سبکدانه ورمیکولیت اشاره کرد. طرح اختلاط‌های ۱۱، ۱۵ و ۱۶ به ترتیب با مقاومت فشاری ۱۷/۱، ۱۸/۵ و ۱۷/۶ مگاپاسکال به عنوان بتن سبک مورد قبول هستند.

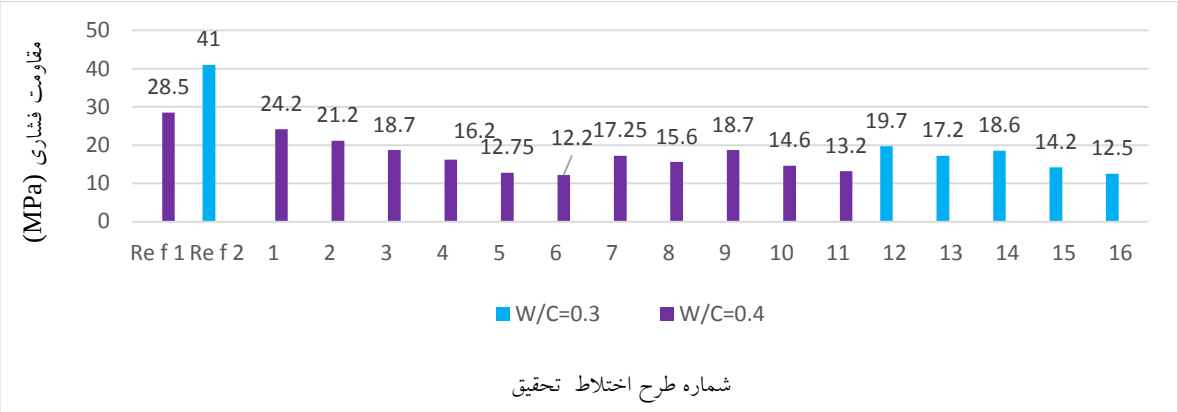
جدول۶- نتایج مقاومت‌های فشاری نمونه‌های مکعبی استاندارد در سنین ۷ و ۲۸ روزه (MPa)

۷ روزه	۲۸ روزه	نام طرح	۷ روزه	۲۸ روزه	نام طرح
۱۵/۶	۲۲/۳	۸	۲۸/۵	۳۵	Ref 1
۱۸/۷	۲۲	۹	۴۱	۴۹	Ref 2
۱۴/۶	۱۹/۳	۱۰	۲۴/۲	۳۱	۱
۱۳/۲	۱۷/۱	۱۱	۲۱/۲	۲۸	۲
۱۹/۷	۲۶	۱۲	۱۸/۷	۲۷	۳
۱۷/۲	۲۴/۵	۱۳	۱۶/۲	۲۱	۴
۱۸/۶	۲۳/۳	۱۴	۱۲/۷۵	۱۷	۵
۱۴/۲	۱۸/۵	۱۵	۱۲/۲	۱۶	۶
۱۲/۵	۱۷/۶	۱۶	۱۷/۲۵	۲۳	۷

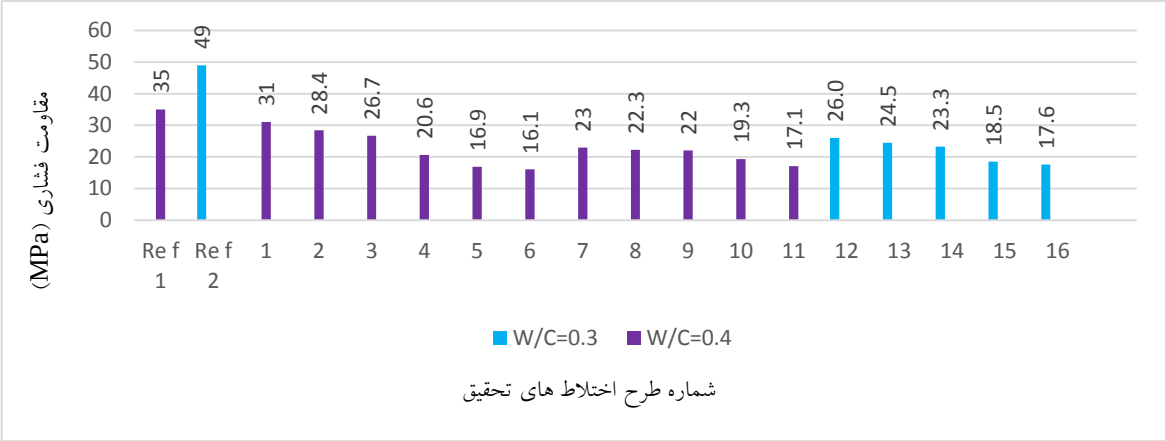
Ref 1، Ref 2: بتن‌های مرجع؛ *: فوق روان‌کننده برحسب درصد وزنی عیار سیمان است.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار ۵- مقایسه مقاومت فشاری طرح اختلاط‌ها در نسبت‌های آب به سیمان متفاوت تحقیق در سن ۷ روزه



نمودار ۶- مقایسه مقاومت فشاری طرح اختلاط‌ها در نسبت‌های آب به سیمان متفاوت تحقیق در سن ۲۸ روزه

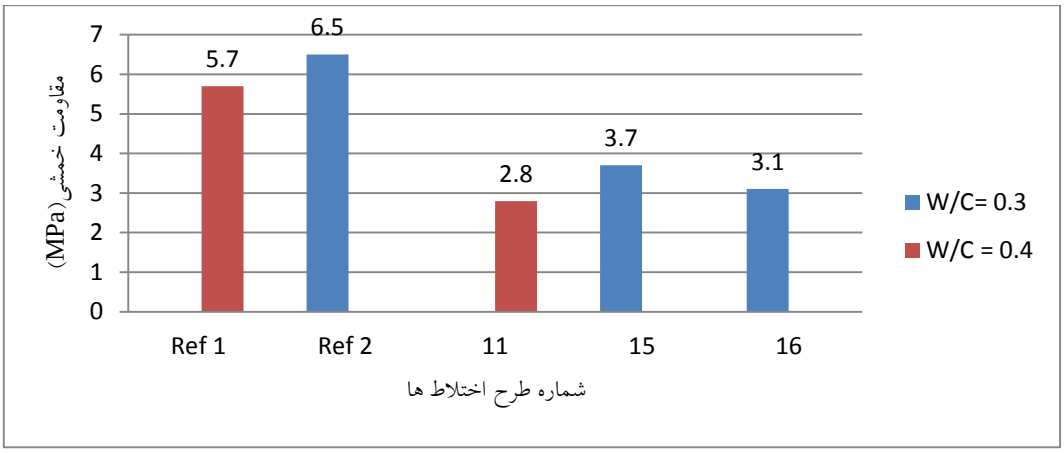
۴-۱-۳- مقاومت خمشی

در نمودار ۷ نتایج آزمایش خمشی به سه نقطه‌ای برای بتن‌های مرجع و تمام بتن‌های سبک حاوی سبکدانه ورمیکولیت در سن ۲۸ روزه نشان داده شده است. با توجه به این نمودار می‌توان دید که مقاومت خمشی طرح ۱۵، با مقدار ۳/۷ دارای بیش‌ترین مقدار در میان تمام طرح‌های بتن سبک تحقیق می‌باشد. ملاحظه می‌شود که افزودن ورمیکولیت به بتن نه‌تنها باعث افزایش مقاومت خمشی نشده، بلکه آن را به مقدار زیادی نیز کاهش داده است. یکی از علل احتمالی این کاهش می‌تواند به ساختار لایه‌لایه‌ای و بسیار نرم ورمیکولیت مربوط باشد.

جدول ۷- مقاومت خمشی بتن‌های سبک و مرجع(MPa)

شماره طرح	Ref 1	Ref 2	۱۱	۱۵	۱۶
مقاومت خمشی	۵/۷	۶/۵	۲/۸	۳/۷	۳/۱

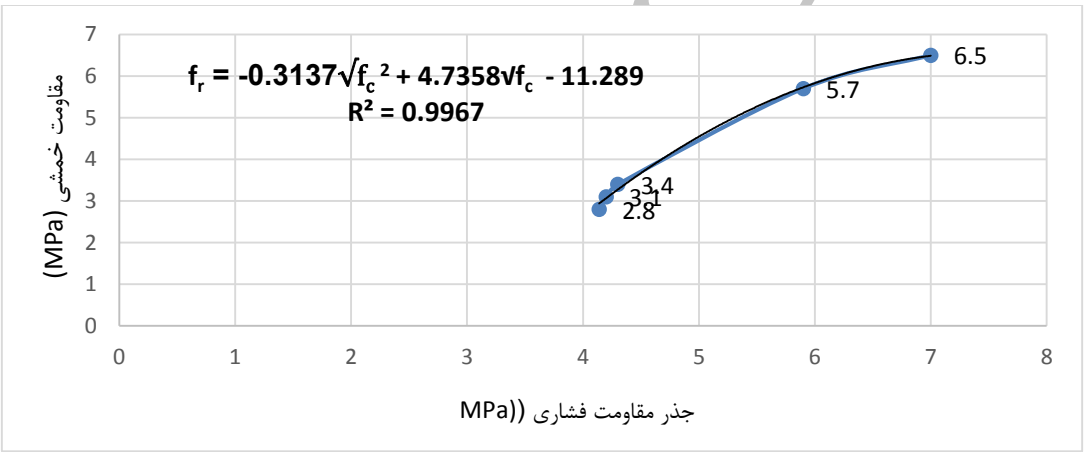
www.SID.ir



نمودار ۷- مقایسه مقاومت خمشی طرح اختلاط‌ها در نسبت‌های آب به سیمان متفاوت تحقیق در سن ۲۸ روزه

۴-۱-۴- تعیین روابط میان مقاومت‌های فشاری و خمشی بتن سبک حاوی سبکدانه ورمیکولیت

با توجه به جدول ۷ طرح اختلاط شماره ۱۵، دارای بیش‌ترین مقاومت خمشی بوده است. در نمودار ۸ رابطه میان مقاومت‌های فشاری و خمشی در طرح‌های حاوی سبکدانه ورمیکولیت نشان داده شده است.



نمودار ۸- رابطه میان مقاومت‌های خمشی و فشاری در بتن حاوی سبکدانه‌های ورمیکولیت

نتایج آزمایشگاه $f_r = -0.3731\sqrt{f_c}^2 + 4.7358\sqrt{f_c} - 11.289$ (۲)

در رابطه ۲، مقاومت‌های خمشی و فشاری هر دو بر حسب مگاپاسکال هستند.

۴-۲- ضرایب ارتجاعی استاتیکی بتن‌های سبک و مرجع و مقایسه نتایج آزمایشگاهی، آبا و ACI

مقایسه نتایج ضریب ارتجاعی استاتیکی آزمایشگاهی طرح‌های بتن سبک حاوی سبکدانه ورمیکولیت با مقادیر آیین‌نامه‌ای، در جدول ۸، نشان می‌دهد که مقادیر ضریب ارتجاعی استاتیکی بیش‌تر از آیین‌نامه به‌دست آمدند. به‌طور کلی در تمام طرح‌های بتن سبک حاوی سبکدانه ورمیکولیت و بتن‌های مرجع، ضریب ارتجاعی استاتیکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر از مقدار آیین‌نامه نتیجه شدند. این نتیجه می‌تواند ناشی از رطوبت باشد. فرمول‌های پیشنهادی آیین‌نامه‌های آبا و ACI برای تعیین ضریب ارتجاعی استاتیکی با افزایش یا کاهش مقاومت فشاری رابطه مستقیم دارند. البته نتایج این تحقیق نشان داده که بتن‌های سبک به دلیل جذب آب زیاد سبکدانه‌های ورمیکولیت، بر خلاف داشتن افت در مقاومت فشاری، ضریب ارتجاعی بیش‌تری از خود نشان داده‌اند.

www.SID.ir

جدول ۸- جزئیات ضرایب ارتجاعی استاتیکی بتن‌های سبک و مرجع							
شماره نمونه	مقاومت فشاری f_{CU} نمونه مکعبی استاندارد در سن ۲۸ روزه	مقاومت خمشی f_r نمونه تیر منشوری استاندارد در سن ۲۸ روزه	f_r/f_{CU} آزمایش	E/f_{CU} آزمایش	نتایج ضریب ارتجاعی استاتیکی (GPa)		
					ACI	آبا	آزمایش
					$E=\gamma^{1.5}*C*\sqrt{f'_c}$	$E=5000\sqrt{f'_c}$	$E=\frac{(\sigma_2-\sigma_1)}{(\varepsilon_2-0.00005)}$
Ref 1	۳۵۵	۵۸	۰/۱۶۳	۰/۲۷۲	۲۷/۶	۲۹/۵	۹۶/۹
Ref 2	۴۹۹	۶۶	۰/۱۳۲	۰/۲۲۰	۳۲/۳	۳۵	۱۱۰/۱
11	۱۷۴	۲۹	۰/۱۶۶	۰/۴۵۶	۱۳/۳	۲۰/۷	۷۹/۴
15	۱۸۸	۳۸	۰/۲۰۲	۰/۴۸۹	۱۴/۴	۲۱/۵	۹۲/۱
16	۱۷۹	۳۲	۰/۱۷۸	۰/۳۴۰	۱۳/۵	۲۱	۶۰/۹
ضریب C در فرمول ACI برای مقاومت فشاری تا ۳۵ مگاپاسکال برابر با ۰/۰۳۸ و برای بالای ۳۵ مگاپاسکال برابر با ۰/۰۴ می‌باشد[۶].							

۵- نتایج

- طرح اختلاط‌های ۱۱، ۱۵ و ۱۶ به ترتیب با مقاومت فشاری ۱۷/۱، ۱۸/۵ و ۱۷/۶ مگاپاسکال و وزن مخصوص کم‌تر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب به عنوان بتن سبک معرفی می‌شوند.
- جایگزینی درصدهای مختلف ورمیکولیت به جای سنگدانه‌های ریز و درشت طبیعی، باعث کاهش وزن مخصوص بتن در سنین ۷ و ۲۸ روزه شده است.
- بتن‌های سبک حاوی سبکدانه ورمیکولیت دارای وزن مخصوص حدود ٪۲۰ سبک‌تر از بتن‌های مرجع می‌باشند.
- کم‌ترین وزن مخصوص بتن سبک ساخته شده در میان تمام طرح اختلاط‌های تحقیق، مربوط به طرح ۱۶ و به مقدار ۱۹۳۱ کیلوگرم بر متر مکعب بوده است.
- بیش‌ترین درصد جایگزینی سبکدانه ورمیکولیت به‌کار رفته در ساخت بتن‌های سبک با سنگدانه‌های طبیعی، مربوط به طرح ۱۶ و به ترتیب به مقدار ٪۳۵ و ٪۴۰ ریزدانه و درشت‌دانه می‌باشد.
- مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه نمونه‌های بتن سبک حاوی سبکدانه ورمیکولیت در محدوده ۱۷/۱ تا ۱۸/۵ مگاپاسکال برای نمونه‌های مکعبی استاندارد بوده که بیش‌ترین مقدار مربوط طرح اختلاط ۱۵ می‌باشد.
- حداکثر مقاومت خمشی در میان طرح اختلاط‌های بتن سبک، مربوط به طرح ۱۵ و به مقدار ۳/۷ مگاپاسکال دارا می‌باشد.
- با جایگزینی درصدهای بیش‌تر سبکدانه ورمیکولیت با سنگدانه‌های طبیعی، در سن ۲۸ روزه مقاومت خمشی حدود ٪۵۰ نسبت به بتن‌های مرجع کاهش داشته که کم‌ترین میزان آن برابر ۲/۸ مگاپاسکال در نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۳/۱ مگاپاسکال در نسبت آب به سیمان ۰/۳ بوده است.
- ضریب ارتجاعی استاتیکی در سن ۲۸ روزه نمونه‌های بتن سبک در محدوده ۶۰/۹ تا ۱۱۰/۱ گیگاپاسکال حاصل شدند.
- بیش‌ترین مقدار ضریب ارتجاعی استاتیکی مربوط به بتن‌های سبک ورمیکولیتی مربوط به طرح ۱۵ و به مقدار ۹۲/۱ گیگاپاسکال و کم‌ترین آن مربوط به طرح ۱۱ و به مقدار ۷۹/۴ گیگاپاسکال بوده‌اند.
- پس از انجام آزمایش‌های متعدد حاصل شد که سبکدانه ورمیکولیت دارای جذب آب زیاد بوده و پس از اختلاط و ساخت بتن و هم‌چنین گیرش نمونه‌ها درقالب، نمونه‌های بتنی آب ذخیره شده در خود را به خمیر سیمان و جسم بتن انتقال داده و

Archive of SID

www.SID.ir

باعث شدند تا با وجود گذشت چند روز از قالب‌گیری و عمل‌آوری بتن، هنوز هم بتن دارای مقداری رطوبت باشد، که همین رطوبت در آزمایش ضریب ارتجاعی استاتیکی باعث گردید تا کرنش نمونه‌ها کم‌تر شده و علی‌رغم افت در مقاومت فشاری نسبت به بتن مرجع، ضریب ارتجاعی استاتیکی افزایش یابد. از آنجایی که ضریب استاتیکی یک سازه متاثر از ضریب ارتجاعی استاتیکی اعضای سازنده آن است، بنابراین چون سبکدانه ورمیکولیت جذب آب زیادی دارد، لذا ضریب ارتجاعی استاتیکی بیش‌تری را نشان داده و به تبع آن ضریب ارتجاعی استاتیکی بتن سبک حاوی سبکدانه ورمیکولیت نیز به مقدار بیش‌تری از بتن معمولی حاصل شده است[۱۵،۱۶].

مراجع

[۱] چاندرا، ساتیش، بتن سبکدانه دانش، فناوری و اطلاعات ترجمه محمد شکرچی زاده، آرزو امدادی، ۱۳۸۷، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات.

[2] Bing, C., Juanyu L., 2004, Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel Fiber, Vol. 34, pp. 1259-1263.

[3] Noro, S., Whit C., 1990, How to obtain – strength concrete using Density Aggregate, ACI SP 121-33, p. 683.

[4] Khandaker, M. A. H., 2008, Pumice based blended cement concretes exposed to marine environment: Effects of mix composition and curing conditions, Cement and concrete composites, Vol. 30, pp. 97-105.

[۵] دباغ، هوشنگ، اکبرپور، سوده، بابا مرادی، کوروش، ۱۳۹۴، بررسی خصوصیات مکانیکی بتن سبک سازه‌ای حاوی اسکریا قروه، کنفرانس ملی بتن ایران، شماره ۷.

[۶] رمضانیان‌پور، علی‌اکبر، ۱۳۹۰، بتن سبک از تحقیق تا کاربرد، کنفرانس ملی بتن سبک، شماره ۱۱.

[۷] مدندوست، رحمت، موسوی، سیدیاسین، ۱۳۹۱، تأثیر زئولیت بر خواص بتن تازه و سخت شده خودتراکم، کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، شماره ۴.

[۸] رمضانیان‌پور، علی‌اکبر، صمدیان، مرتضی، مهدی‌خانی، مهدی، مودی، فرامرز، ۱۳۹۱، بررسی آثار مواد پوزولانی بر دوام بتن‌های خودتراکم، مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس، شماره ۱۱.

[۹] باقریان، علی، ۱۳۹۵، تأثیرات پوکه معدن دماوند در ساخت بتن سبک خودتراکم، کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، شماره ۸.

[۱۰] یزدانی، محمود، اردکانی، علی‌رضا، هدایتی، جواد، ۱۳۹۰، جایگاه بتن سبک سازه‌ای در ایران و جهان- ضوابط آیین‌نامه‌ای و کاربرد، کنفرانس ملی بتن سبک، شماره ۱.

[۱۱] مسلمی‌حسینی، سیدمیثم، حسینعلی‌بیگی، مرتضی، دهستانی، مهدی، دهستانی، ۱۳۹۴، بررسی خواص مکانیکی بتن سبک با مقاومت بالا، کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز دانشکده مهندسی عمران، شماره ۱۰.

[۱۲] خالو، علیرضا، ۱۳۹۰، عملکرد بتن‌های سبکدانه سازه‌ای (خصوصیات سبکدانه، خواص فیزیکی و مکانیکی بتن سبکدانه، ملاحظات طراحی سازه‌ای و بتن سبک مقاومت بالا)، کنفرانس ملی بتن سبک، شماره ۱.

[13] Tao, J., Ammar, M., Zahra, Z.M., Ebrahim, Z.M., 2009, Preliminary study on water infiltration of concrete containing nano-SiO2 and silicone, 8th International Congress, on Civil Engineering, May 11-13, Shiraz University, Shiraz, Iran.

[۱۴] ماهوتیان، مهرداد، بهرادی‌یکتا، سجاد، ۱۳۹۰، تأثیر الیاف فولادی و پلی پروپیلن بر مشخصات مکانیکی بتن سبکدانه حاوی لیکا و پومیس، کنفرانس ملی بتن سبک، دانشگاه تهران. شماره ۱.

[۱۵] ثمریها، احمد، ۱۳۹۳، اثر آرد باگاس و سازگار کننده بر مدول الاستسیته چند سازه ساخته شده از آرد باگاس – پلی‌پروپلین، باشگاه پژوهشگران جوان.

[۱۶] مقصودی، علی‌اکبر، قلی‌زاده، وحید، باقری، محمدجواد، ۱۳۹۲، مدول الاستیسیته، مقاومت فشاری و کششی بتن‌های معمولی و خودتراکم مقاومت بالا (خط ۲ قطار شهری مشهد) و ارزیابی نامه‌ای کنفرانس ملی بتن سالیانه ایران، شماره ۵.

www.SID.ir

Feasibility study of lightweight concrete construction using Vermiculite

Hassan Zareei

M.Sc. student, Department of Civil Engineering, Dezful Branch, Dezful, Iran
Email: hnzareei@gmail.com

Seyed Fathollah Sajedi*

Associate professor, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, IAU, Ahvaz, Iran
*: Corresponding author; Email: f_sajedi@yahoo.com, sajedi@iauahvaz.ac.ir

Abstract

In this research, the feasibility of making lightweight concrete with the use of Vermiculite was investigated. To this end, 18 mixing designs were constructed with water to cement ratios of 0.3 and 0.4. Then, compressive strength test was performed on standard cubic specimens cured in water at the age of 7 and 28 days. Also, a three-point standard flexural test was performed on standard beams which were cured for 28 days in water. The static elasticity modulus test was performed on standard cylindrical specimens that were cured in water for 28 days. Slump and specific gravity tests for all concrete designs were also performed and the obtained results showed that concrete specific gravity decreased. Based on the results, it was observed that with increasing the percentage of vermiculite, the elastic coefficient of the concrete was increased, but the compressive and flexural strengths decreased. Also, the results showed that by replacing vermiculite with a percentage of aggregates, lightweight concrete could be available with specific gravity in the range from 1931 to 1982 kg/m ^{3} and compressive strength from 17.1 to 18.5 MPa.

Keywords: Lightweight concrete, Vermiculite, Mechanical properties of concrete, Compressive strength, Flexural strength, Static elasticity coefficient.

Archive of SID

www.SID.ir