



دانشگاه تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۰
نالز شهید چمران - انستیتو مصالح ساختمانی
پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران



اولین کنفرانس ملی بتن سبک

ساخت بتن سبک سازه ای با استفاده از دانه های سبک (پوکه)، میکروسیلیس و پودر سنگ

علیرضا حبیبی^{۱*}، آروین وزیری^۲، حامد قاضی^۲، زهرا محمدی^۲، هدی جوزاده^۲، سمیه صفیاری^۲، آرمان محمدی^۲

^۱ استادیار دانشگاه کردستان، دانشکده فنی و مهندسی، سنندج

^۲ دانشجوی کارشناسی دانشگاه کردستان، دانشکده فنی و مهندسی، سنندج

چکیده

هدف از این تحقیق ارزیابی نسبت های طرح اختلاط برای بتن سبک سازه ای با مقاومت فشاری بالا، ساخته شده از دانه های سبک معدنی (پوکه) استخراجی از معادن موجود در ایران، می باشد. به این منظور از افزودنی های معدنی و شیمیایی در طرح اختلاط و ساخت بتن سبک استفاده گردیده است. همچنین از پودر سنگ به منظور کاهش تخلخل و از میکروسیلیس برای افزایش مقاومت و بررسی تأثیر آنها بر مقاومت فشاری استفاده شد. با در نظر داشتن جنبه های اجرایی این نوع بتن، متغیرهایی که در طرح اختلاط مورد نظر هستند، عبارتند از: نسبت مقاومت فشاری به وزن مخصوص بتن، مقدار پوکه از کل حجم سنگدانه، مقدار میکروسیلیس و پودر سنگ. پس از ساخت بتن، عمل آوری نمونه ها با دو روش غرقاب کردن در آب معمولی و آب آهک به منظور بررسی تأثیر شرایط عمل آوری بر مقاومت فشاری انجام می شود و سپس آزمایشات لازم بر روی آنها انجام می گیرد. نتایج حاصل از تحقیق می تواند در انتخاب طرح اختلاط بتن سبک به منظور اقتصادی نمودن و افزایش مقاومت فشاری آن، مورد استفاده مهندسیین قرار گیرد.

کلمات کلیدی: بتن سبک، دانه سبک (پوکه)، میکروسیلیس، پودر سنگ، عمل آوری، مقاومت فشاری.

۱- مقدمه

یکی از مشکلات مهم در طراحی و اجرای ساختمان ها وزن مرده بسیار زیاد ساختمان می باشد. کاهش وزن مرده ساختمان و استفاده از بتن هایی با وزن مخصوص کمتر و مقاومت فشاری بیشتر در سازه های بتنی، همواره مورد توجه بسیاری از مهندسیین طراح بوده است. این موضوع از این نظر حائز اهمیت است که نیروهای زلزله وارد بر سازه با جرم سازه متناسب بوده و کاهش جرم سازه مهمترین عامل در کاهش اثر زلزله بر آن است [۱]. بدیهی است که استفاده از مصالح سبک موجب کم شدن بار مرده و کاهش وزن تیر ها، ستون ها و پی ها می شود که در نهایت به اقتصادی شدن طرح منجر می گردد. تلاش هایی که برای ساختن بتن سبک در اروپا و امریکا صورت گرفته است به حدود ۵۰ سال پیش بر می گردد. مالهوترا با

*علیرضا حبیبی، دانشگاه کردستان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، ar.habibi@uok.ac.ir

استفاد از سنگدانه های سنگ رسی منبسط شده به بتن سبکی با مقاومت فشاری ۷۰ مگا پاسکال و وزن مخصوص ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب دست یافت [۲]. همچنین بررسی‌های ویتکمب و چینو با استفاده از سنگدانه های سبک سیلیسی به مقاومت ۷۰/۵ مگاپاسکال و وزن مخصوص ۱۸۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب منتهی شد [۳]. تحقیقات و بررسی های روسیگنولو و همکارانش نشان داد که با استفاده از دانه‌های سبک می توان به مقاومت ۵۳/۶ مگا پاسکال و وزن مخصوص ۱۶۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب دست یافت [۴].

هدف از تحقیق حاضر، ساخت و تولید بتن سبک سازه‌ای با استفاده از مصالح سبک موجود در کشور و بررسی خصوصیات مقاومتی آن می‌باشد. بر این اساس، روش اتخاذ شده جهت انجام آزمایشات در این تحقیق، به شرح زیر می باشد:

ساخت نمونه با درصد های مختلف از پوکه معدنی

ساخت نمونه یکبار بدون استفاده از میکروسیلیس و بار دیگر با استفاده از آن به میزان ۱۰٪ سیمان مصرفی در بتن به عنوان نوعی جایگزین

ساخت نمونه یکبار بدون استفاده از پودرسنگ و بار دیگر با استفاده از آن به میزان ۲۵٪ مصالح سیمانی مصرفی در بتن به عنوان نوعی افزودنی

تعیین مقاومت فشاری نمونه ها در سن ۷روز

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

۲-۱-۱- ریز دانه

جهت ساخت نمونه‌ها از ماسه به ابعاد ۵- 0 mm شکسته به عنوان مصالح ریز دانه استفاده شده است که دانه بندی ماسه مطابق استاندارد ASTM-C۳۳۰ با مدول نرمی ۳/۴۲، وزن مخصوص حقیقی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و وزن مخصوص ظاهری ۱۶۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد [۵].

۲-۱-۲- درشت دانه

برای ساخت کلیه نمونه ها از پوکه‌ی معدنی قروه به عنوان درشت دانه استفاده شده است. دانه بندی پوکه در محدوده‌ی مجاز دانه بندی مطابق با استاندارد ASTM-C۳۳۰ و با ابعاد mm 36/2 - ۱۹ انتخاب گردیده است که دارای وزن ظاهری خشک ۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و وزن مخصوص اشباع ۱۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نیز جذب آب ۱۲٪ می باشد.

چگالی سبک دانه پوکه‌ی معدنی نسبت به سبک دانه‌های صنعتی بیشتر است؛ لذا چگالی بتن ساخته شده از این نوع پوکه بیشتر از بتن‌های ساخته شده از سنگدانه های سبک صنعتی است. همچنین دارای درصد جذب آب بیشتری می‌باشد به طوری که با توجه به این مقدار درصد جذب آب، تعیین وضعیت رطوبتی و تخمین مقدار جذب آب آن در حین اختلاط و در نهایت تخمین آب آزاد جهت ساخت مخلوط‌های بتن سبک دشوار می‌باشد. به همین علت در ساخت نمونه‌ها، از پوکه‌ی اشباع جهت انجام بخش قابل توجهی از جذب آب و امکان کنترل نسبت اختلاط اجزاء استفاده گردیده است.

۲-۱-۳- سایر اجزاء

سیمان مصرفی در مخلوط‌های آزمایشی، سیمان پرتلند تیپ ۴۲۵-۱ و چگالی آن ۳۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. جهت بررسی اثر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری بتن سبک از میکروسیلیس تولیدی شرکت صنایع شیمی ساختمان آبادگران با وزن مخصوص ظاهری ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دانسیته متراکم ۲۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب استفاده شده است. به این منظور، ۱۰٪ وزن سیمان با میکروسیلیس جایگزین شده است. به خاطر ملاحظات اقتصادی، این مقدار در طرح اختلاطها بدون حل کردن در آب و به صورت خشک به مخلوط بتن اضافه شده است. نرمی بسیار زیاد میکروسیلیس، عامل اصلی پر کنندگی و کاهش نفوذپذیری در بتن بوده و از مهمترین خواص فیزیکی آن بشمار می آید. نکته‌ی قابل توجه به هنگام مصرف پودر میکروسیلیس به ویژه برای مخلوط هایی با نسبت آب به سیمان پایین، آن است که کارایی مخلوط به دلیل نرمی زیاد پودر و نیاز مبرم به آب اضافی، بطور محسوس کاهش می‌یابد. لذا استفاده از روان کننده امری اجتناب ناپذیر است. به همین علت در ساخت نمونه های

بتنی حدود ۰/۹ درصد وزن سیمان مصرفی، فوق روان کننده به کار گرفته شده است. فوق روان کننده مورد استفاده به صورت مایع و مخلوط با آب، به ترکیب بتن اضافه شده است.

۲-۲- ساخت نمونه‌ها

نسبت های اختلاط اجزاء، مطابق استاندارد ACI-211 انجام گرفته است [۶]. مقادیر اجزاء مخلوط‌های بتن سبک به روش حجمی با در نظر گرفتن درصد جذب آب نیم ساعته درشت دانه سبک محاسبه گردید. همچنین مقدار آب با توجه به رطوبت طبیعی و حالت اشباع دانه ها، تصحیح شد [۷]. در این آزمایش‌ها نسبت میکروسیلیس، ۱۰٪ وزن سیمان و پودر سنگ، ۲۵٪ وزن مصالح سیمانی در نظر گرفته شد. مقادیر محاسبه شده برای اجزای بتن برای ۱۳ نوع طرح اختلاط بتن (با توجه به پارامتر متغیر در نظر گرفته شده در هر طرح اختلاط) در جداول (۱) تا (۳) ارائه شده است. شکل ۱، مرحله‌ی ساخت و قالب‌گیری نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر اجزای بکار رفته در یک مترمکعب مخلوط بتنی (کیلوگرم) برای طرح اختلاط ۱ تا ۴

شماره طرح	سیمان	نسبت آب به سیمان	آب	فوق روان کننده	میکروسیلیس	پودر سنگ	ماسه	پوکه
۱	۴۵۰	۰/۳	۱۵۰	۴/۵	۵۰	۱۲۸	۳۰۰	۳۹۰
۲	۴۵۰	۰/۳	۱۵۰	۴/۵	۵۰	.	۶۶۰	۱۸۰
۳	۴۵۰	۰/۳	۱۷۶	۴/۵	۵۰	.	۷۳۶	۷۸۶
۴	۵۰۰	۰/۳	۱۷۰	۴/۵	.	.	۷۱۱	۹۵۰

جدول ۲- مقادیر اجزای بکار رفته در یک مترمکعب مخلوط بتنی (کیلوگرم) برای طرح اختلاط ۵ تا ۷

شماره طرح	سیمان	نسبت آب به سیمان	آب	فوق روان کننده	میکروسیلیس	ماسه	پوکه	درصد پوکه از کل سنگدانه
۵	۴۵۰	۰/۳	۱۶۵	۴/۵	۵۰	۴۰۰	۶۳۶	۰/۶۰
۶	۴۵۰	۰/۳	۱۵۰	۴/۵	۵۰	۴۵۰	۵۵۸	۰/۵۵
۷	۴۵۰	۰/۳	۱۷۶	۴/۵	۵۰	۷۳۶	۷۸۶	۰/۵۰

جدول ۳- مقادیر اجزای بکار رفته در یک مترمکعب مخلوط بتنی (کیلوگرم) برای طرح اختلاط ۸ تا ۱۳

شماره طرح	سیمان	نسبت آب به سیمان	آب	فوق روان کننده	میکروسیلیس	ماسه	پوکه	توضیحات
۸	۴۵۰	۰/۳	۱۷۶	۴/۵	۵۰	۷۳۶	۷۸۶	عمل آوری در
۹	۵۰۰	۰/۳	۱۷۰	۴/۵	.	۷۱۱	۹۵۰	آب معمولی
۱۰	۴۵۰	۰/۳	۱۵۰	۴/۵	۵۰	۴۵۰	۵۵۸	
۱۱	۴۵۰	۰/۳	۱۷۶	۴/۵	۵۰	۷۳۶	۷۸۶	عمل آوری در
۱۲	۵۰۰	۰/۳	۱۷۰	۴/۵	.	۷۱۱	۹۵۰	آب آهک
۱۳	۴۵۰	۰/۳	۱۵۰	۴/۵	۵۰	۴۵۰	۵۵۸	



شکل ۱- مرحله‌ی ساخت و قالب‌گیری نمونه‌ها

۲-۳- عمل آوری نمونه‌ها

پس از ساخت و قالب‌گیری نمونه‌های بتنی، نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و در حوضچه‌ی آب به روش غرقاب کردن نگه‌داری گردیدند. در چند طرح، به منظور بررسی تأثیر آب آهک در عمل آوری بتن، نمونه‌های ساخته شده در حوضچه آب آهک قرار گرفتند. در سن ۵ روز نمونه‌ها از حوضچه خارج و به مدت ۲ روز در اون با دمای ۱۰.۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و بعد از آن مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل ۲، نمونه‌ها را پس از مرحله‌ی عمل آوری نشان می‌دهد.



شکل ۲- نمونه‌ها پس از مرحله‌ی عمل آوری

۲-۴- آزمایش مقاومت فشاری

برای آزمایش مقاومت فشاری از نمونه‌های مکعبی $100 \times 100 \times 100$ mm استفاده شده است. در شکل ۳، نحوه‌ی گسیختگی تعدادی از نمونه‌ها در آزمایش مقاومت فشاری نشان داده شده است. نتایج بدست آمده از میانگین مقاومت فشاری و وزن مخصوص خشک نمونه‌ها در سن ۷ روز در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج مقاومت فشاری به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از دانه‌های سبک پوکه می‌توان به مقاومت فشاری مطلوب دست یافت. در نمونه‌های ساخته شده با پودر سنگ نسبت به نمونه‌های فاقد پودر سنگ، با توجه به نتایج به دست آمده، در حدود ۳۵ درصد کاهش مقاومت فشاری مشاهده شد. همچنین در این نمونه‌ها افزایش وزن مخصوص خشک نتیجه‌گیری شد (منظور از وزن مخصوص خشک، وزن واحد حجم بتن بعد از عمل آوری ۷ روزه می‌باشد). اگر وزن مخصوص بتن‌های نرمال سخت شده برابر با ۲۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شود، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که وزن بتن ساخته شده بین ۱۷ تا ۲۴ درصد کاهش یافته است و این موضوع نشان می‌دهد که در صورت استفاده از این نوع بتن‌ها، می‌توان بار مرده‌ی سازه را به نحو چشمگیری کاهش داد. وزن مخصوص بتن حاوی دانه‌های پوکه بستگی زیادی به میزان مصرف این دانه‌ها دارد به طوری که هرچه این میزان بیشتر باشد وزن مخصوص پایین‌تری خواهیم داشت. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که افزایش پوکه، همانطور که انتظار می‌رفت، باعث کاهش مقاومت فشاری و وزن مخصوص بتن شده است. مقایسه نتایج مقاومت فشاری در دو حالت عمل آوری نمونه‌ها در آب آهک و آب، نشان می‌دهد که

تفاوت تاثیر نوع عمل آوری بر مقاومت فشاری نمونه‌ها محسوس نیست. به عبارت دیگر عمل آوری نمونه‌ها در آب آهک، نتایج مقاومت فشاری را تغییر نمی‌دهد.

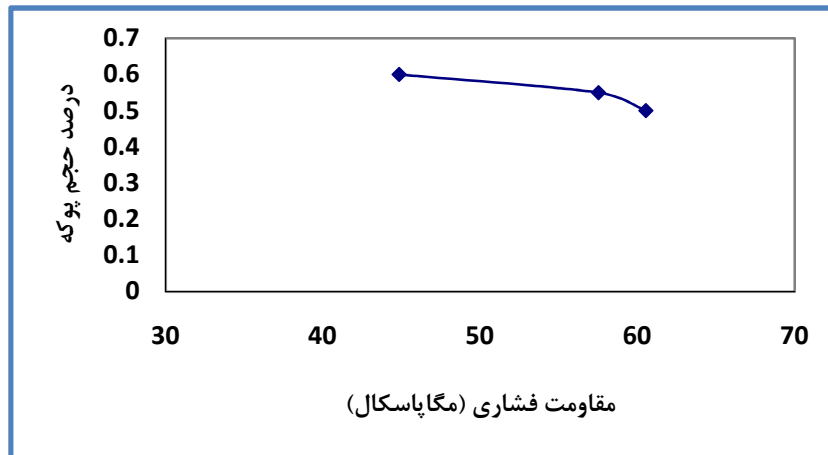
رابطه‌ی مقاومت فشاری و درصد حجم پوکه مطابق شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش درصد پوکه‌ی مصرفی در بتن، مقاومت فشاری دچار کاهش می‌شود. این نکته در تخمین مقاومت مقاطع بتن سبک باید مورد توجه قرار گیرد. البته جهت ارائه‌ی یک طرح اختلاط بهینه برای بتن سبک، باید رابطه‌ی بین مقاومت فشاری و وزن مخصوص بتن مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور رابطه‌ی بین مقاومت فشاری و وزن مخصوص در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل، یک منحنی خطی برای وزن مخصوص خشک بر حسب مقاومت فشاری، بر اساس روش مجذور حداقل مربعات، برازش شده و تابع مربوط به آن ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، به دلیل وجود پارامترهای متغیر زیاد در تحقیق، پراکندگی زیادی در نقاط این شکل وجود دارد. بنابراین رابطه‌ی ارائه شده، فقط می‌تواند به صورت تقریبی، مقدار وزن مخصوص را در مقاومت طرح مورد نظر نتیجه دهد. بدیهی است جهت ارائه‌ی رابطه‌ی دقیق‌تر، نیاز به تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه وجود دارد.



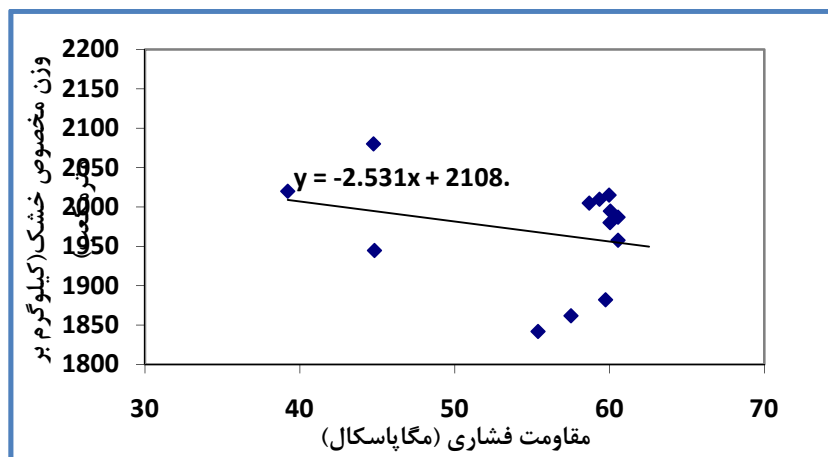
شکل ۳- نحوه‌ی گسیختگی تعدادی از نمونه‌ها در آزمایش مقاومت فشاری

جدول ۴- نتایج میانگین مقاومت فشاری و وزن مخصوص نمونه‌ها

شماره طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	وزن مخصوص خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱	۳۹/۲۱	۲۰۲۰
۲	۴۴/۷۵	۲۰۸۰
۳	۶۰/۵۵	۱۹۸۷
۴	۵۹/۳۵	۲۰۱۰
۵	۴۴/۸۲	۱۹۴۵
۶	۵۷/۵۲	۱۸۶۲
۷	۶۰/۵۵	۱۹۵۸
۸	۶۰/۰۴	۱۹۸۰
۹	۵۹/۹۷	۲۰۱۵
۱۰	۵۵/۲۸	۱۸۴۲
۱۱	۶۰/۰۶	۱۹۹۵
۱۲	۵۸/۷۰	۲۰۰۵
۱۳	۵۹/۷۵	۱۸۸۲



شکل ۴- رابطه‌ی مقاومت فشاری و درصد حجم پوکه



شکل ۵- رابطه‌ی مقاومت فشاری و وزن مخصوص

۳- نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود:
 با استفاده از دانه های سبک پوکه و میکروسیلیس می‌توان به بتن سبک با مقاومت بالا دست یافت. استفاده از پودرسنگ به عنوان افزودنی، اثری بر افزایش مقاومت فشاری نداشت و همچنین باعث افزایش وزن مخصوص خشک گردید. در صورت استفاده از میکروسیلیس به جای درصد وزنی سیمان، می‌توان شاهد کاهش وزن مخصوص و افزایش مقاومت فشاری بود. افزایش پوکه باعث کاهش مقاومت فشاری و وزن مخصوص بتن شد. ملاحظه گردید که تفاوت تاثیر عمل‌آوری بتن در آب آهک نسبت به آب معمولی، بر روی مقاومت فشاری و وزن مخصوص خشک بتن، محسوس نیست.

۴- مراجع

- 1- Ergul Yassar ; High Strength Light weight Concrete Made With Ternary Mixtures Of Cement - Fly Ash –silica Fume and Scoria Aggregate
- 2- M. Malhotra ; Properties of High-Strength Lightweight Concrete Incorporating Fly Ash –silica Fume , ACI.SP121-31, P.645 (1990)
- 3- Norok Shchenov and Withcomb ; How to obtain –Strength concrete using Density Aggregate , ACI.SP 121-33, P.683(1990)
- 4- J.A Rossignolo ; MVC Agenesini ; J.A. Morais; Properties of High-performance LWAC for pre-cast structure with Brazilian light weight aggregates (2001)
- 5- ASTM C 330 ; Standard Specification for Lightweight Aggregate for Structural Concrete , Annual Book of ASTM Standards, Section 4, V. 04. 02, American Society of Testing & Materials, West Conshohoken. PA, P.734 (1997).
- 6- ACI 211.2-98 ; Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete , ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, American Concrete Institute, Detroit, (2000).