تحقیقات بتن
سال پنجم، شماره دوم
پاییز و زمستان ۹۱
ص۴۴-۳۳
تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۲۵
تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۶

رابطهٔ‌مقاومت فشاری با مقاومت کششی و وزن مخصوص بتن سبک ساخته شده با پوکهٔ معدنی منطقهٔ کردستان

علیرضا حبیبی*
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج
آروین وزیری
کارشناس مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج
آرمان محمدی
کارشناس مهندسی عمران، دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج

چکیده
هدف از این پژوهش تعیین رابطهٔ مقامت فشاری با مقاومت کششی و وزن مخصوص بتن سبک سازه‌ای، ساخته شده از دانه‌های سبک معدنی (پوکه) استخراجی از معادن موجود در کردستان ایران، است. به این منظور از افزودنی‌های معدنی و شیمیایی در طرح اختلاط و ساخت بتن سبک استفاده گردیده است. با در نظر داشتن جنبه‌های اجرایی این نوع بتن، متغیرهایی که در طرح اختلاط مورد نظر هستند، عبارت اند از: نسبت مقاومت فشاری به وزن مخصوص بتن، مقدار پوکه از کل حجم سنگدانه. پس از ساخت بتن و عمل آوری نمونه‌ها به منظور بررسی تأثیر نسبت متغیرهای ذکر شده آزمایشات لازم بر روی آنها انجام می‌گیرد. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که با به‌کاربردن سبکدانهٔ پوکه در طرح اختلاط بتن سبک به عنوان سنگدانه و ثابت نگه داشتن میزان سیمان و سایر مصالح مصرفی، ضمن کاهش وزن مخصوص بتن، در بیشتر موارد می‌توان به مقاومت فشاری مطلوبی دست یافت.

واژه‌های کلیدی : بتن سبک، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، وزن مخصوص، دانهٔ سبک معدنی.

* نویسنده مسؤول: alireza_habib@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

یکی از مشکلات مهم در طراحی و اجرای ساختمان‌ها وزن مردهٔ بسیار زیاد ساختمان می‌باشد. کاهش وزن مرده ساختمان و استفاده از بتن‌هایی با وزن مخصوص کمتر و مقاومت فشاری بیشتر در سازه‌های بتنی، همواره مورد توجه بسیاری از مهندسین 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 تیرها، ستون‌ها و پی‌ها می‌شود که در نهایت به اقتصادی شدن طرح منجر می‌گردد.

یکی از مصالحی که به‌صورت سازه‌ای و غیرسازه‌ای در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد بتن است. در ساختمان‌های بتن مسلح از بتن در اجزای سقف، تیر، ستون و دیوارهای برشی استفاده می‌شود و در ساختمان‌های فلزی، استفادهٔ آن عمدتاً در سقف‌های کامپوزیت می‌باشد. علیرغم فواید عمده‌ای که بتن دارد، دو عیب عمده در آن به‌صورت ذاتی وجود دارد که یکی مقاومت کششی پایین آن و دیگری وزن مخصوص نسبتاً زیاد آن می‌باشد. از طرفی وزن مخصوص نسبتاً زیاد بتن (در حدود ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب برای بتن غیرمسلح) در ساختمان‌های بتن مسلح باعث می‌شود که وزن اسکلت بتنی ساختمان افزایش یافته و در نتیجه با بالارفتن وزن مردهٔ ساختمان نیروهای ثقلی و نیروی زلزله وارد بر آن نیز افزایش یابد. این امر نهایتاً استفاده از المان‌هایی با ابعاد بزرگ را ایجاب کرده که خود حجم بیشتری از بتن به همراه میلگردهای بیشتری را می‌طلبد. افزایش ابعاد المان‌های سازه‌ای چون تیرها و ستون‌ها یکی از معایب مهم ساختمان‌های بتن مسلح است که مشکلات معماری و کاهش زیربنای مفید را ایجاد می‌نماید. بطور کلی دو روش متفاوت برای رفع این مسأله وجود دارد. روش اول مبتنی بر افزایش مقاومت بتن می‌باشد تا به این وسیله بتوان ابعاد المان‌ها و در نتیجه حجم بتن و وزن میلگرد را کاهش داد. روش دوم بر پایهٔ کاهش وزن مخصوص بتن (استفاده از بتن سبک) است [۲].

از مهمترین تحقیقات موجود در زمینهٔ کاهش اثرات زلزله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

نقی پور و حاتم در سال ۱۳۸۳ به بررسی اثرات کاهش جرم (وزن) دیوارها وکف‌های ساختمان، با استفاده از سیستم‌های جدید سقف و دیواراستاندارد و تأئید شده، در ساختمان فولادی و انتخاب سیستم سازه‌ای مناسب در کاهش فولاد مصرفی و در نتیجه دستیابی به طرح مؤثراقتصادی، پرداختند[۳]. عدل پرور و وثوقی‌فر در سال ۱۳۸۴ نقش پانل‌های گچی خشک به عنوان مصالح نوین و سبک جهت کاهش تلفات ناشی از اثرات تخریبی زلزله درصنعت ساختمان را بررسی نمودند[۴]. باقری و همکارانش در سال ۱۳۸۶ معماری سبک را به عنوان راهکاری برای ایمنی لرزه‌ای و کاهش وزن سازه پیشنهاد دادند [۵]. حمیدی ژند و رضایی در سال ۱۳۸۷ به مقایسهٔ اثر سبک‌سازی عناصر غیرسازه‌ای ساختمان در رفتار، قیمت تمام شده و سرعت اجرای مصالح مختلف پرداختند[۶]. اکبری مهر و کاظمی در سال ۱۳۸۹اثرات فناوری‌های نوین تیغه‌بندی فضاهای داخلی ساختمان‌ها در کاهش وزن سازه و متعاقبا کاهش نیروهای زلزله را مورد بررسی قرار دادند[۷]. طراحی در سال ۱۳۸۹ کارکرد بلوک‌های ایرکریت در مقاوم‌سازی و سبک‌سازی سازه را بررسی نمود [۸].

تلاش‌هایی که برای ساختن بتن سبک در اروپا و امریکا صورت گرفته است به حدود ۵۰ سال پیش بر می‌گردد. مالهوترا با استفاد از سنگدانه‌های سنگ‌رسی منبسط شده به بتن سبکی با مقاومت فشاری ۷۰ مگاپاسکال و وزن مخصوص ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب دست یافت [۹]. همچنین بررسی‌های ویتکمب و چینو با استفاده از سنگدانه‌های سبک سیلسی به مقاومت۷۰/۵ مگاپاسکال و وزن مخصوص ۱۸۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب منتهی شد [۱۰]. تحقیقات و بررسی‌های روسیگنولو و همکارانش نشان داد که با استفاده از دانه‌های سبک می‌توان به مقاومت ۵۳/۶ مگاپاسکال و وزن مخصوص ۱۶۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب دست یافت [۱۱].

پوکه قدیمی‌ترین سبکدانه‌ای است که مورد استفاده قرار گرفته است و در اثر ورود مواد مذاب آتش‌فشانی به محیط‌های آبی مانند دریاها و دریاچه‌ها و سرد شدن سریع ایجاد می‌شود. رنگ آن سیاه، خاکستری روشن و قهوه‌ای تیره می‌باشد. به دلیل سرد شدن سریع مواد مذاب حباب‌های نسبتاً درشتی در آن ایجاد می‌شود که گاهی اوقات به هم پیوسته‌اند و تا سطح سنگدانه امتداد یافته‌اند. در ایران این سنگ با عنوان پوکهٔ معدنی قروه هم

Archive of SID

www.SID.ir

شناخته می‌شود؛ به این دلیل که معادن نسبتاً بزرگی از این سبکدانه در قروهٔ کردستان موجود است [۱۲]. هدف اصلی از تحقیق حاضر، تعیین رابطهٔ مقاومت فشاری با مقاومت کششی و وزن مخصوص بتن سبک ساخته‌شده با پوکهٔ معدنی قروه می‌باشد. به این منظور نمونه‌های متعددی ساخته شده و مورد آزمایش قرار می‌گیرد.

۲- برنامهٔ آزمایشگاهی

۲-۱- نمونه‌برداری

در حال حاضر منابع غنی از پوکه های معدنی درکشور وجود دارندکه تعدادی ازآنها در حال استخراج وبهره‌برداری هستندکه ازجمله این معادن می‌توان به معادن کردستان اشاره نمود. لیکن علیرغم پتانسیل بالای این مواد، مصرف آنها از لحاظ حجمی و تنوع کاربرد به صورت شایسته انجام نمی گیرد. یکی از دلایل عمدهٔ این مسأله، عدم شناخت کافی تولیدکنندگان واحدهای صنعتی از خواص مهندسی وکاربردهای بالقوه آنهاست.

در این پژوهش به منظور نمونه‌برداری، از معادن قروه استفاده شده است. قروه یکی از شهرهای استان کردستان است که در کیلومتر۸۷ جادهٔ شهرستان سنندج به سمت تهران، واقع گردیده است.

۲-۲- مصالح مصرفی

جهت ساخت نمونه‌ها از ماسهٔ به ابعاد mm ۰- ۵ شکسته به عنوان مصالح ریزدانه استفاده شده است که دانه‌بندی ماسه مطابق استاندارد ASTM-C۳۳۰ با مدول نرمی۳/۴۲، وزن مخصوص حقیقی۲۵۰۰کیلوگرم بر مترمکعب و وزن مخصوص ظاهری۱۶۵۰کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد [۱۳]. درشت‌دانه های مورداستفاده دراین مطالعه از نوع پوکهٔ معدنی اسکوریا می‌باشند. از دیدگاه ماکروسکوپی، پوکهٔ معدنی اسکوریا به رنگ خاکستری تیره متمایل به قهوه‌ای بوده که ظاهری شبیه به سنگپا دارد. این سنگ از متداول‌ترین نوع پوکه‌های معدنی بوده ومحققان مختلف مطالعات بسیار زیادی را در دنیا به منظور شناسایی خصوصیات وکاربردآنها انجام داده اند[۱۴].

دانه‌بندی پوکه در محدودهٔ مجاز دانه‌بندی مطابق با استاندارد ASTM-C ۳۳۰ و با ابعاد mm ۲/۳۶ - ۱۹ انتخاب گردیده است که دارای وزن ظاهری خشک ۸۵۰کیلوگرم بر متر مکعب و وزن مخصوص اشباع ۱۱۰۰کیلوگرم بر متر مکعب و نیز جذب آب ۱۲٪ می‌باشد.

سیمان مصرفی در مخلوط‌های آزمایشی، سیمان پرتلند نوع ۱-۴۲۵ می‌باشد که تولید کارخانهٔ سیمان کردستان بوده و چگالی آن برابر۳۱۵۰کیلوگرم بر متر مکعب است. مشخصات شیمیایی سیمان مورد استفاده در تحقیق، در جدول (۱) ارائه شده است.

میکروسیلیس مصرف شده در ساخت بتن سبک، محصول شرکت صنایع شیمی‌ساختمان آبادگران با وزن مخصوص ظاهری ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و دانسیتهٔ متراکم ۲۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. در تحقیق حاضر، ۰/۱ 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. مشخصات شیمیایی میکروسیلیس مورد استفاده در تحقیق، در جدول (۲) ارائه شده است.

نرمی بسیار زیاد میکروسیلیس، عامل اصلی پرکنندگی و کاهش نفوذپذیری در بتن بوده و از مهم‌ترین خواص فیزیکی آن به شمار می‌آید. نکتهٔ قابل توجه به هنگام مصرف پودر میکروسیلیس به ویژه برای مخلوط‌هایی با نسبت آب به سیمان پایین، آن است که کارایی مخلوط به دلیل نرمی زیاد پودر و نیاز مبرم به آب اضافی، به طور محسوس کاهش می‌یابد. لذا استفاده از فوق‌روان‌کننده امری اجتناب‌ناپذیر است. به همین علت در ساخت نمونه‌های بتنی به میزان ۰/۰۰۹ برابر وزن سیمان مصرفی، فوق‌روان‌کنندهٔ به کار گرفته شده است. فوق‌روان‌کنندهٔ مورد استفادهٔ محصول شرکت صنایع شیمی‌ساختمان آبادگران با وزن مخصوص ۱۱۰۰کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد و به صورت مایع و مخلوط با آب، به ترکیب بتن اضافه شده است.

۲-۳- ساخت نمونه‌ها

در تحقیق حاضر، نسبت‌های اختلاط اجزاء، مطابق استاندارد ۹۸- ACI ۲۱۱.۲ انجام گرفته است[۱۵]. بر این اساس، مقادیر اجزاء

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

عنوان	SIO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O
درصد	۲۰/۰۳	۴/۵۳	۳/۶۳	۶۰/۲۵	۳/۴۲	۲/۲۳	–	–

جدول ۲- مشخصات شیمیایی میکروسیلیس مصرفی

عنوان	SIO_2	SIC	C	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_3O	Na_2O	Na_2O,P_2O_5,SO,Cl
درصد	۹۳/۶	۰/۵	۰/۳	۰/۹	۱/۳	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۹

مخلوط‌های بتن سبک به روش حجمی با درنظرگرفتن درصد جذب آب نیم‌ساعته درشتدانهٔ سبک محاسبه گردید. همچنین مقدار آب با توجه به رطوبت طبیعی و حالت اشباع دانه‌ها، تصحیح شد [۱۶]. در کلیهٔ آزمایش‌ها، نسبت میکروسیلیس، برابر با ۱۰٪ وزن مصالح سیمانی در نظر گرفته شد. مقادیر محاسبه شده برای اجزای بتن برای ۱۲ نوع طرح اختلاط بتن (با توجه به پارامتر متغیر در نظر گرفته شده در هر طرح اختلاط) در جدول (۳)ارائه شده است. بنا بر اطلاعات موجود در جدول ۳ و محاسبهٔ مجموع وزن اجزای ترکیب بتن نسبت به وزن مخصوص آنها، می‌توان نشان داد که حجم مصالح مصرفی در طرح اختلاط، یک متر مکعب می‌باشد. به این منظور حجم مصالح مصرفی را مطابق فرمول زیر می‌توان تعیین نمود:

$$\frac{\text{سیمان}}{3150}+\frac{\text{آب}}{1000}+\frac{\text{فوق روان کننده}}{1100}+\frac{\text{میکروسیلیس}}{2200}+\frac{\text{ماسه}}{1650}+\frac{\text{بوکه}}{1100}$$

به عنوان نمونه، حجم مصالح مصرفی برای طرح اختلاط S2 به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{450}{3150}+\frac{142}{1000}+\frac{3.6}{1100}+\frac{50}{2200}+\frac{380}{1650}+\frac{521}{1100}=$$
$$0.143+0.142+0.003+0.023+0.230+0.474$$
$$\approx 1\ m^3$$

طبق استاندارد ASTM-C۳۳۰، نمونه‌های استوانه‌ای در قالب‌های با قابلیت استفادهٔ مجدد و یا قالب‌های یکبار مصرف ساخته می‌شوند. قالب‌های نوع اول معمولاً از جنس فولاد، چدن، برنج و انواع پلاستیک ساخته می‌شوند؛ درحالی که قالب‌های نوع دوم از صفحات فلزی، پلاستیک، محصولات کاغذی ضدآب و یا سایر موادی که خواص فیزیکی نظیر غیرقابل نفوذ بودن و عدم جذب آب و عدم تغییر طول راتأمین می‌کنند، ساخته می‌شوند. در این تحقیق، از قالب‌های پلاستیکی فشرده برای ساخت نمونه‌ها استفاده شده است.

به منظور جلوگیری از چسبیدگی بتن به جدار قالب، ابتدا جداره های داخلی قالب با یک لایهٔ نازک روغن معدنی آغشته گردید و سپس بتن در چند لایه داخل قالب ریخته شد. تراکم بتن‌های با اسلامپ بالا در سه لایه و با زدن ۲۵ ضربه به هر لایه توسط یک میلهٔ گرد به قطر ۱۶ میلی‌متر انجام گردید.

۲-۴- عمل‌آوری نمونه‌ها

پس از ساخت و قالب‌گیری نمونه‌های بتنی، نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و در حوضچهٔ آب به روش غرقاب کردن نگه‌داری گردیدند. در سن ۲۶ روز نمونه‌ها از حوضچه خارج و بعد از وزن کردن به مدت ۲ روز در هوای آزاد با دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک و دوباره وزن شدند و بعد از آن مورد آزمایش قرار گرفتند.

سطح بالای استوانه‌های بتنی که توسط ماله پرداخت و صاف می‌گردید، معمولاً جهت انجام آزمایش به اندازهٔ کافی یکنواخت نبوده و می‌بایست اقدامات دیگری بر روی آن انجام گیرد. تغییرات تا ۰/۰۵ میلی‌متر در سطوح بالا و پایین بر اساس استاندارد، مجاز می‌باشد. بدین منظور برای ایجاد سطوح صاف از خمیر سیمان سخت شده، روی بتن سخت شده استفاده شده است. پوشش به صورت نازک و به ضخامت ۱/۵ تا ۳ میلی‌متر و دارای مقاومتی نظیر مقاومت بتن آزمایش شونده اجرا گردید. علاوه برصاف بودن سطوح دوسر استوانه، به عمود بودن سطوح بر محوراستوانه نیز توجه گردید که این موضوع درواقع نشانگر موازی بودن سطوح دو انتهای استوانه می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج آزمایش‌ها

۳-۱-آزمایش مقاومت فشاری

ازآنجایی که مقاومت فشاری‌ای که ازخواص مهم بتن محسوب می‌شود و اطلاع ازاین پارامتر نقش مهمی درکنترل کیفیت بتن و اصلاح روش‌های تهیه آن دارد، مقاومت مشخصه بتن مقاومتی است که ۹۵ درصد نمونه‌ها مقاومتی بالاتر از آن دارند و تنها ۵ درصد از کلیهٔ نتایج آزمایش می‌توانندکمتر از این مقدار باشند. به دلیل آنکه بر اساس آیین‌نامهٔ ACI، برای انجام این پژوهش فقط نمونهٔ استوانه‌ای استاندارد ۱۵۰ mm × ۳۰۰ مورد قبول است و درصورت استفاده از نمونه‌های استوانه‌ای دیگر، می‌بایست از ضرایب تبدیل جهت تصحیح استفاده می‌شد، نمونه‌های بتنی به‌صورت استوانه‌ای استاندارد ۱۵۰ mm × ۳۰۰ تهیه گردیده و برای آزمایش از جک بتن شکن استفاده شده است. نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت فشاری و وزن مخصوص خشک مربوط به ۱۲ طرح اختلاط مورد نظر برای نمونه‌های بتنی در سن ۲۸ روز در جدول (۴)خلاصه شده است.در شکل (۱)، تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی برحسب تغییرات وزن مخصوص، به ازای مقادیر ثابت نسبت آب به سیمان نشان داده شده و در شکل (۲)،تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی بر حسب تغییرات وزن مخصوص، به ازای مقادیر ثابت پوکه نشان داده شده است.

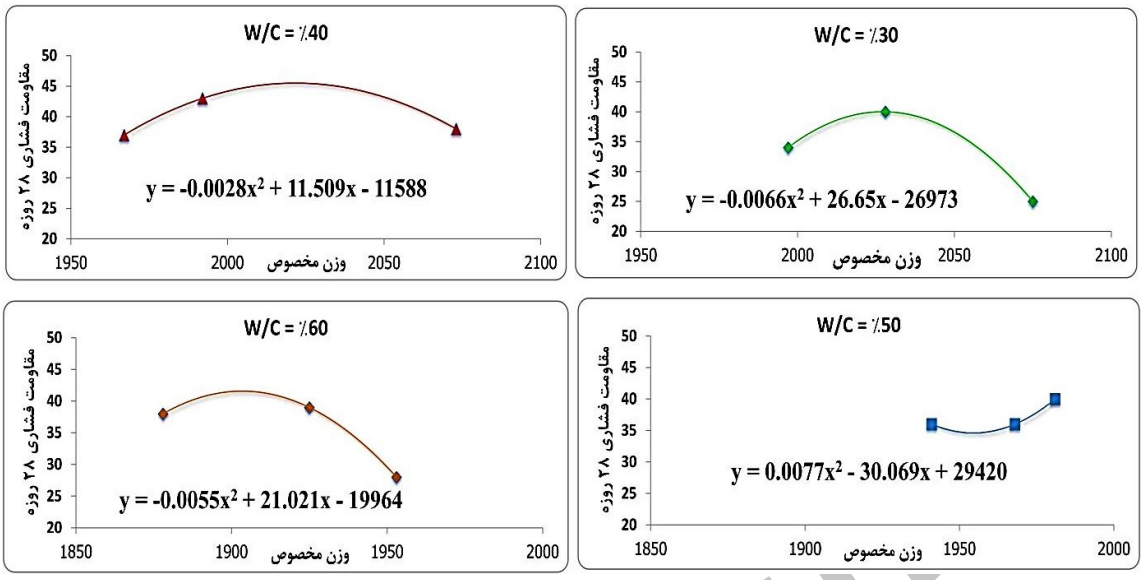
جدول ۳- مقادیر اجزای بکار رفته در یک مترمکعب مخلوط بتنی (کیلوگرم)برای طرح اختلاط S۱ تا S۱۲

شماره طرح	سیمان	نسبت آب به سیمان	آب	فوق‌روان‌کننده	میکروسیلیس	ماسه	پوکه	نسبت حجم پوکه به حجم کل سنگدانه
S۱	۴۵۰	۰/۳	۱۳۵	۳/۶	۵۰	۲۵۳	۵۹۶	۰/۸۰
S۲	۴۵۰	۰/۳	۱۴۲	۳/۶	۵۰	۳۸۰	۵۲۱	۰/۷۰
S۳	۴۵۰	۰/۳	۱۴۹	۳/۶	۵۰	۵۰۶	۴۴۷	۰/۶۰
S۴	۴۵۰	۰/۴	۱۷۳	۳/۶	۵۰	۲۳۹	۵۶۳	۰/۸۰
S۵	۴۵۰	۰/۴	۱۸۰	۳/۶	۵۰	۳۵۸	۴۹۳	۰/۷۰
S۶	۴۵۰	۰/۴	۱۸۷	۳/۶	۵۰	۴۷۸	۴۲۲	۰/۶۰
S۷	۴۵۰	۰/۵	۲۱۳	۳/۶	۵۰	۲۲۵	۵۳۰	۰/۸۰
S۸	۴۵۰	۰/۵	۲۱۹	۳/۶	۵۰	۳۳۷	۴۶۴	۰/۷۰
S۱۰	۴۵۰	۰/۶	۲۵۲	۳/۶	۵۰	۲۱۱	۴۹۷	۰/۸۰
S۱۱	۴۵۰	۰/۶	۲۵۸	۳/۶	۵۰	۳۱۷	۴۳۵	۰/۷۰
S۱۲	۴۵۰	۰/۶	۲۶۴	۳/۶	۵۰	۴۲۲	۳۷۳	۰/۶۰

جدول۴- نتایج میانگین مقاومت فشاری و وزن مخصوص نمونه‌ها

شماره طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	وزن مخصوص خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)	شماره طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	وزن مخصوص خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)
S۱	۳۳/۷۶	۱۹۹۷	S۷	۳۵/۲۳	۱۹۶۸
S۲	۳۹/۶۹	۲۰۲۸	S۸	۳۵/۸۵	۱۹۴۱
S۳	۲۵/۱۰	۲۰۷۵	S۹	۳۹/۴۴	۱۹۸۱
S۴	۳۶/۸۰	۱۹۶۷	S۱۰	۳۷/۹۶	۱۸۷۸
S۵	۴۲/۷۱	۱۹۹۲	S۱۱	۳۸/۴۰	۱۹۲۵
S۶	۳۷/۴۶	۲۰۷۳	S۱۲	۲۷/۹۴	۱۹۵۳

Archive of SID
www.SID.ir

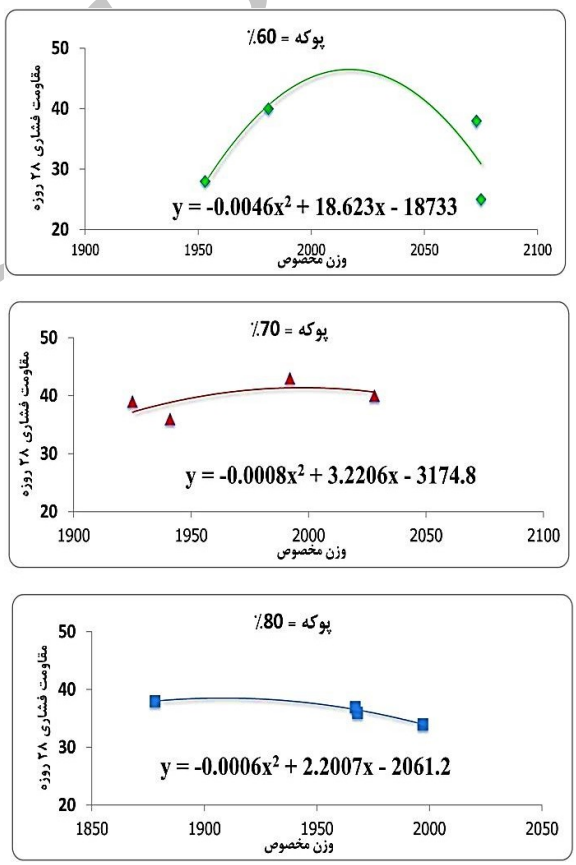


شکل ۱– تغییرات مقاومت فشاری برحسب تغییرات وزن مخصوص، به ازای مقادیر ثابت W/C

۳-۲- آزمایش مقاومت کششی

در این آزمایش که برای بارگذاری مستقیم بتن در بارگذاری کششی صورت می‌گیرد، بتن با چسبی بسیار محکم به صفحاتی فلزی می‌چسبد، به گونه‌ای که مقاومت چسب متصل‌کنندهٔ بتن و فلز از مقاومت کششی بتن بیشتر بود هودارای تغییرشکل‌های بسیارکم می‌باشد. این وسیله قادر خواهد بود به بعضی ازوسایل آزمایشگاه کشش فلزات و میلگرد نیز بچسبد.

در این آزمایش می‌توان کرنش بتن رابه صورت مستقیم محاسبه نمود. همچنین در این حالت امکان محاسبه کرنش جانبی نیز وجوددارد. در صورتی که بارگذاری دوره‌ای به صورت ناقص و در محدودهٔ کشش صورت بگیرد، می‌توان ازاین روش استفاده نمود. نتایج بدست آمده از آزمایش مقاومت کششی مربوط به ۱۲ طرح اختلاط مورد نظر برای نمونه‌های بتنی در سن ۲۸ روز در جدول (۵) خلاصه شده و با نتایج مقاومت فشاری مقایسه شده است.در شکل (۳)، تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های بتنی بر حسب تغییرات وزن مخصوص، به ازای مقادیر ثابت نسبت آب به سیمان نشان داده شده و در شکل (۴)، تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های بتنی برحسب تغییرات وزن مخصوص، به ازای مقادیر ثابت پوکه نشان داده شده است.



شکل ۲–تغییرات مقاومت فشاری بر حسب تغییرات وزن مخصوص، به ازای مقادیر ثابت پوکه

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۵- نتایج میانگین مقاومت فشاری و مقاومت کششی نمونه‌ها

شماره طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	مقاومت کششی (مگاپاسکال)
S۱	۳۳/۷۶	۴/۳۹
S۲	۳۹/۶۹	۳/۹۲
S۳	۲۵/۱۰	۳/۵۹
S۴	۳۶/۸۰	۴/۶۷
S۵	۴۲/۷۱	۴/۲۷
S۶	۳۷/۴۶	۴/۳۶
S۷	۳۵/۲۳	۴/۴۲
S۸	۳۵/۸۵	۴/۴۷
S۹	۳۹/۴۴	۴/۱۴
S۱۰	۳۷/۹۶	۴/۲۳
S۱۱	۳۸/۴۰	۴/۰۳
S۱۲	۲۷/۹۴	۳/۸۴

۳-۳- نسبت مقاومت فشاری به وزن مخصوص

با بررسی نتایج بدست آمده مشاهده می‌شود که هر کدام از متغیرهای وزن مخصوص و مقاومت فشاری برای بررسی طرح‌ها موثر می‌باشند. برای در نظر گرفتن اهمیت هر دو متغیر بطور همزمان، می‌توان از نسبت مقاومت فشاری به وزن مخصوص نمونه بتنی استفاده کرد. این نسبت برای هر کدام از طرح‌های اختلاط محاسبه شده و در جدول (۶) آمده است. با توجه به نتایج جدول (۶) مشاهده می‌گردد که در پژوهش انجام شده با در نظر گرفتن تأثیر همزمان دو عامل، اختلاط شمارهٔ **S۵** با بیشترین میزان نسبت مقاومت فشاری به وزن مخصوص، بهترین طرح اختلاط می‌باشد. همچنین بر اساس متغیر ذکر شده می‌توان طرح **S۵** را با سایر موارد دارای شرایط مشابه برحسب نسبت حجم پوکه ثابت و یا نسبت آب به سیمان ثابت مقایسه کرد.

۳-۳-۱- نسبت‌های ثابت حجم پوکه به حجم سنگدانه

با بررسی طرح اختلاط‌های مختلف، مشاهده می‌شود که علاوه بر طرح S۵، طرح‌های S۲و S۸ و S۱۱ نیز دارای حجم پوکهٔ برابر ۷۰ ٪ هستند. به منظور مقایسهٔ این طرح اختلاط‌ها با طرح اختلاط بهینه (S۸)، مقاومت فشاری و وزن مخصوص مربوط به آنها در جدول (۷) و (۸) آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، طرح‌های S۸ و S۱۱ نسبت به طرح بهینه دارای کاهش وزن مخصوص می‌باشند، اما از سوی دیگر به‌دلیل افت مقاومت فشاری زیادی که نسبت به طرح بهینه دارند برتری متغیر وزن مخصوص آنها در نظر گرفته نخواهد شد.

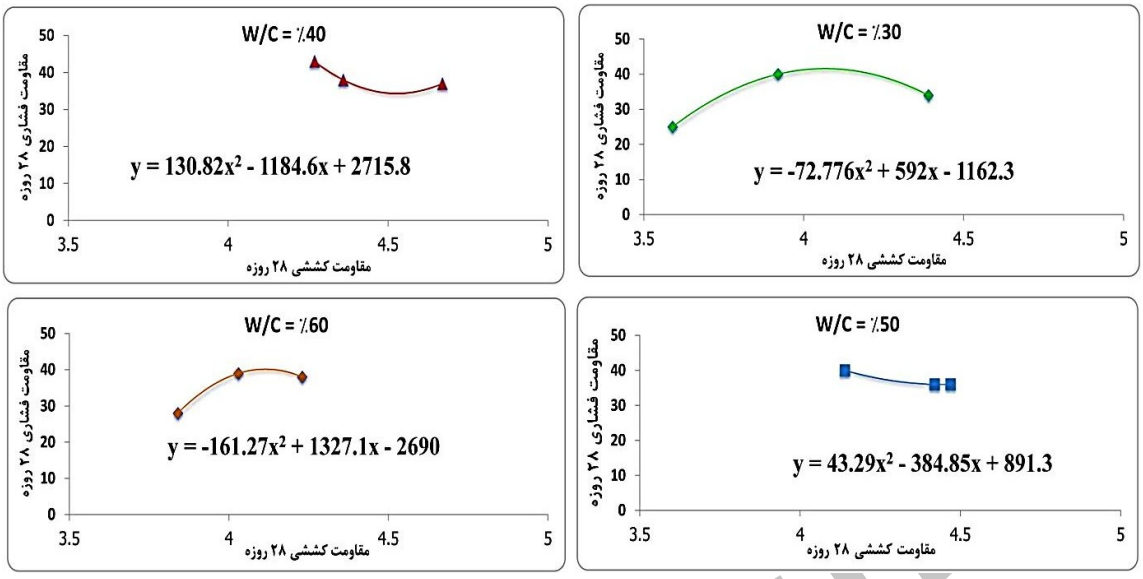
۳-۳-۲- نسبت‌های ثابت آب به سیمان

ویژگی طرح اختلاط‌های **S۴** و **S۶** این است که شبیه طرح **S۵** دارای نسبت آب به سیمان ثابت برابر ۴۰ ٪ می‌باشد. در این بخش، این طرح‌ها از نظر مقاومت فشاری و وزن مخصوص با طرح بهینه مقایسه شده‌اند. نتیجهٔ این مقایسه در جدول (۹) و (۱۰) آمده است. قابل مشاهده است که هر دو طرح اختلاط **S۴** و **S۶** نسبت به طرح بهینه دارای کاهش مقاومت فشاری می‌باشند. از سوی دیگر وزن مخصوص طرح **S۶** نسبت به طرح بهینه، بیشتر بوده و اختلاف وزن مخصوص طرح **S۴** نسبت به طرح بهینه، ناچیز می‌باشد.

۳-٤- نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی

با بررسی نتایج بدست آمده مشاهده می‌شودکه هرکدام از متغیرهای مقاومت فشاری و مقاومت کششی برای بررسی طرح‌ها مؤثر می‌باشند. برای در نظرگرفتن اهمیت هر دو متغیر به طورهمزمان، می‌توان از نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی استفاده کرد. این نسبت برای هرکدام از طرح‌ها ی اختلاط محاسبه شده و در جدول(۱۱)آمده است. با توجه به نتایج موجود در جدول (۱۱) مشاهده می‌گردد که اختلاط شمارهٔ **S۲** با بیشترین میزان نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی، بهترین طرح اختلاط می‌باشد. همچنین براساس نسبت ذکر شده می‌توان طرح **S۲** را با سایر موارد دارای شرایط مشابه برحسب نسبت حجم پوکهٔ ثابت و یا نسبت آب به سیمان ثابت مقایسه کرد که در ادامهٔ این بخش، به این موضوع پرداخته می‌شود.

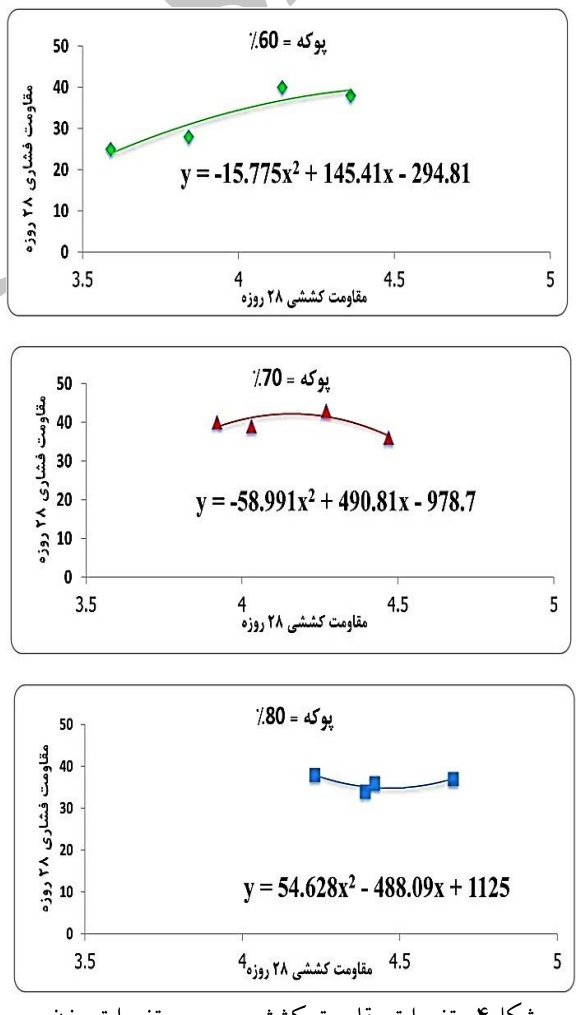
Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۳– تغییرات مقاومت کششی برحسب تغییرات وزن مخصوص، به ازای مقادیر ثابت W/C

جدول۶– نسبت مقاومت فشاری به وزن‌مخصوص

شماره طرح	نسبت مقاومت فشاری به وزن مخصوص
S۱	۰/۰۱۶۹
S۲	۰/۰۱۹۶
S۳	۰/۰۱۲۱
S۴	۰/۰۱۸۷
S۵	۰/۰۲۱۴
S۶	۰/۰۱۸۱
S۷	۰/۰۱۷۹
S۸	۰/۰۱۸۵
S۹	۰/۰۱۹۹
S۱۰	۰/۰۲۰۲
S۱۱	۰/۰۱۹۹
S۱۲	۰/۰۱۴۳



شکل۴– تغییرات مقاومت کششی برحسب تغییرات وزن مخصوص، به ازای مقادیرثابت پوکه

جدول۷– مقاومت فشاری طرح‌های با حجم پوکه ۰/۷۰

شماره طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	تغیرات مقاومت نسبت به طرح بهینه
S۲	۳۹/۶۹	۹ ٪ کاهش
S۵	۴۲/۷۱	۰
S۸	۳۵/۸۵	۱۷ ٪ کاهش
S۱۱	۳۸/۴۰	۱۱ ٪ کاهش

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۴-۱- نسبت‌های ثابت حجم پوکه به حجم سنگدانه

طرح **S۲** دارای ویژگی مشترک حجم پوکهٔ ۷۰٪ با طرح اختلاط‌های **S۵** و **S۸** و **S۱۱** می‌باشد. با مقایسهٔ مقاومت فشاری و مقاومت کششی این طرح‌ها می‌توان به نتایج سودمندی دست یافت. نتیجهٔ این مقایسه در جدول (۱۲) و (۱۳) خلاصه شده است. قابل مشاهده است که طرح‌های **S۸** و **S۱۱** نسبت به طرح بهینه دارای کاهش وزن مخصوص می‌باشند، اما به‌دلیل افت مقاومت فشاری زیادی که نسبت به طرح بهینه دارند، این موضوع اهمیت چندانی در عمل ندارد.

جدول۸- وزن مخصوص طرح‌های دارای حجم پوکه ۰/۷۰

شماره طرح	وزن مخصوص خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)	تغیرات وزن مخصوص نسبت به طرح بهینه
S۲	۲۰۲۸	۲ ٪ افزایش
S۵	۱۹۹۲	۰
S۸	۱۹۴۱	۳ ٪ کاهش
S۱۱	۱۹۲۵	۴ ٪ کاهش

جدول۹- مقاومت فشاری طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۰

شماره طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	تغیرات مقاومت نسبت به طرح بهینه
S۴	۳۶/۸۰	۱۴ ٪ کاهش
S۵	۴۲/۷۱	۰
S۶	۳۷/۴۶	۱۳ ٪ کاهش

جدول۱۰- وزن مخصوص طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۰

شماره طرح	وزن مخصوص خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)	تغیرات وزن مخصوص نسبت به طرح بهینه
S۴	۱۹۶۷	۱ ٪ کاهش
S۵	۱۹۹۲	۰
S۶	۲۰۷۳	۴ ٪ افزایش

جدول۱۱- نسبت مقاومت فشاری و مقاومت کششی

شماره طرح	نسبت مقاومت فشاری به مقاومت کششی
S۱	۷/۶۹۰
S۲	۱۰/۱۲۵
S۳	۶/۹۹۱
S۴	۷/۸۸۰
S۵	۱۰/۰۰۲
S۶	۸/۵۹۱
S۷	۷/۹۷۰
S۸	۸/۰۲۰
S۹	۹/۵۲۷
S۱۰	۸/۹۷۴
S۱۱	۹/۵۲۸
S۱۲	۷/۲۷۶

جدول۱۲- مقاومت فشاری طرح‌های با حجم پوکه ۰/۷۰

شماره طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	تغییرات مقاومت نسبت به طرح بهینه
S۲	۳۹/۶۹	۰
S۵	۴۲/۷۱	۸ ٪ افزایش
S۸	۳۵/۸۵	۱۰ ٪ کاهش
S۱۱	۳۸/۴۰	۴ ٪ کاهش

جدول۱۳- مقاومت کششی طرح‌های با حجم پوکه ۰/۷۰

شماره طرح	وزن مخصوص خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)	تغییرات وزن مخصوص نسبت به طرح بهینه
S۲	۳/۹۲	۰
S۵	۴/۲۷	۹ ٪ افزایش
S۸	۴/۴۷	۱۴ ٪ افزایش
S۱۱	۴/۰۳	۳ ٪ افزایش

Archive of SID

www.SID.ir

۳-٤-۲- نسبت‌های ثابت آب به سیمان

مقایسهٔ طرح S۲ با طرح اختلاط‌های S۱ و S۳ از نظر مقاومت فشاری و وزن مخصوص، به دلیل داشتن نسبت ثابت آب به سیمان برابر ۳۰ ٪، حائز اهمیت است. نتایج حاصل از این مقایسه در جدول (۱۴) و (۱۵) خلاصه شده است. همانگونه که قابل مشاهده است، طرحS۳ نسبت به طرح بهینه دارای کاهش وزن مخصوص می‌باشد، اما به دلیل افت مقاومت فشاری زیادی که نسبت به طرح بهینه دارد، این برتری در عمل با اهمیت نخواهد بود.

جدول۱۴- مقاومت فشاری طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۰

شماره طرح	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	تغیرات مقاومت نسبت به طرح بهینه
S۱	۳۳/۷۶	۱۵ ٪ کاهش
S۲	۳۹/۶۹	۰
S۳	۲۵/۱۰	۳۷ ٪ کاهش

جدول۱۵- وزن مخصوص طرح‌های با نسبت آب به سیمان ۰/۴۰

شماره طرح	وزن مخصوص خشک (کیلوگرم بر مترمکعب)	تغیرات وزن مخصوص نسبت به طرح بهینه
S۱	۴/۳۹	۱۲ ٪ افزایش
S۲	۳/۹۲	۰
S۳	۳/۵۹	۹ ٪ کاهش

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرات استفاده از پوکهٔ معدنی در میزان تغییرات مقاومت فشاری با مقاومت کششی و وزن مخصوص بتن سبک مورد مطالعه قرارگرفت. نتایج حاصل ازآزمایش‌های انجام شده در مورد مقاومت فشاری ۲۸ روزه بطور کلی نشان دادکه با بکار بردن سبکدانهٔ پوکه در طرح اختلاط بتن سبک به‌عنوان سنگدانه و ثابت نگه داشتن میزان سیمان و سایر مصالح مصرفی، در بیشتر موارد می‌توان مقاومت فشاری مطلوبی کسب کرد.

نتایج تحقیق نشان داد که ازدیاد حجم سبکدانهٔ پوکه در بتن سبک باعث افزایش مقاومت فشاری می‌شود، اما برای حجم‌های بیشتر از ۷۰٪ به‌دلیل افزایش حفرهٔ سنگدانه‌ای و ایجاد تنش بیشتر در اطراف سبکدانه، ممکن است موجب کاهش مقاومت فشاری گردد. همچنین مصرف زیاد پوکه، به‌خاطر میزان جذب آب بالای آن در ملات بتن، باعث افزایش میزان آب مصرفی در خمیر بتن و درنتیجه افزایش وزن مخصوص بتن می‌شود. از سوی دیگر کاهش حجم پوکه در بتن سبک و افزایش ریزدانه باعث کاهش استحکام بتن گشته و روند تخریب ماتریس بتن در اثر فشار ناشی از بارگذاری را تسریع می‌بخشد.

نشان داده شد که با افزایش نسبت آب به سیمان طرح اختلاط بتن سبک، در نسبت‌های بالای پوکه، مقاومت بتن دچار کاهش می‌شود. این موضوع، به این دلیل است که ورود میزان بالای آب به داخل خمیر سیمان، باعث روانی آن گشته و از چسبندگی آن کاسته شده و در نتیجه استحکام لازم بین خمیر و سنگدانه برقرار نمی‌شود. کاهش نسبت آب به سیمان و ثابت نگه داشتن آن در حدود ۴۰ ٪، باعث افزایش کارایی، کاهش وزن مخصوص و همچنین افزایش مقاومت فشاری بتن گردید.

با توجه تحقیقات و آزمایشات صورت گرفته، به عنوان یک نتیجهٔ کاربردی، می‌توان استفاده از پوکه به میزان ۷۰٪ حجم سنگدانه بتن در نسبت آب به سیمان ۴۰٪ و ثابت نگه داشتن میزان سیمان در حدود ۱۵٪ حجم بتن و استفاده از فوق‌روان‌کننده به منظور افزایش کارایی را بهترین حالت برای طرح اختلاط در نظر گرفت. در این حالت کاهش وزن مخصوص و همچنین افزایش مقاومت فشاری به میزان قابل‌توجهی نسبت به سایر طرح‌ها، مشاهده گردید.

۵- مراجع

[1]. Yassar E., "High Strength Light weight Concrete Made With Ternary Mixtures of Cement-Fly Ash–silica Fume and Scoria Aggregate," Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences; 2004, Vol. 28, Issue 2, p95.

[۲]. یزدانی، م.، اردکانی، ع.، هدایتی، ج.، "جایگاه بتن سبک سازه‌ای درایران وجهان- ضوابط آیین‌نامه‌ای وکاربرد"، مجموعه‌مقالات اولین کنفرانس ملی بتن سبک، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ص۲۷-۲۶، بهمن ۱۳۹۰.

[۳]. نقی پور، م.، حاتم، ا.، "کاهش جرم ساختمان ونقش آن در اقتصادی بودن طرح در مقابل زلزله"، مجموعه‌مقالات اولین

Archive of SID
www.SID.ir

کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، ص۲۴-۲۲، اردیبهشت۱۳۸۳.

[۴]. عدل‌پرور، م.، وثوقی‌فر، ح.، "استفاده از پانل‌های گچی خشک به‌عنوان مصالح نوین و سبک جهت کاهش تلفات ناشی از اثرات تخریبی زلزله در صنعت ساختمان"، مجموعه همایش عمران، معماری و شهرسازی کرمان،کرمان، ایران، ۱۳۸۴.

[۵]. باقری، س.م.ص.، سبزقبایی، ر.، حسینی، م.، "معماری سبک راهکاری برای ایمنی لرزه‌ای"، مجموعه‌مقالات اولین کنفرانس سازه ومعماری، تهران، ایران، ۱۳۸۶.

[۶]. حمیدی‌ژند، ج.، رضایی، م.، "مقایسهٔ اثرسبک‌سازی عناصر غیر سازه‌ای ساختمان در رفتار، قیمت تمام شده و سرعت اجرای مصالح مختلف"، مجموعه‌مقالات چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسرکشور،تهران، ایران، ۱۳۸۷.

[۷]. اکبری‌مهر، ه.، کاظمی، م.، "فناوری تیغه‌های سبک درکاهش مقاومت جانبی طرح ساختمان"، مجموعه‌مقالات کنفرانس بین‌المللی سبک‌سازی و زلزله، تهران، ایران، ۱۳۸۹.

[۸]. طراحی، م.، "مقاوم‌سازی و سبک‌سازی بوسیلهٔ بلوک‌های ایرکریت"، مجموعه‌مقالات کنفرانس بین‌المللی سبک‌سازی و زلزله، تهران، ایران، ۱۳۸۹.

[9]. Malhotra M.,"Properties of High-Strength Lightweight Concrete Incorporating Fly Ash – silica Fume," ACI.SP121-31,P.645,1990.

[10]. Shchenov N., Withcomb,"How to obtain Strength concrete using Density Aggregate," ACI. SP 121-33, P.683, 1990.

[11]. Rossignolo J.A.,Agenesini M.V.C, Morais J.A.,"Properties of High-performance LWAC for precast structure with Brazilian light weight aggregates," Cement and Concrete Composites, V.1, P.4-46, 2001.

[۱۲]. شکرچی‌زاده، م.، فرزانه‌پور، م.، علی لیبر، ن.، ناصری، ع.، "بررسی کاربرد سبک‌دانهٔ طبیعی اسکریا در بتن سبک‌سازه‌ای"، نشریهٔ داخلی انجمن بتن ایران، سال هفتم، شماره ۳۱، ۱۳۸۷.

[13]. 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.

[14]. Yassar, E., Atis, C.D., Kilic, A., Gulsen, H., "Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash," Materials Letters, V. 57, p. 2267-2270, 2003.

[15]. 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.

[۱۶]. مستوفی نژاد، د.، "تکنولوژی و طرح اختلاط بتن"، انتشارات ارکان، چاپ چهارم، ۱۳۸۰.

Archive of SID

www.SID.ir

Relationship Between Compressive Strength and Tensile Strength, and Special Weight of Lightweight Concrete Made with Kurdistan's Mineral Aggregate

A. R. Habibi*
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan
A. Vaziri
BSc of Civil Engineering, University of Kurdistan
A. Mohammadi
BSc of Civil Engineering, University of Kurdistan

(Received: 2013/10/1 - Accepted: 2013/11/20)

Abstract

Objective of this study is to determine relation between compressive strength and tensile strength, and also special weight of concrete made with lightweight aggregate exploited fromthe existing mines in Kurdistan of Iran. For this purpose, mineralandchemicaladmixtures are used in concrete mix design and to produce lightweight concrete. The variables considered in the mix design are the ratio of compressive strength to concrete special weight, and the ratio of lightweight aggregate to the total volume of aggregate.An experimental study was carried out to examineeffect of the mentioned variables,after making and curingconcrete specimens. The results of the study show thatin most of cases, favorable compressive strength can be obtained by using the lightweight aggregate and constant amounts of cement and other materials in the mix design.

Keywords: Lightweight Concrete; Compressive Strength; Tensile Strength; Special Weight; Mineral Lightweight Aggregate.

Archive of SID

* Corresponding Author: ar.habibi@uok.ac.ir

www.SID.ir