Archive of SID

تحقیقات بتن
سال هفتم، شمارهٔ دوّم
بهار و تابستان ۹۳
ص ۱۲۰- ۱۰۹
تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۳۰
تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۱۰

یادداشت پژوهشی

بررسی تاثیر دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا بر همگنی، مقاومت فشاری و قیمت تمام شدهٔ بتن سبک EPS

محمد رئیسی[G]
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
حامد عمادی
کارشناس مهندسی عمران، باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر

چکیده

بتن EPS یکی از انواع بتن سبک می‌باشد که در آن ذرات پلی استایرن منبسط شده (EPS) بسته به چگالی بتن، جایگزین بخشی یا تمامی سنگدانه‌ها می‌شوند. این نوع بتن ماده‌ای با جذب انرژی خوب می‌باشد و در ساختمان می‌توان از آن جهت شیب‌بندی طبقات و از بلوک ساخته شده با آن جهت ساخت دیوار غیر بار بر (پارتیشن) استفاده نمود. به دلیل اینکه ذرات EPS بسیار ریز می‌باشند و در ضمن آب گریز هستند، لذا در بتن EPS، ذرات EPS تمایل به جدا شدگی دارند و بتن ساخته شده از همگنی و روانی مناسب برخوردار نمی‌باشد و دارای مقاومت فشاری کم می‌باشد. در تحقیق حاضر با ساخت ۱۶ طرح اختلاط مختلف، تاثیر استفاده از دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا در بتن EPS، بر مقاومت فشاری و ظاهر آن از نظر همگنی مورد بررسی قرار گرفته است. نسبت آب به مواد سیمانی (W/CM) کلیه‌ی طرح‌های اختلاط بر روی ۰/۴ و چگالی کلیه‌ی طرح‌های اختلاط بر روی ۷۷۰ kg/m^3 تنظیم شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که استفاده‌ی همزمان از دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا در بتن EPS می‌تواند ضمن بهبود وضعیت ظاهری بتن، باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شود. در این تحقیق علاوه بر آزمایشات فوق، قیمت تمام شده برای ساخت یک متر مکعب بتن از هر یک از طرح‌های اختلاط محاسبه شده است نتایج بررسی اقتصادی نشان می‌دهد که اگر چه با استفاده از دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا در بتن EPS، قیمت تمام شده حداکثر ۲۰٪ افزایش می‌یابد اما می‌توان با این روش مقاومت فشاری را حتی تا ۲۶۲٪ افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: **بتن سبک، پلی استایرن، دوده سیلیس، مادهٔ هوازا، همگنی، مقاومت فشاری، قیمت.**

* نویسنده مسئول: raeesi@iaukhsh.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

سبک‌سازی ساختمان‌ها و همچنین صرفه‌جوئی در مصرف انرژی موضوعاتی هستند که در یک دهه‌ی اخیر مورد توجه دولت‌مردان و سیاست‌گذاران امر ساخت و ساز کشور و طراحان قرار،گرفته است. با توجه به رویکرد مسئولین به دو مقوله‌ی فوق، استفاده از مصالح نوین در صنعت ساختمان رونق پیدا کرده است. بتن سبک (lightweight Concrete) یکی از مصالح ساختمانی نوین می‌باشد که می‌تواند نیازهای فوق را تأمین نماید. استفاده از بتن سبک می‌تواند بار مرده‌ی ساختمان را کاهش دهد و از این‌رو باعث سبک‌سازی ساختمان می‌شود؛ از طرف دیگر بتن سبک به دلیل عایق بودن می‌تواند در مصرف انرژی صرفه‌جوئی نماید؛ به عبارتی بتن سبک را می‌توان یک مادهٔ چند منظوره در صنعت ساختمان بشمار آورد که مجموعه‌ای از ویژگی‌های فنی، اقتصادی و زیست محیطی و امکان تبدیل شدن به مادهٔ غالب در هزاره جدید این صنعت را دارا می‌باشد [۱].

بتن سبک را از نظر نوع کاربرد می‌توان به دو دسته‌ی بتن سبک سازه‌ای و بتن سبک غیر سازه‌ای تقسیم‌بندی نمود. استفاده از بتن سبک سازه‌ای در ساخت سازه‌هایی مثل ساختمان‌های بلند، پل‌های با دهانه‌های بسیار زیاد و سازه‌های دریایی به دلیل چگالی کم این نوع بتن که باعث ابعاد اجزای سازه مثل تیر، ستون و پی می‌شود، رو به افزایش است.چگالی بتن سبک سازه‌ای بین $1400\ kg/m^3$ و $1800\ kg/m^3$ می‌باشد. حداقل مقاومت فشاری بتن سبک سازه‌ای ۱۷ MPa می‌باشد [۲]. در مناطق زلزله‌خیز، آیین نامه‌ها حداقل مقاومت فشاری بتن سبک سازه‌ای را به ۲۰ MPa محدود می‌کنند. با انجام طرح اختلاط مناسب برای بتن سبک سازه‌ای می‌توان به مشخصات مکانیکی و دوام مشابه بتن معمولی دست یافت. بتن سبک سازه‌ای نسبت مقاومت به وزن بیشتری در اعضای سازه تامین می‌کنند [۳]. در بیشتر موارد، هزینه‌ی بیشتری که در تولید بتن سبک بوجود می‌آید با کاهشی که در ابعاد سازه، میزان آرماتور و حجم بتن ایجاد می‌شود، جبران می‌گردد و در مجموع هزینه‌ی کل ساخت ساختمان کاهش می‌یابد [۳].

استفاده از بتن سبک غیر سازه‌ای در اجزای غیر سازه‌ای ساختمان مانند دیوارهای جداکننده می‌تواند منجر به کاهش بار مرده و در نتیجه کاهش نیروی زلزله وارد بر سازه با توجه به کاهش وزن اعضا سازه شود. بتن سبک غیر سازه‌ای اغلب عایق مناسب صدا و حرارت است لذا این نوع بتن به نام بتن عایق نیز شناخته می‌شود. چگالی این نوع بتن کم‌تر از $800\ kg/m^3$ و مقاومت فشاری آن بین ۰/۷ MPa تا ۷ MPa می‌باشد [۲].

بتن سبک از نظر نحوه‌ی تولید به ۳ دسته تقسیم‌بندی می‌شود [۲].

۱- بتن سبک‌دانه: در این نوع بتن، از سنگدانه‌های سبک در ساخت بتن استفاده می‌شود.

۲- بتن اسفنجی: در حین ساخت این نوع بتن، با ایجاد کف یا گاز، حباب‌هایی در خمیر سیمان ایجاد می‌گردد و به این ترتیب بتنی با ساختار اسفنجی تولید می‌شود. حباب مورد نظر یا از طریق مواد کف‌زا در حین اختلاط تولید شده و یا به صورت کف آماده به مخلوط اضافه می‌شود. همچنین می‌توان با افزودن مواد واکنش زایی مانند پودر آلومینیوم به بتن تازه آن را تولید نمود. واکنش این مواد باعث ایجاد گاز در بتن و در نتیجه سبک شدن ماتریس سیمان آن می‌شود؛ بنابراین بسته به روش تولید، بتن‌های اسفنجی به دو دسته‌ی بتن کفی و گازی تقسیم‌بندی می‌شوند.

۳- بتن بدون ریز دانه: در این نوع بتن، ماسه از مخلوط بتن حذف می‌گردد.

۲- بتن سبک با دانه‌های پلی استایرن منبسط شده (EPS)

دانه‌های پلی استایرن (PS) یک نوع سبک دانه مصنوعی با چگالی پایین ($10\ kg/m^3$ تا $30\ kg/m^3$) و نوعی اسفنج پایدار متشکل از فضاهای خالی هوای گسسته در یک ماتریس پلیمری است [۴]. این ماده پلیمری ترمو پلاستیک است که در شرایط اولیه به فرم جامد بوده و می‌توان آن را در اثر بخار آب منبسط نمود [۵] و به شکل دانه‌های پلی استایرن انبساطی (Expanded Poly Styrene (EPS)) تبدیل نمود.

صنعت ساختمان دومین مصرف کننده‌ی عمده‌ی پلی استایرن انبساطی (EPS) با مصرف ۴۷/۸ درصد از تولید جهانی این محصول در سال ۲۰۱۰ میلادی بوده است. بر اساس نتایج ارائه شده توسط موسسه‌ی GBI (Global Business Intelligent)، تولید پلی استایرن و پلی استایرن انبساطی با رشد سالانه ۱/۴ درصد از ۱۳ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ میلادی به ۱۴/۹ میلیون تن در سال ۲۰۱۰ رسیده است، هرچند بازار برخی

www.SID.ir

Archive of SID

کشورها در شرایط اشباع در برابر این محصول قرار دارد، تقاضای جهانی برای تولید این محصول همزمان با رشد کشورهای در حال توسعه از جمله چین، برزیل، ایران، عربستان سعودی و هند درحال افزایش است، همچنین پیش بینی می‌شود با رشد ۴/۷ در صدی در سال، مصرف این محصول به ۲۳/۵ میلیون تن در سال ۲۰۲۰ افزایش یابد و منطقه‌ی خاورمیانه با توسعه ایران و عربستان سهم ۱/۷ درصدی داشته باشد و رتبه‌ی خود پس از چین، اروپا و آمریکا از بازار جهانی این محصول را حفظ نماید [۶].

پلی استایرن منبسط شده به دلیل سبک بودن و داشتن خاصیت عایق بندی حرارت و صوت کاربردهای زیادی در صنعت ساختمان بخصوص ساخت دیوارهای 3D و عایق بندی کف طبقات ساختمان‌ها پیدا کرده است.

دانه‌های پلی استایرن منبسط شده (EPS) به دلیل سبک بودن و دارا بودن سطحی صاف و گرد گوشه به راحتی قابلیت استفاده در ملات یا بتن سبک با طیف گسترده‌ای از چگالی را دارا هستند [۷]. دانه‌های EPS مورد استفاده در ساخت بتن یا ملات، بسته به چگالی مورد انتظار، جایگزین بخشی یا تمامی سنگدانه‌ها می‌شوند. بتن سبک EPS به دلیل چگالی کم و داشتن خاصیت عایق بندی حرارت و صوت، به تدریج کاربردهای مختلفی در صنعت ساختمان مثل شیب بندی طبقات، تولید بلوک‌های غیر باربر پیدا کرده است. بتن سبک EPS به دلیل دارا بودن خاصیت جذب انرژی، به عنوان لایه‌ی مقاوم در برابر ضربه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴].

تحقیقات جهت استفاده از EPS در تولید بتن سبک به سال ۱۹۷۳ میلادی و استفاده از آن به عنوان سنگدانه توسط cook باز می‌گردد [۸]، در این ۴ دهه تحقیقات متعددی توسط محققین انجام شده است. برخی از محققین مثل Babu و همکاران و Mied و همکاران تاثیر اندازه‌ی ذرات پلی استایرن را بر روی مشخصات مکانیکی بتن EPS مورد بررسی قرار داده‌اند [۷ و ۹]. برخی محققین مثل Babu، Ling و Teo تاثیر استفاده از مواد پوزولانی مثل دوده‌سیلیس، خاکستر بادی و خاکستر پوسته‌ی برنج را بر روی مشخصات مکانیکی بتن سبک EPS مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۲-۹]. برخی از محققین مثل Chen و Liu تاثیر استفاده از الیاف الیاف فولادی را بر روی خواص بتن سبک EPS بررسی نموده‌اند [۴]. Sadremomtazi و همکاران نیز با استفاده از شبکه‌ی عصبی، مقاومت فشاری بتن EPS را مدل‌سازی نمودند [۱۳]. Trussoni و همکاران مکانیک شکست بتن سبک EPS را بررسی نمودند [۱۴]. Madandoust و همکاران تاثیر استفاده از ذرات EPS را بر روی خواص بتن سبک خودتراکم سازه‌ای بررسی نمودند [۱۵].

دو عیب عمده، استفاده از دانه‌های EPS در ساخت بتن را محدود می‌کند [۴]:

۱- این ذرات بسیار سبک هستند و این چگالی بسیار پایین می‌تواند در فرآیند تولید بتن، منجر به بروز پدیده‌ی جداشدگی (segregation) آن‌ها گردد.

۲- این ذرات آب‌گریز(hydrophobic) هستند که این ضعیف منجر به ایجاد اتصال ضعیف بین این ذرات و ذرات سیمان می‌گردد.

محققان ۳ روش زیر را برای رفع این موارد ارائه نموده‌اند:

۱- استفاده از مواد مضاف چسباننده مانند چسب بتن (SBR) [۱۶]، امولوسیون اپوکسی آبی یا پخش کننده‌های آبی پروپونال پلی وینیل [۷].

۲- استفاده از پلی استایرن اصلاح شده شیمیایی توسط مواد آب دوست (hydrophilic) که قابلیت جلوگیری از جداشدگی را دارا می‌باشند [۱۷].

۳- استفاده از دوده‌سیلیس جهت افزایش چسبندگی بین سیمان و دانه‌های پلی استایرن [۴ و ۱۰].

Chen و Liu تأثیر استفاده از دوده سیلیس و الیاف فولادی را در این بتن مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیقات حاکی از افزایش حداکثر ۱۵ درصدی مقاومت بتن از طریق بهبود اتصال بین دانه‌های EPS و ماتریس سیمان و همچنین بهبود خواص مکانیکی و جمع شدگی با استفاده از دوده سیلیس و الیاف فولادی می‌باشد [۴ و ۱۰].

در تحقیق حاضر، علاوه بر بررسی تاثیر استفاده از دوده‌سیلیس، تاثیر استفاده از مادهٔ هوازا به عنوان عاملی در جهت کاهش میزان مصرف ذرات EPS مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تحقیقات گذشته استفاده از مادهٔ هوازا بر خواص بتن EPS بررسی نشده است. با توجه به اینکه جداشدگی ذرات EPS در بتن سبک غیر سازه‌ای به دلیل وجود حجم قابل توجه EPS بیشتر مشهود می‌باشد لذا تمرکز این تحقیق بر روی بتن سبک غیر سازه‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

متمرکز شده است. در این تحقیق برای مقایسه‌ی طرح‌های اختلاط، چگالی همه‌ی طرح‌های اختلاط بر روی چگالی حدود ۷۷۰ kg/m^3 تنظیم شده است.

۳- برنامه آزمایشگاهی

۳-۱- مصالح مصرفی و طرح‌های اختلاط بتن

برای انجام تحقیق حاضر و رسیدن به هدف فوق، ساخت ۱۶ طرح اختلاط مختلف برنامه‌ریزی گردید. مصالح مورد استفاده در این تحقیق به صورت زیر می‌باشند.

۱- سیمان پرتلند تیپ I از کارخانهٔ سیمان اصفهان با وزن مخصوص ۳/۱۵.

۲- دوده‌سیلیس (SF) محصول کارخانه‌ی فروسیلیس ایران با وزن مخصوص ۲/۱۲.

۳- ماسه‌ی آهکی ۵-۰ mm با وزن مخصوص ۲/۶۷ و با دانه‌بندی در محدودهٔ‌ی استاندارد ASTM C33 [۱۸] و با مدول نرمی ۲/۸.

۴- مادهٔ هوازا محصول شرکت BASF با وزن مخصوص ۱/۰۱ kg/m^3.

۵- پلی استایرن منبسط شده ۵-۰ mm با چگالی واقعی ۲۹ kg/m^3 و جذب آب ۱/۰٪ که نمونه‌ای از آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

۶- پلی استایرن منبسط شده ۵-۲ mm با با چگالی واقعی ۱۸ kg/m^3 و جذب آب ۱/۰٪.

لازم به ذکر است که با توجه به شناور بودن پلی استایرن بر روی آب و هم چنین تغییر حجم نسبی این ماده در مخلوط بتن تحت اثر فشارهای وارده، چگالی واقعی این ماده تنها از طریق آزمون و خطا و انجام عملیات معکوس پس از تولید بتن ممکن خواهد بود. در این تحقیق نیز چگالی پلی استایرن بر این اساس بدست آمده است.

شکل ۱- نمونه‌ای از پلی استایرن مورد استفاده در این تحقیق.

از بین ۱۶ طرح اختلاط ۸ طرح اختلاط (دسته‌ی A) با استفاده از پلی استایرن با چگالی ۱۸ kg/m^3 و ۸ طرح اختلاط (دسته‌ی B) با استفاده از پلی استایرن با چگالی ۲۹ kg/m^3 ساخته شد. هر ۸ طرح اختلاط دسته‌ی A بر روی نسبت آب به مواد سیمانی (W/CM) برابر ۰/۴ تنظیم گردید. در ۴ طرح اختلاط (گروه A1) از مقدار مواد سیمانی (سیمان و دوده‌سیلیس) (CM) برابر ۳۵۰ kg/m^3 و در ۴ طرح اختلاط دیگر (گروه A2) از مقدار مواد سیمانی (سیمان و دوده‌سیلیس) (CM) برابر ۴۰۰ kg/m^3 استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات طرح‌های اختلاط ساخته شده در این تحقیق با استفاده از پلی استایرن با چگالی ۲۹ kg/m^3 (دسته‌ی A).

شماره‌ی طرح اختلاط (دسته‌ی A)	میزان مصالح مورد استفاده برای ساخت بتن (kg/m^3)						چگالی بتن تازه (kg/m^3)	مقاومت فشاری (MPa)	
	سیمان	دوده‌سیلیس	ماسه	پلی استایرن	ماده هوازا	آب		۷ روزه	۲۸ روزه
A1-1	۳۵۰	۰	۲۶۰	۱۸/۰	۰	۱۴۱	۷۷۰	۱/۴۵	۱/۸۷
A1-2	۳۱۵	۳۵	۲۶۰	۱۸/۰	۰	۱۴۱	۷۷۱	۱/۷۳	۲/۴۶
A1-3	۳۵۰	۰	۲۶۰	۱۴/۶	۷	۱۴۱	۷۶۷	۱/۸۵	۲/۳
A1-4	۳۱۵	۳۵	۲۶۰	۱۴/۶	۷	۱۴۱	۷۷۲	۲/۳۷	۲/۷۴
A2-1	۴۰۰	۰	۱۹۰	۱۷/۶	۰	۱۶۱	۷۷۶	۱/۷	۱/۹
A2-2	۳۶۰	۴۰	۱۹۰	۱۷/۶	۰	۱۶۱	۷۷۵	۱/۷۷	۲/۵۷
A2-3	۴۰۰	۰	۱۹۰	۱۴/۱	۸	۱۶۱	۷۷۰	۱/۷۱	۲/۲۵
A2-4	۳۶۰	۴۰	۱۹۰	۱۴/۱	۸	۱۶۱	۷۷۷	۲/۷۴	۳/۷۲

www.SID.ir

Archive of SID

۸ طرح اختلاط دسته‌ی B نیز با نسبت آب به مواد سیمانی (W/CM) برابر ۰/۴ ساخته شدند. در ۴ طرح (گروه B1) از مواد سیمانی (سیمان و دوده‌سیلیس) (CM) برابر ۳۰۰ kg/m^3 و در ۴ طرح اختلاط دیگر (گروه B2) از مواد سیمانی (سیمان و دوده‌سیلیس) (CM) برابر ۳۵۰ kg/m^3 استفاده شده است.

در هر گروه از طرح‌های اختلاط، ۱ طرح اختلاط بدون دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا، ۱ طرح اختلاط با دوده‌سیلیس و بدون مادهٔ هوازا و ۱ طرح اختلاط بدون دوده‌سیلیس و با مادهٔ هوازا و ۱ طرح اختلاط با دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا ساخته شد. در طرح‌های اختلاطی که حاوی دوده‌سیلیس بودند، ۱۰٪ مواد سیمانی را دوده‌سیلیس تشکیل می‌دهند. میزان مصرف دانه‌های پلی استایرن در طرح‌های اختلاط با ساخت طرح‌های اختلاط مختلف و سعی و خطا بر روی چگالی حدود ۷۷۰ kg/m^3 تنظیم گردید.

در طرح‌های اختلاطی که حاوی مادهٔ هوازا بودند، مقدار مادهٔ هوازا طوری تنظیم گردید که ۲۰٪ پلی استایرن در داخل بتن با هوا جایگزین شود؛ بنابراین در این طرح‌های اختلاط، مقدار مصرف دانه‌های پلی استایرن کمتر از طرح‌های اختلاط بدون مادهٔ هوازا بودند. میزان مصرف مصالح مورد استفاده در ساخت طرح‌های اختلاط مختلف در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات طرح‌های اختلاط ساخته شده در این تحقیق با استفاده از پلی استایرن با چگالی ۱۸ kg/m^3 (دسته‌ی B).

شماره‌ی طرح اختلاط (دسته‌ی B)	میزان مصالح مورد استفاده برای ساخت بتن (kg/m^3)						چگالی بتن تازه (kg/m^3)	مقاومت فشاری (MPa)	
	سیمان	دوده‌سیلیس	ماسه	پلی استایرن	ماده هوازا	آب		۷ روزه	۲۸ روزه
B1-1	۳۰۰	۰	۳۵۰	۱۱/۳۲	۰	۱۲۰	۷۶۶	۰/۵	۰/۷۵
B1-2	۲۷۰	۳۰	۳۵۰	۱۱/۳۲	۰	۱۲۰	۷۶۵	۰/۵۵	۰/۸
B1-3	۳۰۰	۰	۳۵۰	۹/۰۵	۶	۱۲۰	۷۶۷	۲/۰۳	۲/۳۳
B1-4	۲۷۰	۳۰	۳۵۰	۹.۰۵	۶	۱۲۰	۷۶۴	۱/۸۴	۲/۸۷
B2-1	۳۵۰	۰	۲۸۰	۱۱/۱۵	۰	۱۴۰	۷۸۲	۱/۷۱	۲/۰۴
B2-2	۳۱۵	۳۵	۲۸۰	۱۱/۱۵	۰	۱۴۰	۷۸۱	۲/۰۲	۲/۲۱
B2-3	۳۵۰	۰	۲۸۰	۸/۹۲	۷	۱۴۰	۷۵۸	۲/۲	۲/۶
B2-4	۳۱۵	۳۵	۲۸۰	۸/۹۲	۷	۱۴۰	۷۶۱	۲/۷۴	۳/۲

۳-۲- برنامه آزمایشات و نتایج به‌دست آمده

۳-۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری و وضعیت ظاهری طرح‌های اختلاط

طرح‌های اختلاط توسط میکسر موجود در کارگاه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر ساخته شد. در شکل ۲، نمونه‌ای از شکل ظاهری بتن ساخته شده نشان داده شده است. مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط در سنین ۷ روز و ۲۸ روز اندازه‌گیری شد. در جداول ۱ و ۲ نتایج بدست آمده ارائه شده است. در شکل ۳ سطح ظاهری نمونه‌ای که آزمایش مقاومت فشاری بر روی آن انجام شده است، نشان داده شده است. با بررسی وضعیت ظاهری و مقاومت فشاری طرح‌های اختلاط نتایج زیر قابل استنتاج است.

۱- در طرح‌های اختلاط بدون دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا (طرح‌های اختلاط A1-1، A2-1، B1-1 و B2-1)، توزیع نامناسب دانه‌های EPS به ویژه در هنگام تراکم نمونه‌ها، مشهود بود و در ضمن دانه‌های پلی استایرن روی سطوح بتن نمایان بودند و سطوح بتن کاملا یکنواخت نمی‌باشد. در شکل ۲، نمونه‌ای از شکل ظاهری بتن ساخته شده بدون دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا نشان داده شده است. نکته‌ی دیگری که در طرح‌های اختلاط بدون دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا با ساخت طرح‌های اختلاط آزمایشی قابل توجه بود این است که اگر نسبت آب به مواد

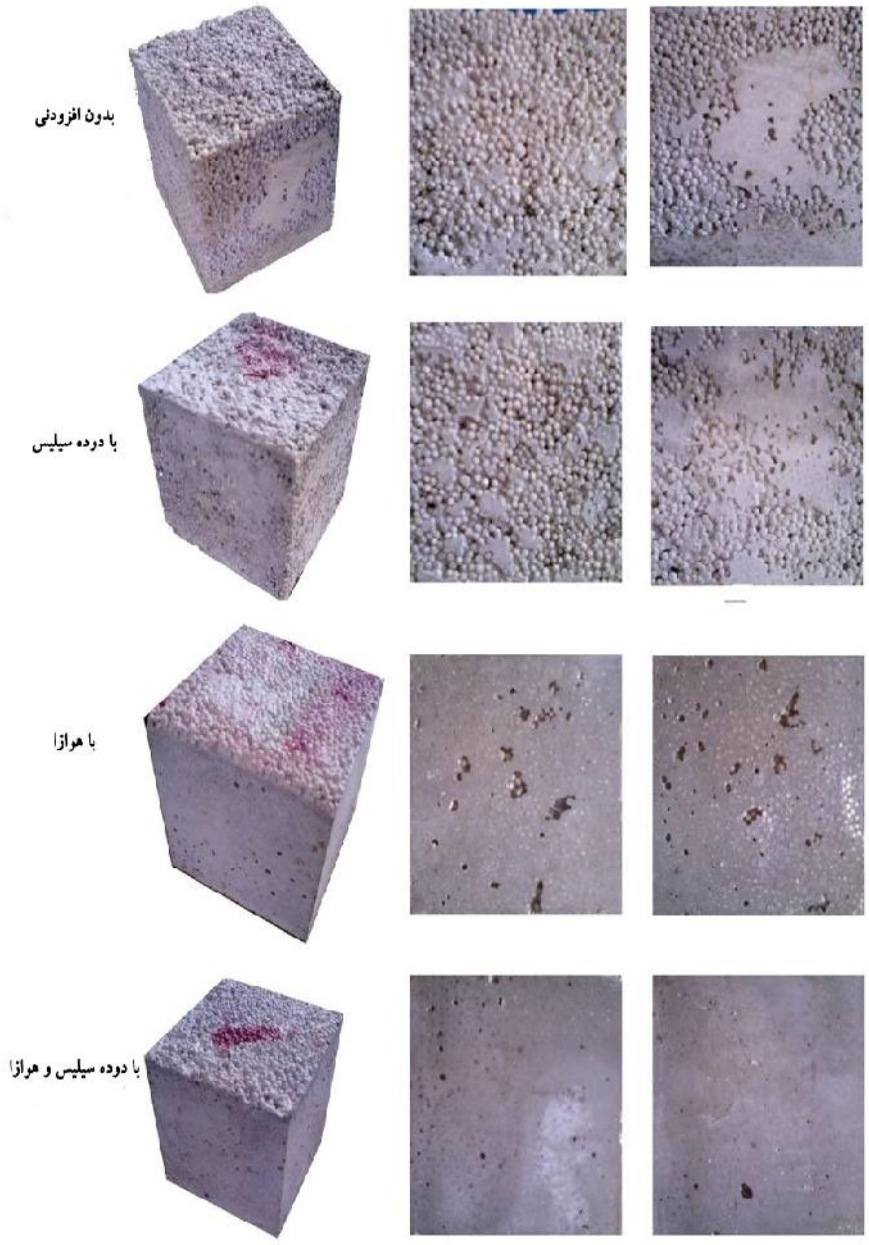
www.SID.ir

Archive of SID

سیمانی (W/CM) افزایش یابد و مقدار سیمان ثابت بماند، دانه‌های EPS شسته شده و جدا شدگی میان دانه‌های EPS و دیگر اجزا به وجود خواهد آمد.

۲- مشابه بتن معمولی در بتن EPS نیز با استفاده از دوده‌سیلیس، مقاومت فشاری افزایش می‌یابد.

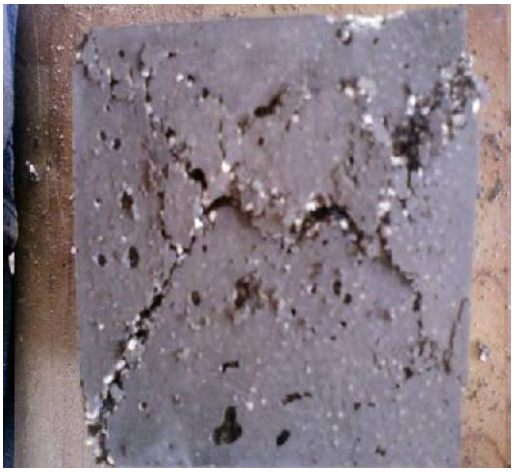
۳- نکته‌ی قابل توجه در طرح‌های اختلاط بتن با دوده‌سیلیس و بدون مادهٔ هوازا (طرح‌های اختلاط A1-2، A2-2، B1-2 و B2-2)، افزایش چسبندگی نسبی پلی استایرن و تا حدی توزیع بهتر دانه‌های EPS می‌باشد؛ البته در این مرحله نیز دانه‌های پلی استایرن در اضلاع جانبی نمونه‌ها نمایان می‌باشند. همانطور که در بخش قبلی عنوان شد، تحقیقات Chen و Liu در سال ۲۰۰۴ نیز نشان داده است که استفاده از دوده‌سیلیس، چسبندگی ذرات EPS به خمیر سیمان را افزایش می‌دهد [۴]. در شکل ۲، نمونه‌ای از شکل ظاهری بتن ساخته شده با دوده‌سیلیس و بدون مادهٔ هوازا نشان داده شده است.



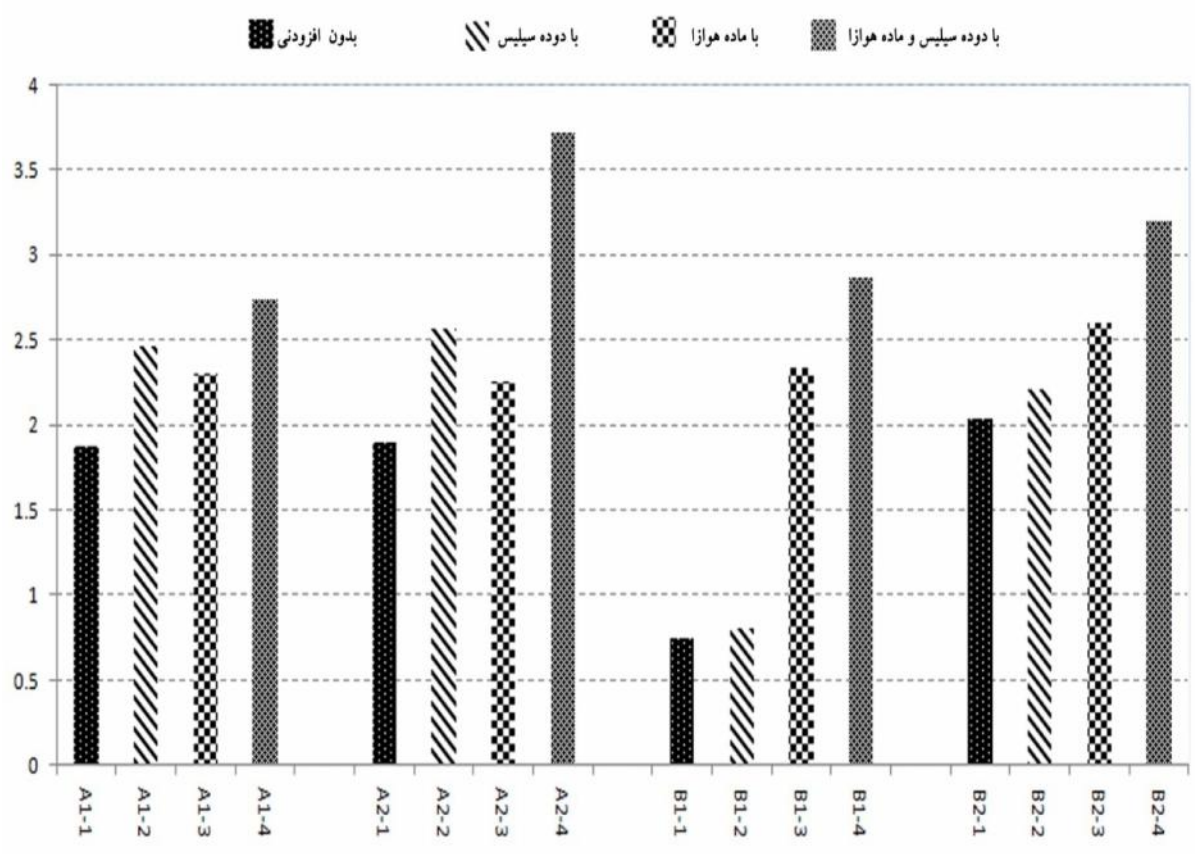
شکل ۲- شکل ظاهری نمونه‌ای از طرح‌های اختلاط ساخته شده.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- سطح شکست نمونه پس از انجام آزمایش مقاومت فشاری.



شکل ۴- مقایسه‌ی طرح‌های اختلاط بتن EPS از نظر مقاومت فشاری ۲۸ روزه.

۴- همانطور که در بخش قبلی گفته شد، طرح‌های اختلاط طوری تنظیم گردید که چگالی طرح‌های اختلاط با یکدیگر تقریباً برابر شوند؛ بنابراین در طرح‌های اختلاطی که حاوی مادهٔ هوازا بودند، مقدار پلی استایرن کاهش پیدا کرده است. نکته‌ی قابل توجهی که در طرح‌های اختلاط با ماده هوازا و بدون دوده‌سیلیس (طرح‌های اختلاط A1-3، A2-3، B1-3 و B2-3) وجود دارد این است که در اثر استفاده از مادهٔ هواساز، نمونه‌های بتنی تولید شده، همگن‌تر و با ظاهری نسبتا مناسب و سطحی مسطح بوده و نمونه‌ها شرایط مناسبی برای تراکم داشته و حتی در صورت استفاده از میز ویبره برای مدت زمان مناسب، مشکلی برای جداشدگی دانه‌ها وجود ندارد. علت این امر نیز به دلیل کاهش ۲۰٪ EPS می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵- در طرح‌های اختلاط با دوده‌سیلیس و ماده هوازا (طرح‌های اختلاط A1-4، A2-4، B1-4 و B2-4)، علاوه بر اینکه چسبندگی افزایش یافته است، مخلوط حاصل، از همگنی بهتری نسبت به سایر طرح‌های اختلاط برخوردار خواهد بود. در شکل ۲، نمونه‌ای از ظاهر بتن ساخته با دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا نشان داده شده است.

۶- به دلیل همگنی و چسبندگی بهتر بتن با دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا همانطور که در جداول ۱ و ۲ و شکل ۴ نیز مشاهده می‌شود، مقاومت فشاری بتن حاوی دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا بیشتر از سایر طرح‌های اختلاط می‌باشد. همانطور که در این جداول و شکل مشاهده می‌شود با استفاده از دوده‌سیلیس و ماده‌ی هوازا در داخل بتن EPS، در حالت استفاده از مواد سیمانی (CM) برابر ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ترتیب ۲۶۲٪ ، ۵۶/۹٪ (یا ۴۶/۵٪) و ۹۶٪ افزایش می‌یابد که این نشان دهنده‌ی تاثیر قابل توجه استفاده از دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا در افزایش مقاومت فشاری دارد.

۷- اگر چه به طور معمول استفاده از ماده‌ی هوازا در بتن، مقاومت فشاری بتن را کاهش می‌دهد اما در بتن EPS به دلیل اینکه با استفاده از ماده‌ی هوازا، بتن از همگنی بیشتری برخوردار می‌باشد لذا مقاومت فشاری بتن با ماده‌ی هوازا بیش‌تر از بتن بدون ماده‌ی هوازا می‌باشد؛ این رخداد در جداول ۱ و۲ و شکل ۴ مشهود می‌باشد.

۸- در طرح‌های اختلاط دسته‌ی A1 و B2، میزان سیمان، دوده‌سیلیس، ماسه و آب طرح‌های اختلاط مشابه برابر است و فقط اختلاف طرح‌های اختلاط مشابه در میزان وزن پلی‌استایرن مصرف شده به دلیل اختلاف چگالی پلی‌استایرن‌های مصرف شده می‌باشد. همانطور که در جداول ۱ و ۲ وشکل ۴ مشخص است، مقاوت فشاری بتن با پلی‌استایرن با چگالی بیشتر (دسته‌ی A1) از مقاومت فشاری بتن با چگالی کمتر (دسته‌ی B2)، بیشتر می‌باشد. این مسئله نشان می‌دهد که در حالت استفاده از پلی‌استایرن با چگالی بیشتر، چسبندگی سنگدانه‌ها به خمیر سیمان افزایش می‌یابد و جدا شدگی ذرات پلی‌استایرن کاهش می‌یابد؛ البته این رخداد در هنگام ساخت طرح‌های اختلاط نیز مشهود بود.

۹- همان‌طور که عنوان شد در کلیه‌ی طرح‌های اختلاط، نسبت آب به مواد سیمانی (W/CM) برابر ۰/۴ می‌باشد؛ در این طرح‌های اختلاط با افزایش میزان سیمان، حجم پلی استایرن در مخلوط کاهش می‌یابد و لذا مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد.

۳-۲-۲- آزمایش جذب آب موئین طرح‌های اختلاط

با توجه به اهمیت جذب آب مویین برای هر نوع مصالح ساختمانی به ویژه مصالحی که در اندر کنش با بتن و ملات‌های ساختمانی قرار دارند، در این تحقیق جذب آب مویینگی طرح‌های اختلاط به روش ارائه شده در استاندارد ISIRI ۹۱۷۳ [۱۹]، اندازه‌گیری شد.

جهت انجام آزمایش اندازه‌گیری جذب آب موئینگی، نمونه‌های کاملا خشک برای مدت ۱۰ دقیقه در داخل یک سینی که حاوی آب به ضخامت ۵ mm است، قرار می‌گیرد و قبل و پس از آن، توزین می‌شوند. متوسط مقادیر حاصل از رابطه‌ی (۱)، ضریب جذب آب ناشی از مویینگی خواهد بود. در این رابطه $m_{so,s}$ جرم نمونه پس از قرار گرفتن در داخل آب بر حسب گرم، $m_{so,dry}$ جرم نمونه پس از خشک شدن بر حسب گرم، A_s سطح کل وجهی از نمونه بر حسب میلی متر مربع است که در داخل آب قرار می‌گیرد و t_{so} مدت زمان غوطه‌وری نمونه بر حسب ثانیه می‌باشد. در جداول ۳ و ۴ نتایج مربوط به تعیین ضریب جذب موئینگی برای هر ۱۶ طرح اختلاط ارائه شده است. با دقت در نتایج بدست آمده می‌توان این‌طور استنتاج نمود که استفاده از پلی‌استایرن با چگالی بیش‌تر باعث افزایش جذب آب موئینگی بتن می‌شود.

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{so,dry}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times ۱۰^{۶} \qquad (۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- ضریب جذب آب موئینگی در طرح‌های اختلاط دسته‌ی A (با استفاده از پلی استایرن با چگالی $29\ kg/m^3$).

شماره طرح اختلاط	A1-1	A1-2	A1-3	A1-4	A2-1	A2-2	A2-3	A2-4
جذب آب مویینگی	۱۶/۲	۱۳/۱	۱۵/۰	۱۴/۳	۱۵/۸	۱۳/۵	۱۴/۹	۱۴/۲

جدول ۴- ضریب جذب آب موئینگی در طرح‌های اختلاط دسته‌ی B (با استفاده از پلی استایرن با چگالی $18\ kg/m^3$).

شماره طرح اختلاط	B1-1	B1-2	B1-3	B1-4	B2-1	B2-2	B2-3	B2-4
جذب آب مویینگی	۱۰/۷	۱۱/۲	۹/۰۷	۹/۰۷	۹/۰۷	۹/۰۷	۹/۰۷	۹/۰۷

۴- بررسی اقتصادی طرح‌های اختلاط

جهت مقایسه‌ی طرح‌های اختلاط از نظر اقتصادی، قیمت تمام شده‌ی ساخت هر متر مکعب از هر طرح اختلاط محاسبه گردید. جهت محاسبه‌ی این قیمت، قیمت در نظر گرفته شده برای مصالح مورد استفاده در ساخت طرح‌های اختلاط بر اساس قیمت روز در جدول ۵ ارائه شده است.

با توجه به مقادیر مصرف شده از هر مصالح جهت ساخت طرح اختلاط که در جداول ۱ و۲ارائه شده است و قیمت‌های در نظر گرفته برای هر مصالح، قیمت ساخت هر متر مکعب بتن از هر طرح اختلاط به‌صورت جداول۶ و۷ بدست می‌آید.

همانطور که در جداول ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، استفاده از دوده‌سیلیس و ماده‌ی هوازا در داخل بتن EPS، در حالت مواد سیمانی (CM) برابر ۳۰۰، ۳۵۰ و ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، قیمت تمام شده حداکثر به ترتیب ۱۶/۷٪، ۲۰/۷٪ و ۱۳/۹٪ افزایش می‌یابد. این افزایش قیمت در مقایسه با افزایش قابل توجهی که در مقاومت فشاری بتن با استفاده از دوده‌سیلیس و ماده‌ی هوازا ایجاد می‌شود، ناچیز است.

جدول ۵- قیمت هر یک از مصالح مصرفی در ساخت طرح‌های اختلاط.

	مصالح مورد استفاده برای ساخت بتن					
	سیمان	دوده‌سیلیس	ماسه	پلی استایرن	ماده هوازا	آب
قیمت هرکیلوگرم (تومان)	۱۰۰	۵۰۰	۹	۴۰۰۰	۱۷۰۰	-

جدول ۶- قیمت تمام شده برای ساخت ۸ طرح اختلاط د ستهٔ A (با استفاده از پلی استایرن با چگالی($29\ kg/m^3$).

شماره طرح اختلاط	قیمت هر یک از مصالح در یک متر مکعب بتن (هزار تومان)						قیمت تمام شده‌ی هر متر مکعب (هزار تومان)
	سیمان	دوده‌سیلیس	ماسه	پلی استایرن	ماده هوازا	آب	
A1-1	۳۵/۰	۰	۲/۳۴	۷۲/۰	۰	-	۱۰۹/۳۴
A1-2	۳۱/۵	۱۷/۵	۲/۳۴	۷۲/۰	۰	-	۱۲۳/۳۴
A1-3	۳۵/۰	۰	۲/۳۴	۵۸/۴	۱۱/۹	-	۱۰۷/۶۴
A1-4	۳۱/۵	۱۷/۵	۲/۳۴	۵۸/۴	۱۱/۹	-	۱۲۱/۶۴
A2-1	۴۰/۰	۰	۱/۷۱	۷۰/۴	۰	-	۱۱۲/۱۱
A2-2	۳۶/۰	۲۰/۰	۱/۷۱	۷۰/۴	۰	-	۱۱۸/۱۱
A2-3	۴۰/۰	۰	۱/۷۱	۵۶/۴	۱۳/۶	-	۱۱۱/۷۱
A2-4	۳۶/۰	۲۰/۰	۱/۷۱	۵۶/۴	۱۳/۶	-	۱۲۷/۷۱

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷- قیمت تمام شده برای ساخت ۸ طرح اختلاط دسته‌ی B (با استفاده از پلی استایرن با چگالی $18\ kg/m^3$).

شماره طرح اختلاط	قیمت هر یک از مصالح در یک متر مکعب بتن (هزار تومان)						قیمت تمام شده‌ی هر متر مکعب (هزار تومان)
	سیمان	دوده‌سیلیس	ماسه	پلی استایرن	ماده هوازا	آب	
B1-1	۳۰/۰	۰	۳/۱۵	۴۵/۲۸	۰	-	۷۸/۴۳
B1-2	۲۷/۰	۱۵/۰	۳/۱۵	۴۵/۲۸	۰	-	۹۰/۴۳
B1-3	۳۰/۰	۰	۳/۱۵	۳۶/۲	۱۰/۲۰	-	۷۹/۵۵
B1-4	۲۷/۰	۱۵/۰	۳/۱۵	۳۶/۲	۱۰/۲۰	-	۹۱/۵۵
B2-1	۳۵/۰	۰	۲/۵۲	۴۴/۶	۰	-	۸۲/۱۲
B2-2	۳۱/۵	۱۷/۵	۲/۵۲	۴۴/۶	۰	-	۹۶/۱۲
B2-3	۳۵/۰	۰	۲/۵۲	۳۵/۶۸	۱۱/۹	-	۸۵/۱۰
B2-4	۳۱/۵	۱۷/۵	۲/۵۲	۳۵/۶۸	۱۱/۹	-	۹۹/۱۰

جدول ۸- تاثیر استفاده‌ی همزمان از دوده‌سیلیس و ماده‌ی هوازا بر مقاومت فشاری و قیمت تمام شده‌ی بتن.

دسته‌ی طرح اختلاط	A1	A2	B1	B2
افزایش مقاومت فشاری (٪)	۴۶/۵	۹۶/۸	۲۶۲/۷	۵۶/۹
افزایش قیمت تمام شده (٪)	۱۱/۲	۱۳/۹	۱۶/۷	۲۰/۷

۵- خلاصه و نتیجه‌گیری

هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر استفاده از دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا بر مقاومت فشاری و همگنی بتن سبک غیر سازه‌ای EPS بود؛ بدین منظور ۱۶ طرح اختلاط که چگالی آن‌ها بر روی $770\ kg/m^3$ تنظیم شده بود، ساخته شد که مشخصات طرح‌های اختلاط و نتایج آزمایشات و بررسی‌های انجام شده بر روی آن‌ها در جداول ۱ تا ۷ ارائه شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که استفاده از دوده‌سیلیس با تامین چسبندگی بیشتر بین خمیر سیمان و ذرات پلی‌استایرن باعث بهبود کیفیت و مقاومت فشاری بتن EPS می‌شود و استفاده از مادهٔ هوازا نیز به دلیل کم نمودن حجم ذرات پلی‌استایرن به بهبود وضعیت ظاهری بتن و مشخصات مقاومتی بتن کمک می‌کند. استفاده از دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا بطور همزمان در طرح‌های اختلاط بتن تاثیر دو چندانی در بهبود وضعیت ظاهری و مقاومت فشاری بتن خواهد داشت که این مسئله در شکل ۲ و ۴ و جداول ۱ و ۲ مشهود می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود استفاده‌ی همزمان از دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا در طرح‌های اختلاط بتن، مقاومت فشاری را حتی تا ۲۶۲/۷٪ افزایش می‌دهد؛ این در حالی است که قیمت تمام شده‌ی بتن حداکثر ۲۰/۷٪ افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان این‌طور عنوان نمود که جهت ساخت بتن سبک غیر سازه‌ای با توجه به حجم زیاد پلی‌استایرن، استفاده از دوده‌سیلیس و مادهٔ هوازا تاثیر قابل توجهی بر مقاومت فشاری و وضعیت ظاهری بتن EPS خواهد داشت.

۶- تشکر و قدردانی

از حمایت‌های انجام شده توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر جهت انجام طرح تحقیقاتی تحت عنوان «بررسی تاثیر میکروسیلیس و مادهٔ هوازا بر همگنی و مقاومت فشاری بتن EPS» تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

[1]. Haque M.N. Al-Khaiat H. Kayali O. “Strength and durability of lightweight concrete”, Cement & Concrete Composites 26 307–314. 2004.
[2]. Neville, A.M.. “Properties of concrete”, Prentice Hall, p. 844. 2000.
[3]. CIP36, “Structural lightweight concrete, Concrete in practice”, Natural Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), 2003.
[4]. Chen B., Liu J. “Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with

www.SID.ir

Archive of SID

steel fiber", Cement and Concrete Research 34 1259–1263. 2004.
[5]. Babu D.S., Babu G.K., Tiong-Huan W., "Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete", Cement & Concrete Composites 28 520–527. 2006.
[6]. www.plastemart.com
[7]. Miled K., Sab K., Roy R. Le, "Particle size effect on EPS lightweight concrete compressive strength: Experimental investigation and modeling", Mechanics of Materials 39 222–240. 2007.
[8]. Cook D.J. "Expanded polystyrene beads as lightweight aggregate for concrete", Precast Concr. 4 691–693. 1973.
[9]. Babu D.S, babu K. G., Huan W. T. "Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete, Cement & Concrete Composites, 28 520-527. 2006.
[10]. Babu K.G., Babu D.S., "Behavior of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume", Cement and Concrete Research 33 755–762. 2003.
[11]. Li G., "Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO2". Cement & Concrete Research, 34 1043–9. 2004.
[12]. Ling I.H., Teo D.C.L., "Properties of EPS RHA lightweight concrete bricks under different curing conditions" Construction and Building Materials, 25 3648-3655. 2011.
[13]. Sadrmomtazi A, Sobhan J., Mirgozar M.A., "Modeling compressive strength of EPS lightweight concrete using regression, neural network and ANFIS", Construction and Building Materials 42 205–216. 2013.
[14]. Trussoni M., Hays C.D., Zollo R.F., "Fracture properties of concrete containing expanded polystyrene aggregate replacement", ACI Materials Journal 110 549-558. 2013.
[15]. Madandoust R., Ranjbar M.M., Mousavi S.Y., "An investigation on the fresh properties of self-compacted lightweight concrete containing expanded polystyrene", Construction and Building Materials 25 3721–3731. 2011.
[16]. Chen B., Liu J., "Mechanical properties of polymer-modified concretes containing expanded polystyrene beads", Construction and Building Materials 21 7-11. 2007.
[17]. Ravindrarajah R.S., Tuck A. J., "Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads", Cement & Concrete Composites 16 273-277. 1994.
[18]. ASTM C33-01, Standard specification for concrete aggregate, Annual Book of ASTM Standard; 04.02, 2003.
[۱۹]. ISIRI ۹۱۷۳، استاندارد روش آزمون جهت اندازه‌گیری ضریب جذب آب ناشی از مویینگی برای قطعات بنایی بتنی، سازمان ملی استاندارد ایران، ، چاپ :اول. ۱۳۸۶.

www.SID.ir

Archive of SID

Effect of Silica Fume (SF) and Air Entraining Agent (Aea) on Homogeneity, Compressive Strength and Cost of EPS Concrete

Mohammad Reisi*
[1]Department of Civil Engineering, Khomeinishahr branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr, Isfahan, Iran.
Hamed Emadi
Young Researchers and Elite Club, Khomeinishahr branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Abstract

EPS concrete is a type of lightweight concrete that can be produced by replacing the normal aggregate with expanded polystyrene (EPS), either partially or fully, depending upon the requirements of density. Expanded polystyrene (EPS) concrete is good energy-absorbing material and is used in building as partition blocks and floor leveling. However, due to the light weight of EPS beads and their hydrophobic surface, EPS concrete is prone to segregation during casting, which results in poor workability, homogeneity and lower strength. The present study was designed to investigate the effects of mix design parameters such as percentage of EPS instead of aggregate, silica fume (SF), air entraining agent (AEA) on compressive strength and homogeneity. In this research, 16 concrete mix designs with W/CM equal to 0.4 and density about 770 kg/m^3 were made. The results of this research show that using silica fume and air entraining agent can decrease segregation of EPS grains and improve bonding between EPS and cement paste, so the concrete mixture will have more homogeneity and compressive strength. In this research, production cost of mix designs was calculated. Economical investigation show that although using SF and AEA in EPS concrete increases cost of concrete up to maximum %20, it increases compressive strength even up to %262.

Keywords: Lightweight concrete; EPS; Silica Fume; Air entraining agent; Homogeneity Compressive strength, Cost.

* Corresponding author*:* raeesi@iaukhsh.ac.ir

www.SID.ir