

بررسی اقتصادی، زیست‌محیطی و دوام بتن سبک الیافی سازه‌ای

سیدمهدی سیدجعفر رنگز^۱، بهنود برمیه‌ور^{۲*}، مجید صافحیان^۳

^۱ کارشناسی ارشد دانشکده عمران- معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

^۲ استادیار دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران

^۳ استادیار دانشکده عمران- معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

دریافت: ۱۳۹۸/۸/۴، پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱، نشر آنلاین: ۱۴۰۰/۲/۱

چکیده

یکی از چالش‌های صنعت ساخت‌وساز احداث سازه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی است که علاوه بر تأمین مشخصات طراحی و سازه‌ای، از دوام و پایداری مطلوبی برخوردار باشد. از این‌رو این صنعت نیاز به در نظر گرفتن یک ارزیابی پایداری و انتخاب مصالح پایدارتر در جنبه‌های مهندسی، زیست-محیطی و اقتصادی خواهد داشت که این مهم، یکی از کلیدهای دستیابی به توسعه پایدار ساخت خواهد بود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اقتصادی، زیست‌محیطی و دوام بتن سبک و سبک الیافی و مقایسه آن با بتن معمولی می‌باشد. در این راه به‌منظور بررسی دوام، ۵ طرح اختلاط شامل بتن معمولی، بتن سبک ساخته‌شده با سبک‌دانه‌های رس منبسط‌شده و بتن سبک مسلح‌شده با الیاف‌های فولاد، شیشه و پلی‌پروپیلن با درصد حجمی ۱ درصد الیاف ساخته شد و سپس آزمایشات مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت الکتریکی چهار نقطه‌ای، نفوذ تسریع شده یون کلراید، تراوایی (عمق نفوذ آب در بتن) و جذب آب بتن سخت شده انجام گردید. در مرحله دوم برای بررسی زیست‌محیطی از استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ استفاده شد و این بتن‌ها از منظر سلامت انسانی، کیفیت اکوسیستم، تغییرات اقلیمی و منابع موردبررسی قرار گرفتند. در بخش سوم و در حوزه اقتصادی با مدل‌سازی یک سازه ۵ طبقه بتنی با بتن سبک و مقایسه آن با بتن معمولی، تغییرات احجام فولاد مصرفی ناشی از استفاده از بتن سبک به‌دست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد بتن‌های سبک ساخته‌شده با رس منبسط‌شده از دوام نسبتاً کم‌تری نسبت به بتن معمولی برخوردار می‌باشند، در حوزه زیست‌محیطی آسیب‌های بیشتری برای محیط‌زیست دارند و در حوزه اقتصادی، با کاهش در فولاد مصرفی نسبت به بتن معمولی همراه هستند.

کلیدواژه‌ها: بتن سبک الیافی، توسعه پایدار، دوام بتن، محیط‌زیست.

۱- مقدمه

بتن سبک در مقابل بتن معمولی (Bogas و Gomes، ۲۰۱۵) این بتن‌ها از خصوصیات مکانیکی ضعیف‌تری برخوردارند که برای تقویت آن می‌توان به اضافه کردن الیاف اقدام نمود (Libre و Shekarchi، ۲۰۱۱). با نگاه از منظری دیگر، بتن در بعدهای دیگری از زندگی انسان مانند جنبه‌های زیست‌محیطی و اقتصادی تأثیرگذار بوده است. به‌گونه‌ای که این ماده به‌عنوان دومین مصرف‌کننده عمده منابع طبیعی زمین بوده (استاندارد ایزو ۱۵۶۷۳، ۲۰۱۱) و اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده آن (سیمان و سنگ-دانه) از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان دی‌اکسیدکربن در زمین محسوب می‌شوند (مؤسسه زمین‌شناسی آمریکا، ۲۰۱۵) که پیامدهای زیست‌محیطی خطرناکی را برای زمین به‌دنبال دارد. به‌همین دلیل توسعه پایدار در فعالیتهای ساخت‌وساز، توجه مهندسين و متخصصان را در بیشتر کشورهای جهان به خود جلب

امروزه بتن به‌دلیل خصوصیات عالی مکانیکی، کارپذیری و در دسترس بودن در اکثر سازه‌هایی که به‌دست بشر ساخته می‌شود مورداستفاده قرار می‌گیرد (Jalali و Torgal، ۲۰۱۱). این ماده به-عنوان پرکاربردترین ماده مصرفی در صنعت ساخت‌وساز تنها به یک نوع محدود نمی‌باشد و انواع مختلف بتن با ویژگی‌ها، معایب و مزایای مختلفی وجود دارند که هرکدام بسته به نیاز مطرح در پروژه مورداستفاده قرار می‌گیرند. یکی از انواع بتن، بتن‌های سبک می‌باشد که در صنعت ساخت‌وساز و مهندسی عمران به‌طور موفقیت‌آمیزی مورداستفاده قرار گرفته است (Grabois و همکاران، ۲۰۱۶). که از برجسته‌ترین موارد کاربرد آن می‌توان ساخت برج‌های بلندمرتبه، پل‌های با دهانه زیاد و سکوهای نفتی را نام برد (Zou و Gao، ۲۰۱۵). در مقابل مزیت‌های چشم‌گیر

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۲۱-۶۶۷۳۳۴۱۰

محمودزاده‌کنی و همکاران (۱۳۹۶) به مقایسه اثرات زیست-محیطی ساخت بتن به دو روش:

۱- اجرای ساخت صنعتی با بتن معمولی پیش‌ساخته

۲- اجرای ساخت با بتن درجا ریز پرداختند.

پس از انجام آزمایشات مشخص می‌شود در مرحله تولید بتن، روش متعارف نسبت به روش صنعتی انرژی کم‌تری مصرف می‌کند و با تولید آلاینده کم‌تری همراه است.

خاموشی و دهقانی (۱۳۹۴) به ارزیابی اقتصادی طراحی قاب خمشی بتنی با استفاده از بتن سبک سازه‌ای پرداخته‌اند. در این تحقیق پس از مدل‌سازی یک سازه قاب خمشی بتنی با تعداد طبقات ۲، ۴، ۸ طبقه با بتن معمولی و بتن سبک، نتیجه‌گیری می‌شود که به دلیل کم‌تر بودن مدول الاستیسیته^۲ و سختی بتن سبک در مقایسه با بتن معمولی، لازم است ابعاد المان‌های سازه بزرگ‌تر شود. این افزایش ابعاد باعث می‌شود حجم مصرف بتن سبک اندکی بیشتر از بتن معمولی باشد. با این حال، میزان مصرف میلگرد در بتن سبک کم‌تر از بتن معمولی می‌باشد.

۳- برنامه آزمایش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی پتانسیل پایداری بتن‌های سبک، ۵ طرح اختلاط مختلف شامل: بتن معمولی، بتن سبک با استفاده از رس منبسط‌شده و بتن سبک مسلح‌شده با الیاف‌های فولاد، شیشه و پلی پروپیلن با درصد‌های حجمی ۱ درصد ساخته شد. سپس آزمایش‌های مقاومت مکانیکی و دوام بر روی نمونه‌ها انجام و نتایج با هم مقایسه شدند. در بخش بعد و به منظور ارزیابی زیست‌محیطی از استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ (۲۰۰۶) و برای مقایسه نتایج از متدولوژی^۳ IMPACT 2002⁺ (۲۰۰۱) استفاده گردید. همچنین در بخش اقتصادی با مدل‌سازی یک سازه ۵ طبقه بتنی با بتن سبک و بتن معمولی، مقایسه اقتصادی اجرای این پروژه‌ها صورت پذیرفت. در ادامه هر کدام از بخش‌های گفته‌شده تشریح و تفسیر خواهد شد.

۳-۱- بررسی دوام

یکی از مشخصات اصلی بتن که همواره می‌بایست مورد توجه مهندسين و کارشناسان قرار گیرد دوام بتن می‌باشد. دوام بتن سیمان پرتلند به توانایی آن برای مقاومت در برابر عوامل هوازدگی، حمله شیمیایی، سایش و یا هر فرآیندی که موجب آسیب دیدگی شود، گفته می‌شود (ACI201. 2R-01، ۲۰۰۱). در این پژوهش به منظور بررسی دوام سازه‌های ساخته‌شده با بتن سبک، ۵ طرح اختلاط شامل: بتن معمولی، بتن سبک، بتن سبک مسلح شده با

کرده است تا سازه‌های ایجادشده حداکثر دوام را در برابر شرایط محیطی داشته باشند، از لحاظ زیست‌محیطی کم‌ترین اثرات را برای محیط‌زیست ایجاد کنند و درعین حال از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و توجیه پذیر باشند (شریعتمداری و بنیانی، ۲۰۱۵). در این راستا پژوهش حاضر به بررسی اقتصادی، زیست‌محیطی و دوام بتن سبک سازه‌ای، بتن سبک الیافی و بتن معمولی، با دید توسعه پایدار می‌پردازد.

۲- مروری بر تحقیقات انجام شده

Heng Go و Hung Mo (۲۰۱۷) به بررسی خصوصیات مکانیکی، سختی، پیوستگی و دوام بتن‌های سبک مسلح شده با الیاف فولادی پرداختند. در این پژوهش، در آزمایش نفوذ آب، کم‌ترین و بیش‌ترین میزان نفوذ ۰/۵ و ۷۲ ساعته به ترتیب برای طرح‌های ۰/۵ و ۱/۰ درصد حجمی الیاف فولادی به دست آمد. اصفهانی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی اثر دانه‌بندی سبک‌دانه پومیس فاروج^۱ و افزودنی‌ها روی دوام بتن سبک‌دانه در برابر یخ‌زدگی پرداختند. در این پژوهش مشخص می‌شود با تغییر اندازه سبک‌دانه‌ها می‌توان از حجم حفرات کاسته و به خصوصیات مکانیکی و دوام افزود. حسنی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی دوام بتن الیافی با استفاده از الیاف پلی پروپیلن^۲ اصلاح‌شده به وسیله آزمایش چرخه یخ‌زدگی و ذوب‌شدگی پرداختند. در این پژوهش از درصد‌های مختلف پلی پروپیلن استفاده شده است. پس از انجام آزمایشات مشاهده می‌شود با افزایش نسبت استفاده از الیاف، دوام نمونه‌ها کاهش می‌یابد.

Robati و همکاران (۲۰۱۶) با ارزیابی زیست‌محیطی و خصوصیت گرمایی طرح اختلاط‌های متنوع بتن سبک، نشان دادند هر قدر میزان مقاومت بتن‌ها افزایش یابد، مقدار انتشار دی-اکسیدکربن نیز افزایش می‌یابد. نتایج ارزیابی‌های Li و همکاران (۲۰۱۹) بر چرخه حیات انتشار دی-اکسیدکربن در سازه‌های بتن مسلح مشخص می‌سازد بیش‌ترین میزان انتشار گاز دی-اکسیدکربن در سازه‌ها مربوط به فولاد و بتن می‌باشد.

Kurda و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی عملکرد زیست‌محیطی، مسمومیت و بررسی اقتصادی بتن‌های ساخته‌شده با خاکستر بادی و سنگ‌دانه‌های بازیافت شده بتن‌ها پرداختند. در این تحقیق نتیجه‌گیری می‌شود با به کار بردن خاکستر بادی می‌توان باعث کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی شده و هزینه‌های اقتصادی را کاهش داد، اما استفاده مجدد از سنگ‌دانه‌های بازیافتی از بتن تأثیر چشمگیری در کاهش اثرات زیست‌محیطی و هزینه‌ها ندارد.

3. Elastic modulus

1. Pumice Faroj
2. Polypropylene

جدول ۲- آنالیز شیمیایی سیمان

ترکیب	میزان (درصد)
SiO ₂	۲۲/۶۰
Al ₂ O ₃	۴/۰۹
Fe ₂ O ₃	۳/۴۸
CaO	۶۳/۲۵
MgO	۲/۷
SO ₃	۱/۵
Na ₂ O	۰/۲
K ₂ O	۰/۵۶

جدول ۳- مشخصات فوق روان کننده مصرفی

مقدار	مشخصات
رنگ	کهربایی
جرم حجمی (kg/m ³)	۱/۱۸
مقدار یون کلراید	فاقد یون کلراید
میزان مصرف	۰/۲ تا ۰/۸ درصد وزن سیمان
دمای انجماد	حدود ۳- درجه سانتی گراد

در این پژوهش برای مسلح کردن بتن سبک از سه نوع الیاف استفاده شده است که شامل الیاف های فولادی، الیاف شیشه و الیاف پلی پروپیلن می باشند. مشخصات الیاف مصرفی نیز در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴- مشخصات الیاف مصرفی

مشخصات	فولاد	شیشه	پلی پروپیلن
چگالی (kg/m ³)	۷/۸	۲/۷	۰/۹۱
طول (mm)	۵۰	۱۲	۱۲
قطر (mm)	۰/۹	۰/۱۸	۰/۱۸
ضریب ارتجاعی (Gpa)	۲۰۰	۸۰	۵
مقاومت کششی (Gpa)	۱/۱	۱/۶	۰/۴

برای ساخت بتن سبک از روش طرح اختلاط ظرفیت مقاومتی استفاده شده است. ظرفیت مقاومتی روشی می باشد که در آن با استفاده از نمودار ظرفیت مقاومتی، رابطه بین مقاومت بتن و ملات مشخص شده و در ادامه نسبت آب به سیمان، میزان آب، خمیر سیمان، مقدار ماسه و حجم درشت دانه برای ساخت طرح اولیه مشخص می شود. برای مرحله ساخت نیز در بخش بتن معمولی، ابتدا ۱۰ تا ۲۰ درصد آب اختلاط در میکسر ریخته شده و سپس سنگ دانه و سیمان و باقی آب اختلاط به تدریج اضافه شده و بتن برای مدت ۲ الی ۳ دقیقه مخلوط می شود. برای بتن سبک نیز ابتدا ۱۰ تا ۲۰ درصد آب اختلاط در میکسر ریخته شده و سپس

الیاف های فولاد، شیشه و پلی پروپیلن با درصدهای حجمی ۱ درصد ساخته شد. برای درشت دانه بتن سبک از سبک دانه های رس منبسط شده (لیکا) ^۴ و برای ریزدانه از ماسه استفاده شده است. مقدار سیمان و درصد آب به سیمان در همه طرح ها به منظور مقایسه تأثیر نوع سنگ دانه در بتن ثابت گرفته شد. آزمایش های مقاومت فشاری (BS EN 12390-3، ۲۰۰۹) و کششی در سن ۲۸ روزه (ASTM C496/C496M، ۲۰۱۱)، آزمایش های مقاومت الکتریکی چهار نقطه ای (AASHT T358، ۲۰۱۱)، نفوذ تسریع شده یون کلراید در بتن (AASHTO، T358، ۲۰۱۲)، عمق نفوذ آب در بتن (BS EN 12390-8، ۲۰۰۹) و آزمایش جذب آب بتن سخت شده (BS EN 1881-122، ۲۰۱۱) بر روی نمونه های بتنی انجام گردید. تمامی آزمایشات در آزمایشگاه انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران انجام گرفته است.

۳-۱-۱- معرفی مشخصات مصالح مصرفی

مصالح مصرفی در این پژوهش شامل درشت دانه شکسته طبیعی برای بتن معمولی و مصالح دانه ای رس منبسط شده (لیکا) به عنوان سبک دانه برای بتن سبک و همچنین ریزدانه شامل ماسه شکسته طبیعی برای هر دو نوع بتن می باشد. مشخصات مصالح سنگی مصرفی در جدول (۱) آورده شده است. سیمان مصرفی از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ با چگالی ۳۱۰۰ kg/m³ و از فوق روان کننده بر پایه نفتالین با نام اختصاری conf flow sp20 استفاده شده است. آنالیز شیمیایی سیمان و مشخصات فوق روان کننده به ترتیب در جدول های (۲) و (۳) ارائه شده است.

در این پژوهش پس از تعیین طرح اختلاط، ابتدا چندین طرح آزمایشی ساخته شده و سپس با اصلاح جرم ها و مقادیر روان کننده مورد نیاز، طرح های اختلاط برای بتن سبک، بتن های سبک الیافی (با ۱ درصد حجمی الیاف فولاد، شیشه و پلی پروپیلن) و بتن معمولی به دست آمده است.

جدول ۱- مشخصات مصالح سنگی مصرفی

مشخصات فیزیکی مصالح	رس منبسط شده	شن	ماسه
حداکثر اندازه اسمی سنگ دانه (mm)	۱۲/۵	۱۲/۵	۴/۷۵
وزن مخصوص ظاهری (kg/m ³)	۶۱۰	۲۶۵۰	۲۶۴۰
وزن مخصوص ظاهری در حالت SSD (kg/m ³)	۶۲۰/۳	۲۵۸۰	۲۵۴۰
درصد جذب آب	۱۰/۳	۱/۸	۲/۴

سبک‌دانه اضافه می‌شود. پس از آن به ترتیب ریزدانه و سیمان و باقی‌مانده آب اختلاط اضافه می‌شوند. مراحل ساخت بتن سبک الیافی نیز مشابه بتن سبک بوده با این نکته که الیاف مصرفی بعد از افزودن سبک‌دانه باید به طرح اختلاط افزوده شود. خاطرنشان می‌گردد در این پژوهش برای هر طرح اختلاط ۳ آزمون ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است.

پس از ساخت و باز شدن قالب‌ها نمونه‌ها به مدت ۲۸ روز در حوضچه‌های آب و آهک نگهداری شده و سپس آزمایش‌های مقاومت مکانیکی و دوام روی آن‌ها انجام شده است. جدول (۵) طرح اختلاط بتن سبک، معمولی و بتن‌های الیافی را نشان می‌دهد.

جدول ۵- طرح اختلاط بتن سبک و معمولی

نوع بتن	آب (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	شن (kg/m ³)	سبک‌دانه (kg/m ³)	نسبت آب به سیمان (درصد)	روان کننده (درصد)	الیاف فولاد (درصد)	الیاف شیشه (درصد)	الیاف پلی پروپیلن (درصد)	اسلامپ مخصوص (kg/m ³)	وزن
O.C	۱۶۰	۴۰۰	۱۱۱۰	۷۰۰	---	۰/۴	۰/۴	---	---	---	۷	۲۳۱۰
L.W.C	۱۶۰	۴۰۰	۱۱۱۰	---	۳۵۰	۰/۴	۰/۴	---	---	---	۱۱	۱۸۱۰
S.F.L.W.C	۱۶۰	۴۰۰	۱۱۱۰	---	۳۵۰	۰/۴	۰/۵	۱	---	---	۱۰	۱۸۱۵
G.F.L.W.C	۱۶۰	۴۰۰	۱۱۱۰	---	۳۵۰	۰/۴	۰/۵	---	۱	---	۱۱	۱۸۰۵
P.P.L.W.C	۱۶۰	۴۰۰	۱۱۱۰	---	۳۵۰	۰/۴	۰/۵	---	---	۱	۱۲	۱۸۰۸

جدول ۶- نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی در سن ۲۸ روزه

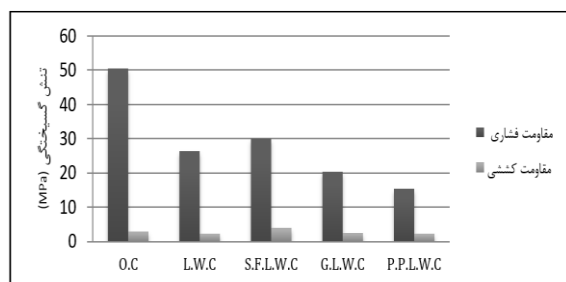
آزمایش	O.C	L.W.C	S.F.L.W.C	G.L.W.C	P.P.L.W.C
مقاومت فشاری (MPa)	۵۰/۵	۲۶/۶	۳۰	۲۰/۳	۱۵/۴
انحراف معیار نتایج آزمایش مقاومت فشاری	۰/۹	۰/۴۱	۰/۴۷	۰/۱۵	۰/۶
مقاومت کششی (MPa)	۳	۲/۲۶	۴	۲/۵۸	۲/۲
انحراف معیار نتایج آزمایش مقاومت کششی	۰/۰۶	۰/۷۵	۰/۱۷	۰/۳	۰/۰۷

۳-۱-۲- نتایج آزمایش‌های مقاومت‌های مکانیکی

در این پژوهش برای هر طرح اختلاط در آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی به ترتیب ۳ آزمون مکعبی ۱۵×۱۵ و استوانه‌ای ۱۵×۳۰ ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی در سن ۲۸ روزه در جدول (۶) و شکل (۱) نشان داده شده است.

در آزمایش مقاومت فشاری، نتایج به دست آمده نشان می‌دهند مقاومت فشاری بتن معمولی نسبت به بتن سبک (در صورتی که مقدار ماتریس سیمان یکسان باشد)، ۸۹ درصد بیشتر می‌باشد. همچنین مقاومت فشاری بتن سبک مسلح شده با الیاف فولادی نسبت به بتن سبک بدون الیاف ۱۲ درصد بیشتر است. در بتن‌های الیافی موضوع پخش‌شدگی الیاف موضوع مهمی است. در این تحقیق در ساخت بتن سبک مسلح شده با الیاف فولاد مشاهده شده است که الیاف فولادی در بتن سبک به طور یکنواخت پخش گردیده و بتن ساخته شده بسیار مطلوب و همگن می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود بتن‌های مسلح شده به الیاف‌های شیشه و پلی‌پروپیلن به ترتیب ۲۳ و ۴۲ درصد نسبت به بتن سبک افت مقاومت داشته‌اند. این افت مقاومت می‌تواند به دلیل پخش‌شدگی نامطلوب الیاف در بتن سبک اتفاق افتاده باشد.

نتایج به دست آمده در بخش مقاومت کششی نشان می‌دهند مقاومت کششی بتن معمولی نسبت به بتن سبک به میزان ۳۲ درصد بیشتر می‌باشد. بیشتر بودن مقاومت کششی بتن معمولی نسبت به بتن سبک می‌تواند به دلیل بیشتر بودن مقاومت سنگ-دانه نسبت به سبک‌دانه باشد. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده، گسیختگی نمونه بتن سبک از میان سبک‌دانه‌ها اتفاق افتاده است. در بتن مسلح شده با الیاف فولادی افزایش مقاومت به میزان ۷۷ درصد نسبت به بتن سبک را شاهد هستیم.



شکل ۱- نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی در سن

۲۸ روزه

روی نمونه‌های بتنی انجام شده است. نتایج آزمایش‌های دوام در جدول (۷) ارائه شده است. در آزمایش مقاومت الکتریکی ۴ نقطه-ای، مشاهده می‌شود بتن سبک نسبت به بتن معمولی ۲۴ درصد مقاومت الکتریکی کم‌تری داشته است. این کاهش مقاومت می‌تواند به دلیل تخلخل بیشتر بتن سبک نسبت به بتن معمولی بوده باشد. مقاومت الکتریکی بتن سبک مسلح شده با الیاف فولادی به میزان قابل توجهی پایین می‌باشد که دلیل آن هادی الکتریسیته بودن الیاف‌های فولادی و اثر آن روی نتایج آزمایش است. همچنین در بتن سبک مسلح شده با الیاف شیشه مقاومت الکتریکی نسبت به بتن سبک ۱ درصد کاهش و در بتن سبک مسلح شده با الیاف پلی پروپیلن ۱۳ درصد افزایش داشته است. با توجه به تخلخل بیشتر بتن‌های سبک مسلح شده با الیاف شیشه و پلی پروپیلن، انتظار این است که مقاومت کم‌تری نسبت به بتن سبک داشته باشیم، اما ظاهراً این الیاف‌ها به صورت عایق الکتریسیته عمل کرده و مانع از کاهش مقاومت الکتریکی شده‌اند. در آزمایش مقاومت نفوذ تسریع شده یون کلراید، همان‌طور که در شکل (۳) نمایش داده شده است، نتایج نشان می‌دهند مقاومت بتن سبک نسبت به بتن معمولی ۱۸۹ درصد کم‌تر می‌باشد. کم‌تر بودن مقاومت بتن سبک می‌تواند به دلیل متخلخل بودن آن و عبور راحت‌تر یون‌ها از فضای داخلی سبک‌دانه‌ها باشد. در بتن سبک مسلح شده با الیاف فولادی، میزان شار عبوری بسیار پایین و غیرمعمول است. دلیل این امر هادی الکتریسیته بودن الیاف‌های فولادی می‌باشد که در این حالت به دلیل عبور زیاد جریان، دستگاه آزمایش خطا داده و جریان را قطع می‌کند و نتیجه همان مقدار قطع شده گزارش می‌شود. همچنین نتایج آزمایشات نشان می‌دهند مقاومت در برابر نفوذ یون کلراید در بتن سبک حاوی الیاف شیشه ۹۲ درصد کم‌تر از بتن سبک است که این امر نشان‌دهنده تخلخل بیشتر این بتن می‌باشد. بتن سبک حاوی الیاف پلی پروپیلن نیز ۱ درصد مقاومت کم‌تری نسبت به بتن سبک دارد. در آزمایش مربوط به بتن‌های حاوی الیاف پلی پروپیلن دستگاه برای یکی از نمونه‌ها خطا داده و قطع می‌شود. برای دو نمونه دیگر نیز قبل از اتمام ۶ ساعت زمان آزمایش دستگاه متوقف می‌شود که این بیانگر بالا بودن میزان نفوذ و تخلخل بالا در بتن سبک مسلح شده با الیاف پلی پروپیلن می‌باشد. در آزمایش عمق نفوذ آب به داخل بتن سخت‌شده، میزان نفوذ آب در بتن معمولی نسبت به بتن سبک ۲۹ درصد کم‌تر می‌باشد که این کم‌تر بودن به دلیل تخلخل کم‌تر بتن معمولی نسبت به بتن سبک است.

شکل (۲) آزمونه‌های بتن سبک و بتن سبک مسلح شده بدون و با الیاف فولادی را پس از انجام آزمایش کشش نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود الیاف فولادی مانع انهدام کامل آزمونه شده است.



(الف)



(ب)



شکل ۲- الف) مرز گسیختگی بتن سبک، ب) بتن سبک بدون الیاف پس از گسیختگی در آزمون کششی، ج) بتن سبک مسلح شده با الیاف فولادی پس از گسیختگی در آزمون کششی

۳-۱-۳- نتایج آزمایش‌های دوام

همان‌طور که گفته شد در این پژوهش آزمایش‌های دوام مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای، نفوذ تسریع شده یون کلراید در بتن، تراوایی (عمق نفوذ آب در بتن) و جذب آب بتن سخت شده بر

۳-۲- ارزیابی زیست محیطی

ارزیابی چرخه حیات وسیله‌ای برای ارزیابی اثرات زیست-محیطی یک محصول در طول چرخه حیات آن می‌باشد. این ارزیابی به‌طور معمول با استفاده از استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ انجام می‌شود که دارای چهار مرحله است:

(الف) مرحله تعریف هدف و دامنه کاربرد

(ب) مرحله تجزیه تحلیل سیاهه

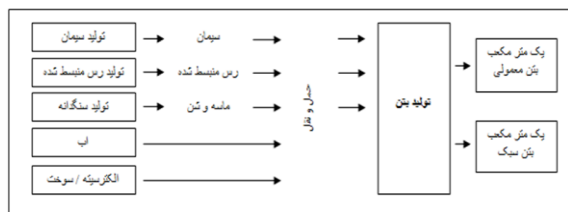
(ج) مرحله ارزیابی پیامد

(د) مرحله تفسیر

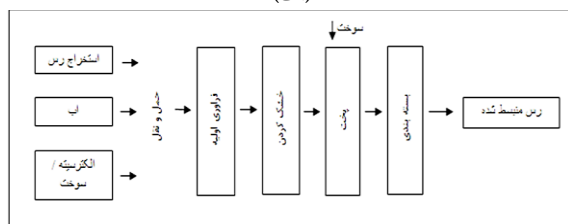
مراحل فوق، برای پژوهش حاضر به‌صورت زیر انجام گرفته است:

۳-۲-۱- مرحله تعریف هدف و دامنه کاربرد

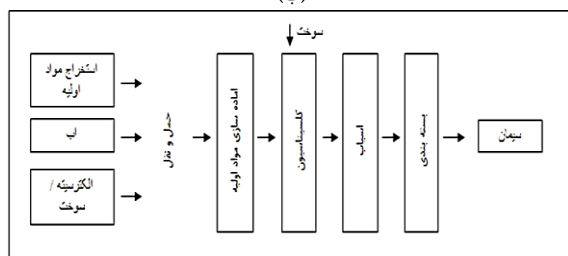
هدف از انجام این تحقیق، ارزیابی چرخه حیات برای یک مترمکعب بتن سبک و یک مترمکعب بتن معمولی به مشخصات آورده شده در جدول (۵) در مرحله تولید و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌باشد. در محاسبات ارزیابی مرحله حمل و نقل به دلیل متفاوت بودن وسایل نقلیه و سوخت و مسافت حذف شده و فرض بر این است که معادن در مجاورت کارخانه تولید بتن می‌باشند تا فقط محاسبات ارزیابی تولید انجام شود و انتظار است نتایج واقعی‌تری به‌دست آید.



(الف)



(ب)

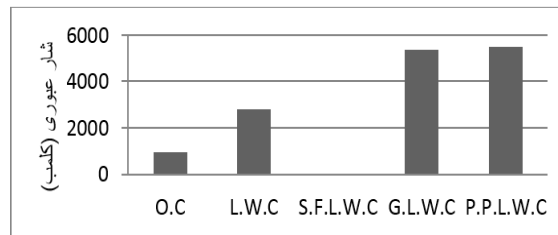


(ج)

شکل ۵- (الف) مرز سیستم تولید بتن معمولی و بتن سبک،

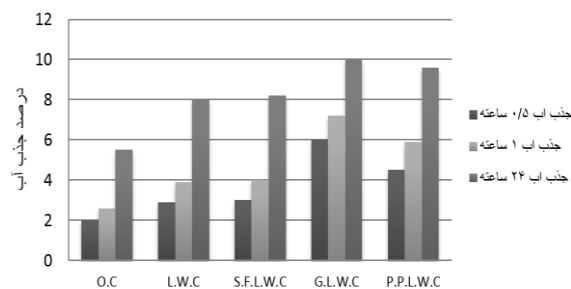
(ب) مرز سیستم تولید رس منبسط‌شده،

(ج) مرز سیستم تولید سیمان



شکل ۳- آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید

همچنین عمق نفوذ بتن‌های سبک مسلح شده با الیاف فولاد و شیشه به ترتیب ۵ و ۳۰ درصد بیشتر از بتن سبک می‌باشد که این خود نشان‌دهنده تخلخل بیشتر بتن‌های سبک الیافی نسبت به بتن سبک و اثر الیاف در ایجاد تخلخل و کاهش دوام در بتن می‌باشد. در آزمایش جذب آب بتن سخت‌شده نیز دوام بتن‌ها بر اساس تخلخل‌پذیری آن‌ها به خوبی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، درصد جذب آب بتن سبک نسبت به بتن معمولی ۴۵ درصد افزایش و درصد جذب آب بتن سبک مسلح شده با الیاف فولادی، شیشه و پلی پروپیلن نسبت به بتن سبک به ترتیب ۳، ۱۰۶ و ۵۶ درصد افزایش داشته‌اند. همچنین برای درصد جذب آب یک ساعته بتن‌ها، بتن سبک نسبت به بتن معمولی ۵۰ درصد افزایش جذب آب داشته است. بتن‌های سبک مسلح شده با الیاف فولاد، شیشه و پلی پروپیلن نیز نسبت به بتن سبک به ترتیب ۲، ۸۴ و ۵۱ درصد افزایش مقاومت داشته‌اند.



شکل ۴- جذب آب بتن سخت‌شده

در پایان نیز برای درصد جذب آب ۲۴ ساعته، بتن سبک ۴۵ درصد جذب آب بیشتری نسبت به بتن معمولی داشته است. بتن‌های سبک مسلح شده با الیاف‌های فولاد، شیشه و پلی پروپیلن نیز هرکدام به ترتیب ۲، ۲۵ و ۲۰ درصد جذب آب بیشتری نسبت به بتن سبک داشته‌اند. این آزمایش رابطه مستقیمی با میزان تخلخل بتن‌ها دارد و روند افزایش درصد آب‌های جذب‌شده در آزمایشات ۰/۵، ۱ و ۲۴ ساعته نشان‌دهنده وجود حفرات بیشتر بتن سبک نسبت به بتن معمولی و همچنین بتن سبک الیافی نسبت به بتن سبک و تأثیر الیاف در ایجاد حفرات بیشتر در بتن‌ها دارد.

همان‌طور که گفته شد مرز سیستم تولید بتن سبک و معمولی شامل تولید رس منبسط‌شده و سیمان نیز می‌باشد که مرز سیستم برای تولید آن‌ها به‌عنوان دو ماده اصلی تشکیل‌دهنده بتن به‌ترتیب در شکل‌های (۵-ب) و (۵-ج) آورده شده است.

شکل (۵-الف) مرز سیستم تولید بتن معمولی و بتن سبک را نمایش می‌دهد. این سیستم شامل تولید مصالح خام (سیمان، سنگ‌دانه، رس منبسط‌شده و ...) و یک تن بتن معمولی و سبک به‌عنوان خروجی سیستم می‌باشد. دیگر فازهای چرخه حیات مانند مراحل اجرا، نصب و پایان عمر به‌دلیل مشابه بودن برای هر دو نوع بتن سبک و معمولی از سیستم حذف شده است.

جدول ۷- نتایج آزمایش‌های دوام

آزمایش	O.C	L.W.C	S.F.L.W.C	G.L.W.C	P.P.L.W.C
مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای	۱۱/۷۶	۹/۴۶	۲/۳	۹/۵۶	۱۰/۷
انحراف معیار نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی ۴ نقطه‌ای	۰/۲	۰/۱۸	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۰۸
نفوذ تسریع شده یون کلراید (کلمب) ^۵	۹۶۲	۲۷۸۵	۴۱/۵	۵۳۶۱	۵۴۸۳
انحراف معیار نتایج آزمایش نفوذ تسریع شده یون کلراید	۷۷۴	۱۶۰	۳۲	۵۳۶	۴۲۷
تراوایی (عمق نفوذ آب)	۲۷	۳۵	۳۷	۴۵/۵	۴۷/۷
انحراف معیار نتایج آزمایش تراوایی	۰/۸	۶	۱۰	۸/۵	۸
درصد جذب آب ۰/۵ ساعته	۲	۲/۹	۳	۶	۴/۵۳
انحراف معیار نتایج آزمایش درصد جذب آب ۰/۵ ساعته	۰/۰۴	۰/۱۲۴	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۱۲۴
درصد جذب آب ۱ ساعته	۲/۶	۳/۹	۴	۷/۲	۵/۹
انحراف معیار نتایج آزمایش درصد جذب آب ۱ ساعته	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۳
درصد جذب آب ۲۴ ساعته	۵/۵	۸	۸/۲	۱۰	۹/۶
انحراف معیار نتایج آزمایش درصد جذب آب ۲۴ ساعته	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۰۹

جدول ۸- نتایج آسیب‌های پایانی اجزا تشکیل‌دهنده بتن‌های سبک و معمولی

آسیب‌ها	لیکا	سیمان	ماسه	شن
سلامت انسانی	-۰۷E ۲/۳۰	-۰۷E ۱/۸۶	-۰۸E ۲/۰۰	-۰۸E ۲/۰۰
کیفیت اکوسیستم	-۰۲E ۱/۹۱	-۰۲E ۲/۵۱	-۰۳E ۴/۳۱	-۰۳E ۴/۳۱
تغییرات اقلیمی	-۰۱E ۳/۰۵	-۰۱E ۸/۰۶	-۰۲E ۳/۴۰	-۰۲E ۳/۴۰
منابع	+۰۰E ۴/۵۶	+۰۰E ۳/۴۸	-۰۱E ۵/۴۸	-۰۱E ۵/۴۸

جدول ۹- نتایج آسیب‌های پایانی ۱ تن بتن سبک و معمولی طبق طرح‌های اختلاط

آسیب‌ها	بتن معمولی	بتن سبک
سلامت انسانی	-۰۴E ۱/۱۰	-۰۴E ۱/۷۲
کیفیت اکوسیستم	+۰۱E ۱/۷۴	+۰۱E ۲/۰۴
تغییرات اقلیمی	+۰۲E ۳/۸۳	+۰۲E ۴/۵۸
منابع	+۰۳E ۲/۳۷	+۰۳E ۳/۴۵

فرآیند تولید سبک‌دانه رس منبسط‌شده از پنج مرحله تشکیل شده است:
(۱) استخراج مواد اولیه: در مرحله اول طبیعی از معادن استخراج می‌شود.

۳-۲-۲- مرحله تجزیه تحلیل سیاهه
در این مرحله به تجزیه و تحلیل فرآیند تولید رس منبسط‌شده و سیمان به‌عنوان دو بخش اصلی تشکیل‌دهنده بتن معمولی و سبک می‌پردازیم.

۲) حمل و نقل: مرحله دوم انتقال مواد اولیه از معدن به کارخانه تولید رس منبسط شده می باشد.

۳) فرآوری اولیه: رس استخراج شده از معدن پس از ورود به کارخانه وارد یک آسیاب سنگی می شود که صفحه زیرین این آسیاب مشبک، سوراخ هایی به قطر ۱۴ تا ۱۸ میلی متر دارد. در این آسیاب به خاک، آب افزوده می شود تا به گل تبدیل شود و از سوراخ ها عبور کند. گل از زیر این آسیاب به آسیاب دیگری که بیشتر یک مخلوط کننده است وارد می شود تا اگر رطوبت کافی نداشت به آن باز هم آب اضافه شود. در این مرحله گل در صورت نیاز با افزودنی های خاصی مخلوط می شود. پس از ورز دادن گل به صورت ورقه های نازک از آسیاب غلتکی خارج می شود.

۴) خشک کردن: خشک کردن به مجموعه مراحل گفته می شود که بین دو مرحله فرآوری و پخت انجام می گیرد. در این مرحله گل با حرکت در کوره خشک کن به تدریج خشک می گردد و تبدیل به گندوله^۶ می شود.

۵) مرحله پخت: در این مرحله دانه های خشک شده (گندوله ها) در معرض حرارت قرار می گیرند. پس از اعمال دو مرحله حرارت دهی پشت سرهم، حرارت کوره به ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد می رسد که ماده را تا مرز ذوب می رساند و در همین حال، کلیه مواد سوختی سعی در خروج از محیط دارند. اما به دلیل ماهیت رس که در آن اتصال ذرات به هم شدید است فشار گازهای حاصل ایجاد حباب می نماید و محیط متخلخل به وجود می آورد و به این صورت سبک دانه تولید می شود. محصول پس از پخت توسط نوار نقاله وارد خنک کن می شود. فرآیند تولید سیمان را می توان در پنج مرحله بررسی و تجزیه تحلیل کرد:

۱- استخراج مواد اولیه: سیمان اساساً از دو ماده اصلی خام طبیعی تشکیل شده است: سنگ آهک (کربنات کلسیم) و مواد خاک رسی.

۲- حمل و نقل مواد اولیه از معدن به کارخانه تولید سیمان

۳- آماده سازی مواد اولیه: این مرحله شامل فرآیندهای خرد کردن، پیش آمیختن سنگ ها، آسیاب کردن سنگ ها، پیش آمیختن سوخت و آسیاب کردن می باشد. عمل آسیاب کردن هم می تواند به وسیله آسیاب گلوله ای و هم آسیاب غلتکی قائم انجام گیرد.

۴- کلسیناسیون^۷: پختن مواد خام یا مرحله ساخت کلینکر^۸ در برج پیش گرم کن و کوره انجام می گیرد. در این مرحله ابتدا مواد خام آماده شده به برج پیش گرم کن یا (پری کلساینر)^۹ منتقل می شوند تا در آن فرآیند تجزیه کلسیم کربنات (CaCO_3) به کلسیم اکسید (CaO) و دی اکسید کربن (CO_2) آغاز شود. سپس این مواد

به کوره وارد می شوند تا ادامه واکنش های کلسیم اکسید و سایر المان ها برای تشکیل کلسیم سیلیکات ($\text{Ca}_2\text{O}_4\text{Si}_1$) و آلومینات^{۱۰} انجام شود. محصول خروجی یعنی کلینکر از کوره خارج شده و به سمت خنک کن های مختلفی هدایت می شود تا به صورت جزئی انرژی حرارتی آن بازیابی شده و دمایش کاهش یابد. لازم به توضیح است که سوخت کوره می تواند به صورت زغال سنگ، نفت و یا گاز طبیعی باشد.

۵- آسیاب و بسته بندی: در نهایت کلینکر خارج شده برای آسیاب شدن با گچ مخلوط می شود. پس از آسیاب سیمان برای بسته بندی به دستگاه های بسته بندی انتقال داده می شود.

۳-۲-۳- مرحله ارزیابی پیامد

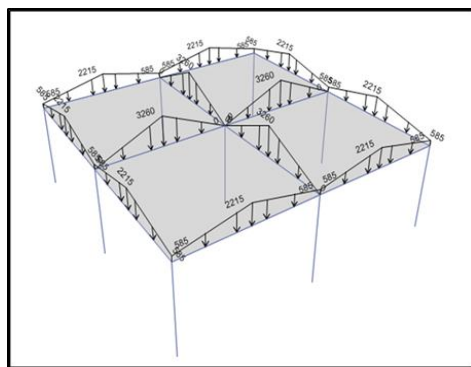
این مرحله، مرحله ای از ارزیابی چرخه حیات است که در آن بزرگی و اهمیت پیامدهای بالقوه زیست محیطی برای یک محصول در چرخه حیات آن ارزش گذاری می شود. در این پژوهش از متدولوژی IMPACT 2002^+ که توسط انستیتو سیستم های چرخه حیات و اکولوژی سوئیس (۲۰۰۱) ارائه شده استفاده شده است. این متدولوژی شامل ۱۴ دسته میانی آسیب ها و ۴ دسته پایانی آسیب ها شامل: سلامت انسانی، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب-وهوایی و منابع می باشد. نتایج آسیب های پایانی برای هر کدام از اجزای تشکیل دهنده بتن های سبک و معمولی و همچنین نتایج آسیب های پایانی برای ۱ تن بتن سبک و معمولی طبق طرح های اختلاط این پژوهش به ترتیب در جداول (۸) و (۹) بیان شده اند. این داده ها از پایگاه های داده های اکوینونت^{۱۱} (۲۰۱۴) استخراج شده است.

۳-۲-۴- تفسیر

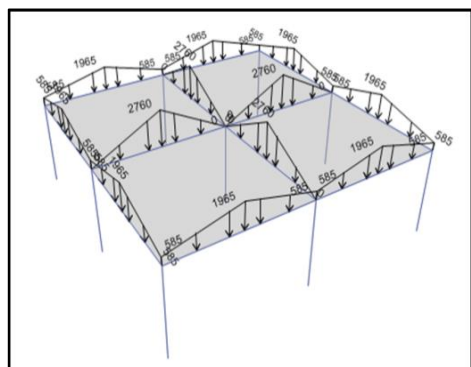
همان طور که در جدول (۹) واضح است بتن سبک در بخش سلامت انسانی ۵۶ درصد، در بخش کیفیت اکوسیستم ۱۷ درصد، در بخش تغییرات اقلیمی ۱۹ درصد و در بخش منابع ۴۵ درصد از بتن معمولی آسیب های بیشتری برای محیط زیست دارد. این افزایش به دلیل استفاده از رس منبسط شده در بتن سبک است که در تهیه آن با مراحل فرآوری اولیه، خشک کردن، پختن و انبساط سبک دانه ها در کوره همراه هستیم. این مراحل با مصرف سوخت بیشتر، تولید حرارت و دی اکسید کربن بیشتر و ... نسبت به تولید سنگ دانه معمولی در بتن معمولی همراه می باشد.

9. Precalciner
10. Aluminate
11. Equivalent

6. Granule
7. Calcination
8. Clinker



(الف)



(ب)

شکل ۶- میزان کاهش بار مرده ناشی از تغییر مصالح:

(الف بتن معمولی، ب) بتن سبک

در نهایت پس از تحلیل سازه، میزان آرماتور مصرفی در المان‌های تیر و ستون کل سازه مطابق جدول (۱۲) محاسبه و نشان داده شده است. این مقدار از جمع سطح مقاطع آرماتورهای هرکدام از سازه‌ها به دست آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان کاهش میلگرد به دلیل استفاده از بتن سبک سازه‌ای در یک سازه ۵ طبقه بتنی نسبت به بتن معمولی ۶/۳ درصد می‌باشد که این کاهش علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی، باعث کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید میلگرد نیز می‌شود. در این بررسی به دلیل متغیر بودن قیمت‌ها و تورم، از محاسبه ریالی صرفه‌جویی ناشی از تغییرات احجام صرف نظر شده است و تغییرات احجام فقط به صورت متره شده ارائه شده‌اند.

جدول ۱۲- میزان آرماتور مصرفی در سازه‌های مدل‌سازی شده

بار وارده (kgf/m ²)	بام	طبقات مسکونی	دیوارهای جانبی نما دار	دیوار جان‌پناه
بار مرده	۲۹۵	۱۹۰	۵۸۵	۲۵۵
بار زنده	۱۵۰	۲۰۰	---	---
بار برف	۱۰۵	---	---	---
بار معادل تیغه‌ها	---	۱۶۰	---	---

۳-۳- ارزیابی اقتصادی

بتن سبک علی‌رغم مزایای متعددی که برای سازه‌ها ایجاد می‌کند ممکن است به لحاظ اقتصادی مقداری گران‌تر از بتن معمولی باشد. در این پژوهش برای بررسی دقیق‌تر، یک ساختمان ۵ طبقه بتنی با مساحت ۱۰۰ مترمربع و با سیستم باربر ثقلی دال بتنی و سیستم باربر جانبی قاب خمشی ویژه، یک‌بار با بتن معمولی و بار دیگر با بتن سبک با استفاده از نرم‌افزار ETABS 2015. 1. 0 تحلیل و طراحی گردید. در این بررسی از ضوابط آیین‌نامه‌ای طراحی سازه بتن آمریکا (ACI 318-14) و آیین‌نامه‌های زلزله ۲۸۰۰ و مباحث ۶ و ۹ مقررات ملی ساختمان ایران استفاده شده است. محل احداث این پروژه شهر تهران و با مقدار ضریب زلزله برابر $C_x.y = 0.1022$ در نظر گرفته شده است. مشخصات مورد استفاده طراحی برای بتن معمولی، بتن سبک و آرماتورها در جدول (۱۰) معرفی شده‌اند. همچنین مشخصات بارگذاری‌های ثقلی وارد شده به سازه محاسبه شده و به تفکیک مطابق جدول (۱۱) تنظیم شده است. در شکل (۶) میزان کاهش بار مرده ناشی از تغییر مصالح سازه‌ای از بتن معمولی به بتن سبک نشان داده شده است.

جدول ۱۰- مشخصات مورد استفاده برای طراحی در ارزیابی

اقتصادی

مشخصات	بتن معمولی	بتن سبک	آرماتور
جرم واحد حجم (kg/m ³)	۲۳۱۰	۱۸۱۰	۷۸۵۰
مدول الاستیسیته (kgf/cm ²)	3×10^4	1.62×10^4	1×10^4
ضریب پواسون ^{۱۲}	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۳
مقاومت فشاری (kgf/cm ²)	50×10^5	25×10^5	---
تنش تسلیم آرماتورها (kgf/cm ²)	---	---	400×10^5
تنش نهایی آرماتورها (kgf/cm ²)	---	---	600×10^5

جدول ۱۱- مشخصات بارگذاری‌های ثقلی

طبقه	بتن معمولی	بتن سبک
طبقه ۱	۹۲۰/۹۴	۸۵۹/۶۹
طبقه ۲	۹۷۳/۹۸	۹۰۸/۲۹
طبقه ۳	۸۸۰/۰۳	۸۲۲/۶
طبقه ۴	۸۰۳/۸۹	۷۲۸/۴
طبقه ۵	۵۶۵/۵۵	۵۶۵/۰۹
جمع	۴۱۴۴/۳۹	۳۸۸۴/۰۷

۴- نتیجه گیری

بتن سبک به دلیل ماهیت و ساختار متخلخل دارای جرم حجمی کمتری نسبت به بتن معمولی می باشد. این اختلاف جرم با مزایا و معایبی در حیطه تکنولوژی بتن و از منظر سازه ای و اقتصادی همراه است. ساختار متخلخل بتن سبک باعث نفوذ راحت تر مواد مخرب از جمله یون ها و مواد خورنده به داخل بتن سبک (که نسبت به بتن معمولی تخلخل بیشتری دارد) می شود. همان طور که در آزمایش های این پژوهش بررسی شد این اتفاق سبب کاهش دوام بتن های سبک نسبت به بتن معمولی شده است. همچنین الیاف علی رغم این که می تواند به افزایش مشخصات مقاومت مکانیکی منجر شود، در کنار آن نیز می تواند تأثیرات منفی بر دوام بتن سبک بگذارد. به طور مثال اختلاط بتن سبک مسلح شده با الیاف فولادی به طور بی نقص انجام شد اما با این حال این الیاف در آزمایشات عمق نفوذ و درصد جذب آب، مقداری اثر منفی در نتایج دوام داشته است. نکته دیگری که در رابطه با دوام می توان به آن اشاره کرد تأثیر آزمایشات دوام بر پایه الکتریسیته بر بتن های حاوی الیاف فولادی است که این بتن ها به دلیل هادی بودن الکتریسیته جواب نامطلوبی در زمینه دوام به دست می دهند. می توان این گونه استنباط کرد که در صورت اجرای کاور و پوشش اعضای سازه ها نیز حاوی این الیاف ها می باشد و آن عضو می تواند مستعد خوردگی از همان سطح خارجی مقطع و از روی پوشش باشند، مگر این که در پوشش خارجی از مصالح دیگری استفاده شود. از منظر زیست محیطی بتن های سبک ساخته شده با رس منبسط شده، به دلیل تولید صنعتی و مصرف سوخت و انرژی و بالطبع تولید آلاینده های بیشتر، بتن سبک نسبت به بتن معمولی پیامدها و آسیب های بیشتری برای محیط زیست دارد که مقادیر آن در بخش زیست محیطی ذکر شده است.

از منظر اقتصادی بتن سبک را می توان از جنبه های مختلفی مورد بررسی قرار داد. اولین مورد قیمت تمام شده خود بتن است. بتن سبک به دلیل این که حاوی سبک دانه های فرآوری شده است از قیمت بالاتری نسبت به بتن معمولی برخوردار است. این اختلاف قیمت صرفاً به دلیل جایگزینی شن و سبک دانه می باشد و هزینه های بچینگ^{۱۳} و ... تأثیر چندانی ندارند. در این پژوهش به دلیل اثر تورم از محاسبه این اختلاف قیمت پرهیز شده و فقط به اثر این اختلاف قیمت اشاره شده است. دومین مورد، اثر کاهش جرم مخصوص بتن سبک بر بار مرده ساز است که مستقیماً باعث کاهش میلگرد مصرفی می شود. همان طور که در این پژوهش بررسی شد این میزان کاهش می تواند در حدود ۶ درصد باشد که انتظار می رود با افزایش طبقات یا مساحت سازه، این میزان صرفه جویی بیشتر شود.

۵- مراجع

محمودزاده کنی ا، لاهورپور س، گودینی ج، "ارزیابی پایداری زیست محیطی در ساخت صنعتی (نمونه موردی: روش اجرایی بتن پیش ساخته)"، نشریه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۳، صفحه ۵۶۵-۵۷۶، ۱۳۹۶.

خاموشی س، دهقانی ا، "ارزیابی اقتصادی طراحی قاب خمشی بتنی با استفاده از بتن سبک سازه های"، دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۴.

شریعتمداری د، بنیانی م، "اهداف توسعه پایدار در ساخت و ساز"، ششمین همایش مقررات ملی ساختمان، شیراز، ۱۳۹۳.

اصفهانیه م ر، بقیعی ن، موسوی مقدم ا، "اثر دانه بندی سبک دانه پومیس فاروج و افزودنی ها روی دوام بتن سبک دانه در برابر یخ زدگی"، نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۵.

حسینی م م، مقدس نژاد ف، سبحانی ج، چینی م، "بررسی دوام روکش بتن الیافی با الیاف پلی پروپیلن اصلاح شده"، سومین کنفرانس ملی رویه های بتنی، ۱۳۹۸.

AASHTO, T358: Standard Method for Test for Surface Resistivity Indication of Concretes Ability to Resist Chloride Ion Penetration, 2011.

ACI 201. 2R-01, Guide to Durable Concrete, American Concrete Institute, 2001.

ASTM C1202, Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, 2012.

ASTM C496/C496M: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 2011.

Bogas JA, Gomes A, "Non-steady-state accelerated chloride penetration resistance of structural lightweight aggregate concrete", Cem. Concr, Compos, 2015.

BS EN 1881-122, Testing concrete. Method for determination of water absorption, 2011.

BS EN 12390-8, Depth of penetration of water under pressure, 2009.

BS EN 12390-3: Testing hardened concrete-Part3: Compressive strength of test specimens, 2009.

Ecoinvent3, database, "http://www.ecoinvent.org/database/ecoinventversin-3/system-models/allocation-cut-off-byclassification/", 2014.

Gao Y, Zou C, "Experimental study on segregation resistance of nanoSiO2 fly ash lightweight aggregate concrete", Construction and Building Materials, 2015.

Grabois TM, Cordeiro G C, Toledo Filho R D, "Fresh and hardened-state properties of self-compacting lightweight concrete reinforced with steel fibers", Construction and Building Materials, 2016.

ISO 14040 International Standard. In: Environmental management-life cycle assessment-principles and

- framework. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardization, 2006.
- ISO15673, "Guidelines for the simplified design of structural reinforced concrete for buildings", The International Organization for Standardization, Switzerland, 2005.
- Hung Mo K, Heng Go S, "Mechanical, toughness, bond and durability-related properties of lightweight concrete reinforced with steel fibres", Materials and Structures, 2017.
- Kurda R, Silvestre JD, Brito J de, "Toxicity and environmental and economic performance of fly ash and recycled concrete aggregates use in concrete: A review", Heliyon, 2018.
- Li H, Deng Q, Zhang J, Xia BO, Skitmore M, "Assessing the life cycle CO2 emissions of reinforced concrete structures: Four cases from China", Cleaner Production, 2019.
- Libre NA, Shekarchi M, Mahoutian M, Soroushian P, "Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice", Construction and Building Materials, 2011.
- Life Cycle Assessment Research Group- ZHAW "IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, Industrial Ecology & Life Cycle Systems Group, GECOS", Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), CHLausanne, Switzerland, 2001.H.
- Robati M, McCarthy TJ, Kologiannakis G, "Incorporating environmental evaluation and thermal properties of concrete mix designs" Construction and Building Materials, 2016.
- Torgal FP, Jalali S, "Eco-Efficient Construction and Building Materials, 2011.
- U.S.G. Survey, Mineral Commodity Summaries, U.S. Geological Survey, Washington, 2015.

EXTENDED ABSTRACT

An Investigation into the Economical, Environmental and Durability of Structural Fiber Lightweight Concrete

Seyed Mehdi Seyed Jafar Rangraz^a, Behnod Barmayehvar^{b,*}, Majid Safehian^c

^a Department of Civil Engineering Architecture and Art, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

^b Department of Architecture and Urban Planning, University of Art, Tehran, Iran

^c Department of Civil Engineering Architecture and Art, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 26 October 2019, Accepted: 21 April 2021

Keywords:

Reinforced Lightweight Concrete, Sustainable Development, Durability Of Concrete, Environment.

1. Introduction

In order to reduce dead loads of structures in earthquake prone areas such as Iran, lightweight concretes have several advantages which could be used as a substitution of ordinary concretes. One of the challenges in construction industry is producing an economical and environmental structures which could be able to fulfil requirements of structural and durability properties both. Thus, this industry needs a sustainability evaluation to find sustainable materials in engineering, environmental and economical aspects which this is one of the keys to achieving sustainable development. The main purpose of this research is to investigate economical, environmental and durability properties of lightweight concretes and fiber reinforced lightweight concretes and compare them with ordinary concretes.

2. Methodology

2.1. Materials

In this way, five types of concretes including: 1_ ordinary concrete with the density of 2310 kg/m³, 2_ lightweight concrete made by leca and 3,4,5 lightweight concrete made by leca and reinforced by steel, glass and polypropylene fibers with the content of 1 percentage and density of 1810 kg/m³ were made. The ratio of w/c, fine aggregate and superplasticizer for all specimens were same and their difference was substitution of leca in lightweight concrete instead of gravel.

2.2. Methods

In order to evaluate mechanical and durability properties, compressive (BS EN 12390-3, 2009) and tensile (ASTM C496/C496M, 2011) strength, 4-point electrical resistant (AASHTO, TP 95, 2011), rcpt (ASTM C1202, 2012), depth of hardened concrete penetration test (BS EN 12390-8, 2009) and concrete water absorption test (BS EN 1881-122, 2011) carried out in 28 days of specimens. In the second phase, iso 14040 [ISO 14040, 2006] was applied to investigate environmental impacts. Two main concretes "ordinary and lightweight concrete", were studied by impact 2002+ methodology (Olivier Joliet, et al, 2001) in 4 scopes of environment: human health, ecosystem quality, climate change and resources aspects. In the third and economical phase, the

* Corresponding Author

E-mail addresses: rangrazmehdi@gmail.com (Seyed Mehdi Seyed Jafar Rangraz), b.barmayehvar@art.ac.ir (Behnod Barmayehvar), safehian@srbiau.ac.ir (Majid Safehian).

information had gained by modeling a five floor building made by structural lightweight concrete elements and compare it with the same building made by ordinary concrete.

3. Results and discussion

The results in mechanical experiments show that ordinary concretes have more compressive resistance in compare with lightweight and fiber lightweight concretes, but in tensile resistance, steel fiber reinforced lightweight concrete has the most resistance. Fig. 1 shows specimens after mechanical tests. In durability, due to fewer pores in ordinary concrete, they are more durable than light weight concretes.

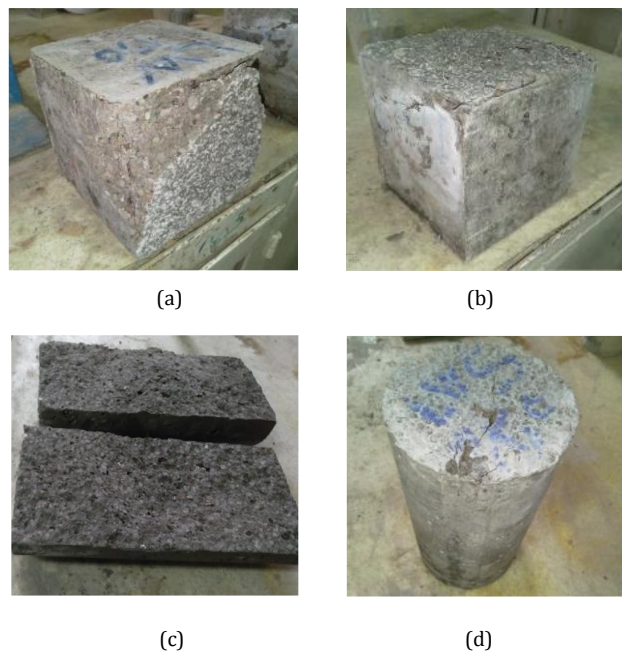


Fig. 1. Mechanical test specimens: a) light weight concrete in compressive test, b) steel fiber reinforced light weight concrete in compressive test, c) light weight concrete in tensile test, d) steel fiber reinforced light weight concrete in tensile test

In environment phase, lightweight concretes have 56% in human health, 17% in ecosystem quality, 19% in climate change, and 45% in resources more damages for environment in compare with ordinary concretes. In economical phase, the decrement of rebar usage by using lightweight concrete instead of ordinary concrete in five floor building was 6.3 percent.

4. Conclusions

Results showed that in the case of equality of concrete matrixes, lightweight concrete made with leca has comparatively fewer durability in compare with ordinary concretes. In the case of environment, due to industrial process and preparation of leca, lightweight concretes have more negative effect for environment. And in economic scope, lightweight concretes can reduce deadload of structure and thus lead to consume less rebar in construction. But due to construction projects are unique, an economical investigation before implementation can lead to an explicit answer.

5. References

- AASHTO, TP 95: Standard Method for Test for Surface Resistivity Indication of Concretes Ability to Resist Chloride Ion Penetration, 2011.
- ASTM C1202, Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, 2012.
- BS EN 12390-3: Testing hardened concrete-Part 3: Compressive strength of test specimens, 2009.
- ASTM C496/C496M: Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 2011.
- BS EN 12390-8, Depth of penetration of water under pressure, 2009.
- BS EN 1881-122, Testing concrete. Method for determination of water absorption, 2011.

ISO 14040 International Standard. In: Environmental management-life cycle assessment-principles and framework. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.

Life Cycle Assessment Research Group-ZHAW "IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology, industrial ecology & life cycle systems group, GECOS", Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), CHLausanne, Switzerland, 2001.