

مطالعه آزمایشگاهی کاهش مصرف انرژی با استفاده از بتن شفاف بازیافتی با ضایعات شیشه سکوریت در طراحی پایدار و محیط زیستی

سید پیام هاشمیان^۱، محمد دلنواز^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، محیط زیست، دانشگاه خوارزمی، h_payam2010@yahoo.com

^۲ دانشیار مهندسی عمران، محیط زیست، دانشگاه خوارزمی، delnavaz@khu.ac.ir

پست الکترونیکی نویسنده رابط: h_payam2010@yahoo.com

چکیده

امروزه با رشد روزافزون کشورهای صنعتی، چالش‌های زیست‌محیطی نوینی در عرصه مدیریت منابع انرژی پدید آمده است. در چند دهه اخیر برای رفع چالش تراکم ساختمانی، به ساخت آسمان‌خراش‌ها و بلندمرتبه‌سازی اقدام شده است. بلندمرتبه‌سازی در سطح محدودی از منابع زمین، چالش‌هایی نظیر افزایش چشم‌گیر تولید آلاینده‌ها را به همراه دارد، به نحوی که در سال ۲۰۵۰ میلادی تولید گاز CO₂ به ۴۲/۸ بلیون تن خواهد رسید که سهم سیستم‌های روشنایی ساختمان‌ها از این میزان، برابر ۱۶/۷ بلیون تن است. از سوی دیگر با توجه به ساخت‌وسازهای زیرزمینی نظیر سیستم حمل‌ونقل عمومی مترو و گذرگاه‌های زیرزمینی، نیاز به تامین روشنایی این مجموعه‌ها خود یک چالش ویژه است. موضوع این تحقیق ساخت بتن شفاف با مصالح بازیافتی با قابلیت عبور نور و مقاومت فشاری نزدیک به بتن معمولی است، که در دسته مصالح دوستدار محیط‌زیست طبقه‌بندی گردد. هدف از این پژوهش بهره‌گیری از نور طبیعی خورشید در طول روز برای تامین روشنایی و کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلف ساختمان است. پس از انجام آزمایش مقاومت فشاری، به مدلسازی نرم‌افزاری و آنالیز نوری بتن شفاف بازیافتی اقدام شده است. با کدنویسی تحت زبان برنامه‌نویسی شی‌گرای جاوا، اقدام به محاسبه تعداد لامپ مورد نیاز در طراحی برای یک فضای مشخص و میزان صرفه‌جویی در مصرف برق به منظور بررسی اثرات زیست‌محیطی این مصالح نوین اقدام شده است. مطابق نتایج این پژوهش، بتن شفاف بازیافتی با استفاده از ضایعات شیشه سکوریت، با توانایی عبور نور به میزان ۱٪، درصد جذب آب کمتر از ۳٪ و مقاومت فشاری متوسطه ۴۷/۸ MPa، پتانسیل استفاده در ساخت‌وساز به منظور تامین روشنایی در بخش‌های مختلف ساختمان را با بهینه‌سازی درصد وزنی استفاده از ضایعات شیشه سکوریت و افزایش بازده نوری آن، با هدف کاهش مصرف انرژی الکتریکی دارا است.

کلمات کلیدی: توسعه پایدار، بتن شفاف بازیافتی، محیط‌زیست، کاهش مصرف انرژی

۱ مقدمه:

مشکلات زیست‌محیطی، جامعه مهندسی را به سوی استفاده از مصالح نوین و طراحی‌های پایدار در راستای کاهش اثرات زیست‌محیطی پروژه‌ها سوق داده است. در سال‌های اولیه صنعت ساخت‌وساز، تمرکز طراحان بر استفاده از مصالح بومی منطقه به منظور کاهش هزینه‌های ساخت بوده است. در سال ۱۹۷۰ میلادی برای اولین بار، با نامگذاری روزی بنام روز زمین و دایر سازی اداره محیط‌زیست آمریکا، توجه ویژه‌ای به مسائل زیست‌محیطی در پروژه‌ها صورت گرفته شده است [۱]. امروزه با توجه به اهمیت مسائل زیست‌محیطی در حیات انسان، طراحی‌ها در راستای توسعه پایدار انجام می‌گیرد. از جمله این طراحی‌ها می‌توان به استفاده و به کارگیری مصالح و روش‌های ساخت سبز و دوستدار محیط‌زیست اشاره نمود. بتن شفاف، بتنی با قابلیت عبور نور، یکی از این مصالح نوین است. تاریخچه این بتن در گذشته استفاده از سنگدانه‌هایی با قابلیت عبور نور بوده است [۲]. بتن شفاف اولیه در سال ۲۰۰۱ میلادی برای اولین بار توسط

^۱Environmental Protection Agency (EPA)

آرون لوسنزی، مهندس مجارستانی ساخته شده است. وی نام بتن ابداعی را لیتراکن نامید. در سال ۲۰۰۹ میلادی نیز بتن شفاف هوشمندی توسط پروفیسور زی‌هاآرانه گردیده است [۳].

ایده اولیه بتن شفاف بهره‌مندی افراد داخل ساختمان از نور طبیعی خورشید و کاهش مصرف انرژی بوده است [۴]. از طرفی با توجه به مطالعات گسترده در زمینه اثرات نور طبیعی خورشید بر سلامت جسمی و روحی انسان و افزایش بازده کاری افراد، استفاده از مصالح با قابلیت عبور نور طبیعی خورشید راهکاری با توجه اقتصادی در مدیریت کلان با چشم‌انداز بلند مدت، است [۵]. بتن شفاف بازیافتی با استفاده از ضایعات شیشه سکوریت طبق نتایج این پژوهش، یک راهکار دوستدار محیط‌زیستی است. بتن شفاف بازیافتی با استفاده از ضایعات شیشه‌های شکسته سکوریت، علاوه بر تامین نیاز روشنایی ساختمان، به دنبال استفاده از مواد ضایعات و دورریز در بتن، به منظور حرکت در راستای توسعه پایدار زیست‌محیطی است. در این تحقیق، شیشه سکوریت به دلیل نوع شکستگی در ضایعات آن و کاهش خطرات در حین ساخت، سهولت اجرا و عمل‌آوری بتن برای سیستم اپراتور و کارگران، بعنوان عنصر عبوردهنده نور در بتن انتخاب شده است. همچنین شیشه سکوریت با داشتن مشخصه مقاومتی بهینه نسبت به شیشه معمولی و دارا بودن ضریب سختی بالا، به یکپارچگی مخلوط بتنی کمک می‌نماید.

Henriques. T.d.s و همکارانش در تحقیقاتشان به نیاز به انجام مطالعات بیشتر در زمینه بتن شفاف را ضروری دانسته‌اند، همچنین با انجام آزمایش مقاومت فشاری و عبور نور، برای این بتن مقاومت فشاری قابل قبولی گزارش شده است [۶]. Jiaqi Li. و همکارانش نیز با انجام تست یکپارچگی بتن شفاف SEM با درصدهای حجمی متفاوت عنصر عبور دهنده نوری، این بتن را بتنی یکپارچه دانسته‌اند، همچنین طول موج عبوری از این بتن برابر ۶۳۰-۵۲۰ nm گزارش شده است. در زمینه مقاومت فشاری بتن شفاف نیز تحقیقاتی انجام گرفته است و نتایج کلی آن بیان‌کننده شرایط کارآمد بتن شفاف در صنعت ساخت‌وساز است [۷].

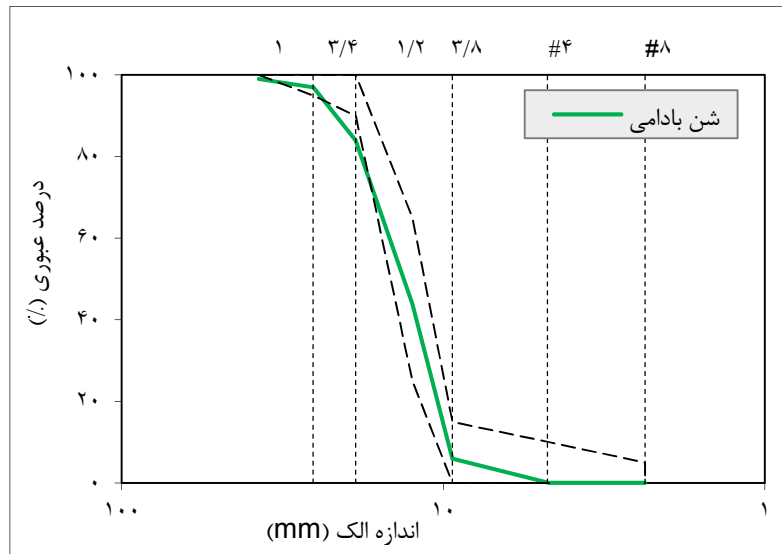
۲ مواد و مصالح

سنگدانه‌ها: شن و ماسه استفاده شده در این تحقیق از نوع شسته شده بوده و مطابق استاندارد (۱) - AASHTO T ۱۷۶، ارزش ماسه‌ای آن ۸۰٪ است. همچنین در محل دپوی مصالح، رطوبت پایین بوده است. دانه‌بندی مصالح سنگدانه‌ای درشت دانه شنی در شکل ۱ و دانه‌بندی مصالح ریزدانه نیز در شکل ۲ آمده است. ضریب سرشکن مصالح درشت‌دانه برابر ۱/۰۲۹ و در مصالح ریزدانه برابر ۱/۰۱۶۳ است و دانه‌بندی با اعمال این میزان تکمیل شده است.

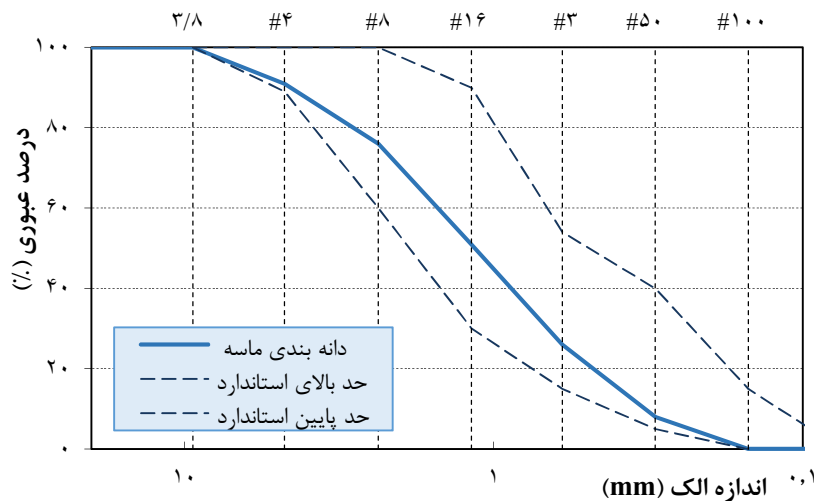
^۱Áron Losonczy

^۲LiTraCon: light-transmitting concrete

^۳Professor Zhi Zhou



شکل ۱: دانه بندی مصالح درشت دانه



شکل ۲: نمودار دانه بندی ریزدانه

سیمان: سیمان استفاده شده در این پژوهش، سیمان تپ ۳۲۵-۱ است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این سیمان مطابق آزمایشات انجام گرفته با در نظر گیری استاندارد (۲)-۳۸۹، در جدول ۱ و جدول ۲ مشاهده می گردد.

آب: آب مصرفی در آزمایش ها، آب آشامیدنی شهر تهران است. بنا به گزارش، pH آب شهر تهران در محدوده ۷-۸/۵ برای ساخت بتن مناسب است.

ژل میکروسلیکا: در نسبت مخلوط بتن به منظور افزایش کارایی بتن از ژل میکروسلیکا $KX-AC^3$ استفاده شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی ژل بتن سیلیکافیوم مطابق استاندارد (۳)- $ASTM C1202$ ، $ASTM C78$ ، $ASTM C293$ و $ASTM C496$ در حالت ساکن به رنگ خاکستری با وزن مخصوص 1450 kg/m^3 ، pH برابر ۷ و بدون وجود یون کلر است. از این ژل به میزان ۱۰٪ وزن کل سیمان در نسبت مخلوط استفاده شده است.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی سیمان پرتلند تیپ ۱-۳۲۵

مشخصه‌های فیزیکی								نام
مقاومت فشاری Kg/Cm ²			زمان گیرش		انبساط	سطح	پارامتر	
۲۸ روزه	۷ روزه	حد اکثر	نهایی	اولیه	اتوکلاو	مخصوص (بلین)		
۵۱۰	۴۹۰	۳۵۰	۳/۸۳	۱۶۰	۰/۰۸	۳۵۰۰	مشخصه	
< ۵۲۵	> ۳۲۵	> ۲۰۰	> ۱۲۰	< ۶	> ۴۵	< ۰/۸	> ۲۸۰۰	استاندارد ۳۸۹

جدول ۲: مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۱-۳۲۵

مشخصه‌های شیمیایی										نام
I.R %	Cl	CaO	Free CaO	SO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	L.O.I %	MgO %	پارامتر
۰/۳۵	۰/۰۲۵	۶۰	۱/۳	۲۰	۳/۱	۵/۸	۲۳/۵	۱/۱	۳/۱	مشخصه
< ۰/۷۵	-	-	-	< ۳	-	-	-	< ۳	< ۵	استاندارد ۳۸۹

شیشه سکوریت: شیشه استفاده شده در این تحقیق از شیشه‌های ضایعاتی و شکسته شده سکوریت است. ضخامت متوسط این شیشه‌ها ۱۰ mm است، همچنین چگالی این شیشه برابر $2500 \frac{Kg}{m^3}$ است. سختی شیشه بکاررفته در این تحقیق نیز با توجه به این نکته که شیشه شکسته و ضایعاتی استفاده شده از یک تولیدی است، بنابه گزارش سازنده، براساس مبنای سنجش سختی ارائه شده توسط معدن‌شناس آلمانی، موس^۵ برابر ۶/۵ واحد است.

فیبر فشرده شده^۶: در این پژوهش با توجه به در نظر گیری مسائل زیست محیطی و توسعه پایدار از فیبرهای شکسته و بازیافتی در جهت ساخت قالب بتن ریزی استفاده شده است. سطح قالب‌ها به دلیل جلوگیری از چسبندگی بتن و جذب آب بتن، روغن اندود شده است.

ترازو: ترازوی استفاده شده در آزمایش‌ها، ترازوی دیجیتالی به ظرفیت ۱۰ Kg با دقت اندازه‌گیری $1 \pm g$ است.

لوکس متر: برای سنجش میزان نور عبوری از بتن شفاف بازیافتی با ضایعات شیشه سکوریت، از اپ اندرویدی و سنسورهای موبایل استفاده شده است.

۳ تئوری آزمایش:

در آزمایش درصد جذب آب مطابق آیین نامه پایایی بتن خلیج فارس و بر اساس استاندارد (۴) - ASTM C۶۴۲، نمونه به مدت سه روز در آب غوطه‌ور مانده و سپس توزین می‌گردد. نمونه پس از خشک شدن نیز وزن می‌گردد. درصد جذب آب مطابق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد، که در آن m و m_۰ وزن نمونه

^۵Friedrich Mohs

^۶Medium-Density Fibreboard (MDF)

خشک و غوطه‌ور در آب است. لومن واحد اندازه‌گیری شارنوری و لوکس واحد اندازه‌گیری شده روشنایی در واحد مساحت است. به منظور محاسبه تعداد لامپ مورد نیاز در طراحی از رابطه (۲)، که در آن پارامتر A، متراژ فضای مورد نظر بر حسب m^2 ، پارامتر lux، شدت روشنایی استاندارد برای کاربری‌های مختلف بر حسب لوکس و پارامتر lumen، شار نوری لامپ طراحی که توسط کارخانه سازنده بر روی جعبه بسته‌بندی بر حسب لومن درج می‌گردد، استفاده شده است. ابتدا با توجه به کاربری فضای مدنظر، شدت روشنایی استاندارد استخراج می‌گردد، سپس حاصل ضرب این میزان در متراژ اتاق، برابر میزان شارنوری کل خواهد بود که از تقسیم این مقدار بر شارنوری لامپ، تعداد آن محاسبه می‌گردد [۸،۹،۱۰].

$$\frac{m - m_o}{m_o} \times 100 \quad (1)$$

$$\frac{A \times lux}{lumen} \quad (2)$$

۴ شرح آزمایش:

ابتدا با استفاده از فیبرهای فشرده‌شده بازیافتی و دورریز، قالب‌هایی مطابق استاندارد (۴) - ملی ایران به شماره ۳۲۰۲، به ابعاد $15 \times 15 \times 15$ cm آماده می‌گردد. فیبرها پس از غرقاب سازی، از بخش داخلی روغن اندود گشته و عمل توزین انجام می‌گیرد. سپس مطابق نسبت‌های مخلوط جدول ۳، که برای یک مترمکعب از بتن مشاهده می‌گردد، نسبت به ترکیب مصالح سنگدانه‌ای با آب و سیمان اقدام می‌شود. لازم به ذکر است به دلیل عدم رطوبت کافی مصالح سنگدانه‌ای در محل دپو، عمل اختلاط با آب در چند مرحله انجام می‌گیرد. نسبت آب به سیمان در این تحقیق ۰/۵ و نسبت مصالح سنگدانه‌ای به کل مخلوط بتنی برابر ۶۳٪ است. میزان استفاده از ضایعات شیشه سکوریت شکسته به درصد وزنی ۱۱٪ و ۱۴٪ از کل بتن است.

جدول ۳: نسبت‌های مخلوط بتن برای یک متر مکعب

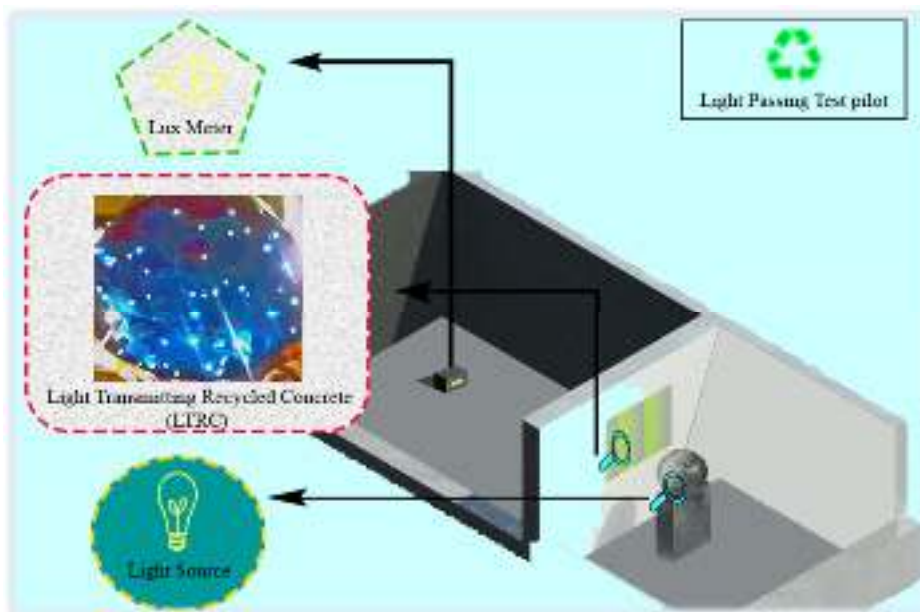
واحد	وزن	مصالح
کیلوگرم	۳۰۰	آب
کیلوگرم	۶۰۰	سیمان
کیلوگرم	۵۰۰	شن نخودی
کیلوگرم	۱۰۵۰	ماسه شسته‌شده
کیلوگرم	۶۰	ژل میکروسیلیکا

پس از ساخت بتن برای محاسبه جریان اسلامپ مطابق استاندارد ایران به شماره (۵) - ۱۱۲۷۰، بتن آماده شده در قیفی با شرایط مشابه ذکر شده در استاندارد ریخته شده و پس از پخش شدن بتن بر سطح صاف زیرین، دو قطر عمود بر هم یادداشت می‌گردد. برای ساخت بتن شفاف بازیافتی با استفاده از ضایعات شیشه سکوریت شکسته، ابتدا یک لایه با ضخامت تقریبی ۳ cm از بتن آماده شده را درون قالب ریخته و سپس لایه‌ای از شیشه به ضخامت تقریبی ۲ cm اضافه می‌گردد. سپس با اضافه نمودن دوغاب سیمانی، شرایط ایجاد یکپارچگی بین شیشه و مخلوط بتنی مهیا می‌گردد. به منظور متراکم‌سازی بتن در هر مرحله، عمل کوبش با استفاده از یک میله و وزنه، عمل متراکم‌سازی به صورت پادساعتگرد و ۲۵ مرتبه انجام می‌گیرد. چهار نمونه مکعبی بتن شفاف بازیافتی و دو نمونه مکعبی بتن عادی ساخته می‌شود. قالب‌ها پس از پرشدن توزین می‌شوند. پس از یک روز نمونه‌ها از قالب خارج شده و به جهت عمل آوری، نمونه‌ها در آب قرارداده شده است.

پس از گذشت زمان ۷ و ۲۸ روز، به منظور انجام آزمایش مقاومت فشاری دو نمونه بتن شفاف بازیافتی و بتن معمولی از آب خارج گردیده، ابعاد آنها یادداشت و برای انجام آزمایش مقاومت فشاری مطابق استانداردهای ایران به شماره (۶) و (۷) - ۶۰۴۸ و ۳۲۰۶ آماده می‌گردند [۱۱]. آزمایش مقاومت فشاری،

توسط جک مقاومت فشاری موجود در آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشکده فنی مهندسی دانشگاه خوارزمی انجام گرفته است. سرعت بارگذاری، قرارگیری نمونه‌ها در مرکز صفحه دستگاه، صاف و صیقلی بودن صفحه زیرین دستگاه و سایر شرایط آزمایش طبق استاندارد رعایت شده است. نمونه چهارم از بتن شفاف بازیافتی پس از خروج از آب و خشک شدن توزین و دوباره به مدت سه روز در آب غوطه‌ور می‌گردد. زمان سه روز، زمان مناسبی برای ثابت در میزان جذب آب بوده و پس از این مدت و توزین وزن نمونه، درصد جذب آب توسط رابطه (۱) محاسبه می‌گردد. این عمل برای یکی از نمونه‌های بتن معمولی نیز قبل از آزمایش مقاومت فشاری انجام گرفته است.

نمونه بتن شفاف بازیافتی، برای آزمایش میزان عبور نور، در یک جعبه طراحی شده قرار گرفته و در دو حالت با استفاده از بتن شفاف بازیافتی و بدون حضور این بتن، میزان روشنایی در فاصله ۵۰ cm از منبع نور اندازه‌گیری شده است. مکانیزم جعبه استفاده شده در این آزمایش، مطابق با پیلوت آزمایش میزان نور عبوری در استاندارد (ASTM D ۱۰۰۳-۰۰-۸) شبیه‌سازی شده است. به‌منظور مترادف سازی نور خروجی از منبع نور، از دو صفحه سفیدرنگ استفاده شده است. در قسمت اندازه‌گیری نیز از رنگ سیاه به دلیل عدم انتشار نور و پخش آن به کار گرفته شده است. لازم به ذکر است استاندارد ASTM D ۱۰۰۳-۰۰ برای محاسبه نور عبوری از مواد پلاستیکی است، لذا برخی شرایط این استاندارد با توجه به شرایط این پژوهش تغییر داده شده است. شکل شماتیک مدلسازی شده این جعبه در شکل ۳ مشاهده می‌گردد. منبع نور این آزمایش دو لامپ ۲۰۰ وات رشته‌ای است. برای آزمایش منبع نوری روشن گردیده و در دو حالت حضور و عدم حضور بتن شفاف در محل تعبیه شده، درصد نور عبوری در بخش دیگر جعبه توسط سنسور اندازه‌گیری می‌گردد [۱۲].



شکل ۳: جعبه مدل‌شده برای آزمایش درصد عبور نور

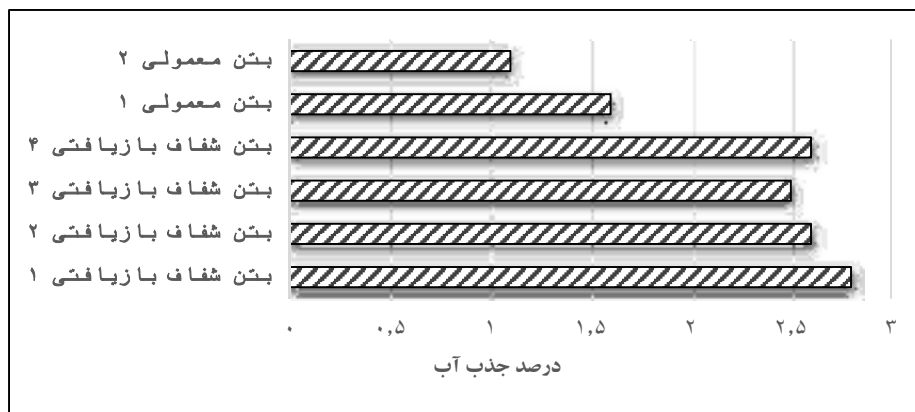
به‌منظور آنالیز نوری از نرم‌افزارهای مدلسازی اطلاعات ساختمان^۲ استفاده شده است. نرم‌افزار Autodesk Revit یکی از این نرم‌افزارهای مدلسازی اطلاعات ساختمان است. با استفاده از مدلسازی یک سیستم با به‌کارگیری بتن شفاف بازیافتی شیشه سکوریت در بخشی از دیواربرشی و قراردادی یک منبع نور مطابق با طراحی جعبه آزمایش درصد عبور نور، آنالیز نوری صورت گرفته شده است. در آخر با کدنویسی تحت زبان جاوا اقدام به برنامه‌نویسی به‌منظور طراحی تعداد لامپ مورد نیاز طبق رابطه (۲) و محاسبه میزان مصرف انرژی الکتریکی برای یک فضا به مترمربع ۲۰ m^۲ با کاربری نشیمن و پذیرایی به میزان شدت

^۲Building Information Modeling (BIM)

روشنایی استاندارد ۳۰۰ لوکس، با دو لامپ طراحی ۱۸ وات کم مصرف با جریان نوری ۱۰۰۰ lm و لامپ ۶۰ وات رشته‌ای با جریان نوری ۷۰۰ lm شده است. لازم به ذکر است هزینه هر کیلووات ساعت برق مصرفی طبق تعرفه وزارت نیرو، در پله اول مصرف، برابر ۴۹۰ ریال در نظر گرفته شده است.

۵ بررسی نتایج:

نتایج درصد جذب آب نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته، در شکل ۴ مشاهده می‌گردد. درصد جذب آب نمونه‌های بتنی در محدوده زیر ۶٪ قرار گرفته و مطابق آیین‌نامه پایایی بتن خلیج فارس و استاندارد (۴) - ASTM C۶۴۲ در محدوده استاندارد قرار دارد [۸،۹]. نسبت جذب آب در بتن شفاف با استفاده از ضایعات شیشه، بالاتر از نمونه بتن معمولی است. این تفاوت در میزان جذب آب به دلیل تخلخل میان ذرات شیشه شکسته در نمونه بتن شفاف ضایعاتی است. به منظور بهبود این شرایط می‌توان از نسبت مخلوط بتن‌های روان استفاده نمود، همچنین شرایط ویریه در حین بتن‌ریزی بهینه گردد. می‌توان از افزودنی‌های بتن و یا استفاده از خاکستر بادی نیز بعنوان پرکننده و فیلر استفاده نمود. روش دیگر در این زمینه نیز عایق‌سازی سطحی بتن با مواد پایه رزین و نانو است.

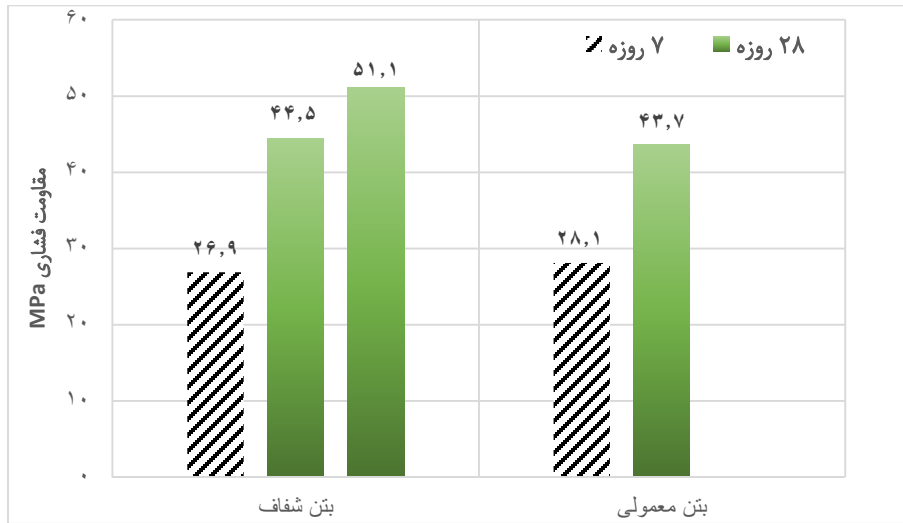


شکل ۴: درصد جذب آب نمونه‌های بتنی

در آزمایش جریان اسلامپ، با استفاده از دو قطر عمود برهم یادداشت شده، جریان اسلامپ برای بتن معادل ۷۰۹/۵ mm محاسبه شده است. با توجه به استاندارد (۵) - ۱۱۲۷۰ ایران، شاخص پایداری چشمی^۱ بتن، معادل ۱ بوده و بتن پایدار است. کارآیی مناسب بتن در حین بتن‌ریزی برای ایجاد مخلوطی یکپارچه حائز اهمیت است. برای دستیابی به مخلوطی همگن با مقاومت فشاری بالا می‌توان نسبت آب به سیمان را با استفاده از مواد افزودنی کنترل نمود.

نتایج آزمون مقاومت فشاری نمونه در شکل ۵ آمده است. با توجه به نتایج آزمایش، بتن شفاف باز یافتی با استفاده ضایعات شیشه سکوریت شکسته را می‌توان در رده بتن C۳۵ طبقه‌بندی نمود. مقاومت فشاری نمونه با استفاده از ضایعات شیشه سکوریت نسبت به بتن معمولی افزایش یافته است. بتن معمولی در سنین اولیه به مقاومت بالاتری نسبت به بتن شفاف باز یافتی می‌رسد، این اتفاق می‌تواند به دلیل حضور ذرات شیشه در ترکیب بتن شفاف بوده و زمان گیرش و ثبات در مقاومت فشاری طولانی‌تر گردد. مقاومت فشاری نمونه بتن شفاف باز یافتی ۳، با درصد وزنی ۱۱٪ از ضایعات شیشه شکسته نسبت به نمونه شماره ۲ از بتن شفاف باز یافتی با درصد وزنی ۱۴٪ از ضایعات شیشه سکوریت شکسته شده، بالاتر است.

^۱VSI



شکل ۵: مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی

درصد نور عبوری از بتن شفاف بازیافتی با درصد وزنی ۱۴٪ استفاده از ضایعات شیشه سکوریت شکسته، ۱٪ و در نمونه با درصد وزنی ۱۱٪ این میزان کمتر از ۱٪ بوده است. درصد نور عبوری از این بتن با در نظرگیری شدت روشنایی نور طبیعی با متوسط ۱۰۰۰۰ lux، معادل ۱۰۰ lux شدت روشنایی است. این میزان برای روشنایی راه‌پله‌های منازل مسکونی، اداری و صنعتی مطابق استاندارد مناسب است. همچنین به منظور استفاده در مسیرهای فرار اضطراری در شرایط قطع برق این بتن شفاف بازیافتی می‌تواند راهکار مناسب در نظر گرفته شود. همچنین با افزایش درصد استفاده از شیشه سکوریت شکسته در نسبت‌های مخلوط بتن و انجام آزمایش‌های لازم، دامنه استفاده از این بتن شفاف ضایعاتی با افزایش درصد عبور نور افزایش می‌یابد.

آنالیز نوری گرافیکی انجام گرفته توسط نرم‌افزار در شکل ۶ مشاهده می‌گردد. این آنالیز با شبیه‌سازی در دو حالت وجود A و عدم وجود B بتن شفاف در بخشی از دیوار برشی، قرارگیری منبع نوری در پشت دیوار، در اتاقی که توسط یک پنجره روشنایی آن تامین می‌گردد، صورت گرفته است. همچنین نتایج برنامه‌نویسی صورت گرفته در جدول ۴ و جدول ۵ مشاهده می‌گردد. در صورت استفاده از لامپ‌های طراحی ۱۸ W و ۶۰ W با به کارگیری این بتن شفاف بازیافتی، به ترتیب سالانه به میزان ۴۳۴ Kw و ۲۰۶۵ Kw در مصرف برق صرفه جویی می‌گردد. تعداد لامپ محاسبه شده نیز ۶ عدد لامپ ۱۸ W و ۹ عدد لامپ ۶۰ W است.



شکل ۶: آنالیز نوری گرافیکی توسط نرم‌افزار Autodesk Revit ۲۰۱۸ با استفاده از بتن شفاف ضایعاتی در دیوار برشی و عبور نور از دیوار

جدول ۴: نتایج برنامه تحت جاوا برای لامپ طراحی ۱۸ واتی

لامپ مصرفی (وات)	۱۸	هزینه صرفه جویی در یک سال (ریال)
شار نوری (لومن)	۱۰۰۰	
شدت روشنایی استاندارد (لوکس)	۳۰۰	۲۱۲۴۷۴
مترائ اتاق (متر مربع)	۲۰	تعداد لامپ مورد نیاز
هزینه هر کیلووات ساعت برق مصرفی (ریال)	۴۹۰	۶

جدول ۵: نتایج برنامه تحت جاوا برای لامپ طراحی ۶۰ واتی

لامپ مصرفی (وات)	۶۰	هزینه صرفه جویی در یک سال (ریال)
شار نوری (لومن)	۷۰۰	
شدت روشنایی استاندارد (لوکس)	۳۰۰	۱۰۱۱۷۸۰
مترائ اتاق (متر مربع)	۲۰	تعداد لامپ مورد نیاز
هزینه هر کیلووات ساعت برق مصرفی (ریال)	۴۹۰	۹

۶ نتیجه گیری

بتن شفاف بازیافتی با استفاده از ضایعات شیشه سکوریت شکسته با مقاومت فشاری متوسطه $47/8 \text{ MPa}$ قابل استفاده در عناصر سازه ای است. استفاده از شیشه سکوریت در این بتن نسبت به بتن معمولی منجر به افزایش مقاومت فشاری شده است. این نتیجه با افزایش درصد وزنی استفاده از ضایعات شیشه تا نقطه بهینه ادامه دارد و پس از آن، مقاومت فشاری کاهش می یابد. مطابق نتایج با افزایش درصد وزنی استفاده از ضایعات شیشه سکوریت مقاومت فشاری نمونه کاهش می یابد. جذب آب این بتن نیز با توجه به آیین نامه پایایی خلیج فارس در محدوده استاندارد قرار گرفته است. تحقیقات وسیع تری در زمینه مقاومت خمشی و سایر ویژگی های این بتن در جهت استفاده در عناصر باربر و سازه ای پیشنهاد می گردد. درصد عبوری نور در بتن شفاف بازیافتی با استفاده از ضایعات شیشه سکوریت با درصد وزنی ۱۴٪ و ۱۱٪ به ترتیب برابر ۱٪ و کمتر از ۱٪ است. مطابق نتایج آزمایش، با افزایش درصد وزنی استفاده از بتن شفاف بازیافتی، درصد نور عبوری افزایش می یابد.

از مزایای این بتن شفاف بازیافتی می توان به مقاومت فشاری بالا نسبت به بتن معمولی، سبک بودن این بتن نسبت به بتن معمولی به منظور استفاده در قالب بلوک های دیوارچینی با هدف سبک سازی ساختمان، زیبایی بصری در شکل نهایی بتن و کاربردهای معماری و دکوراسیون داخلی اشاره نمود. از معایب این بتن نیز می توان به نیاز به نیروی ماهر در هنگام بتن ریزی و اجرا، دشواری در تولید در کارگاه و نیاز به تولید پیش ساخته این بتن در قالب پل های بتنی اشاره نمود. بتن شفاف مصالح نوینی است، استفاده از عناصر عبور دهنده نور با کارآمدی بالاتر نسبت به شیشه، نظیر فیبرنوری و رزین پیشنهاد می گردد.

از اثرات زیست محیطی این بتن شفاف بازیافتی می توان به کاهش مصرف انرژی الکتریکی در سیستم روشنایی ساختمان ها، به ویژه در ساختمان های اداری و تجاری که درصد قابل توجهی از مصرف انرژی در کشور را به خود اختصاص داده اند، نمود. همچنین با توجه به درصد بالای سیستم روشنایی از این مصرف انرژی، با استفاده از بتن شفاف بازیافتی، در راستای توسعه پایدار با کاهش مصرف انرژی و همچنین استفاده مجدد از مصالح ضایعاتی و دورریز حرکت خواهد شد. بتن شفاف بازیافتی با قابلیت انتقال نور و با حفظ خواص مکانیکی بتن معمولی، با انجام تحقیقات وسیع تری در این زمینه، می تواند راهکاری سبز و دوستدار محیط زیست در صنعت ساخت و ساز لحاظ گردد.

انجام تحقیقات در زمینه بتن شفاف و سایر عناصر عبور دهنده نور نظیر فیبر نوری و استفاده از سیستم‌های ترکیبی انرژی سبز- که موضوع اصلی تز دانشگاهی محقق است- و خواص مکانیکی بتن شفاف نظیر مقاومت خمشی، مقاومت کششی بتن و دوام آن در شرایط محیطی سولفاتی و بررسی اثرات آن در کاهش مقاومت و عبور نور پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1. Krygiel, E., Nies, B. (2008). "Green BIM: successful sustainable design with building information modeling". John Wiley & Sons.
2. Kamdi, AB. (2013). "Transparent concrete as a green material for building". International Journal of Structural and Civil Engineering Research. Vol ۲, issue ۰۳ pp: ۱۷۲-۱۷۵.
3. Juan, S., Zhi, Z. (2013). "Some progress on smart transparent concrete". Pacific Science Review. Vol 15, issue 1, pp:51-55.
4. Sangshetty, P.R., Dhawale, A.W. (2017). "An Overview of energy Efficiency of Translucent Concrete". International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEEM). Vol ۶, issue ۲, pp: 037-40.
۵. پوردیهمی، ش.، سیدجوادی، ف.ح. (۱۳۸۷). "تاثیر نور روز بر انسان فرایند ادراکی و زیست شناسی". روانی روشنایی روز. سال ۱۷، شماره ۴۶، ص: ۶۷-۷۵.
6. Henriques. T.d.s. MDCD, Masuero. A.B. (۲۰۱۸). "Study of the influence of sorted polymeric optical fibers (POFs) in samples of a light-transmitting cement-based material (LTCM)". Construction and Building Materials. 161, 305-15.
7. Yue. Li. JL, Yuhong. Wan., Zhiyuan. Xu. (۲۰۱۵). "Experimental study of light transmitting cement-based material (LTCM)". Construction and Building Materials. ۹۶(۱۵), ۳۱۹-۳۲۵.
۸. پورخورشیدی، ع.، رمضانپور، ع. (۱۳۸۵). "آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان". Building and Housing Research center. سال ۱.
9. ASTM. (2013). "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete". Rule number C ۶۴۲-۱۳.
10. Bryant, Robert H. (۲۰۱۰). "Lumens, Illuminance, Foot-candles and bright shiny beads". The LED Light. Retrieved Oct ۴.
11. Organization INS. (۲۰۱۶) Standard Specification for Ready - Mixed Concrete. Rule number ۶۰۴۴.
12. ASTM. (2013). "Standard test method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics". Rule number D ۱۰۰۳-۰۰.



یازدهمین کنفرانس ملی بتن
۱۴،۱۵،۱۶ مهرماه ۱۳۹۸
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



Laboratory study of reducing energy consumption using recycled concrete with glass wastes in sustainable and environmental designing

Seyed Payam hashemian^۱, Mohammad delnavaz^۲

^۱ Masters student of civil & environmental engineering of Kharazmi university, h_payam۲۰۱۰@yahoo.com

^۲ Associate professor of civil & environmental engineering of Kharazmi university, delnavaz@khu.ac.ir

Author's email: h_payam۲۰۱۰@yahoo.com

Abstract

Today, with the growing growth of industrialized countries, new environmental challenges have arisen in field of energy resources management. Extensive redevelopment at a limited level of land resources has led to challenges such as a significant increase in the production of pollutants, so that by ۲۰۵۰, CO₂ production will reach ۴۲.۸ billion tones, with a share of building lighting system is ۱۶.۷ billion tones. On the other hand, due to underground construction such as the public transport system of the subway and the underground passageways, the need to provide the illumination of these sets is a special challenge. The subject of this research is the construction of transparent concrete with recycled materials with light transmittance and compressive strength close to ordinary concrete, that classified in the category of environmentally friendly materials. After testing the compressive strength test, software modeling and optical analysis of transparent concrete have been done. by coding under Java programming language, calculating the number of bulbs needed for design for a specific space and the amount of power savings to evaluate the environmental effects of these new materials has been done. According to the results of this study, transparent concrete with recycled glass waste, with the ability to pass light by ۱% , absorbance of less than ۳% and high compressive strength of ۴۷.۸ MPa, has a potential for using in construction in order to provide lighting in different parts of building after optimizing a weight percentage of using glass fiber waste and its optical efficiency, with the aim of reducing electrical energy consumption.

Keywords: Sustainable Development, Transparent recycled concrete, Environmental, Reducing energy consumption
