ارزیابی مقاومت و دوام روسازی بتنی با استفاده از نانو لوله کربنی

مقاله علمی – پژوهشی

محسن عموزاده عمرانی*، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران
رضوان باباگلی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، بهشهر، ایران
مهراوه حصیرچیان، دانش‌آموخته دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
سجاد آلکا، گروه مهندسی عمران، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Mo.Omrani@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰- پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه ۳۵۸-۳۴۵

چکیده

امروزه حمل و نقل جاده‌ای اهمیت زیادی در زندگی انسان‌ها از نظر اجتماعی، مادی و .... دارد. پیشرفت یک کشور می‌تواند ارتباط مستقیمی با حمل ونقل جاده‌ای داشته باشد. برای داشتن معابر مناسب، تامین یک رویه‌ی خوب بسیار مهم می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، رویه‌های صلب بتنی که مزایای اقتصادی، زیست محیطی و ایمنی دارند، مدنظر قرار گرفت. در این پژوهش، سعی شد با اضافه کردن یک افزودنی نانو، خصوصیات مقاومتی و دوام افزایش یابد تا بتوان عمر روسازی صلب را افزایش داد. بدین منظور، با انجام آزمایشهایی بر روی اجزای تشکیل دهنده بتن رویه؛ مانند، سنگدانه، آب و سیمان، مقادیر مناسب آن از جداول استاندارد مشخص شد. در این پژوهش، ماده نانو لوله کربنی تک لایه جهت بهبود و تغییر خواص بتن رویه انتخاب گردید. پس از اضافه کردن نانو لوله با نسبت‌های مختلف (۳-۵-۷ درصد وزن سیمان) به بتن رویه، آزمایش‌های مقاومت فشاری، کششی، دوام و موبینگی روی نمونه شاهد و اصلاح شده انجام شد. نتایج حاکی از افزایش ۲۰٪ در مقاومت فشاری و افزایش ۱۳٪ در مقاومت کششی بود. همچنین دوام رویه‌ها ۳۰٪ افزایش یافت، که قابل توجه بود. علاوه بر آن، نتایج نشان داد که با افزودن نانولوله کربنی جذب آب به میزان ۲۸٪ کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: رویه‌های صلب بتنی، نانو لوله کربنی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، دوام، جذب آب

۱-مقدمه

در دنیای امروز بتن بعد از آب پر استفاده‌ترین ماده در جهان محسوب می‌شود. با استفاده از ویژگی های منحصر به فرد این ماده مثل: عمل آوری در دمای معمولی، خزش کم، قابلیت شکل‌گیری در قالب‌های پیچیده، مقاومت حرارتی تا دمای ۶۰۰درجه سلسیوس، همساز بودن با انواع رشته‌ها و فیبرهای موجود، قابلیت استفاده با نانو موادهای موجود مثل نانو سیلیکا و مشخصات غیر سمی بتن، می‌توان به صورت موثر برای ساختن ماده‌ای جدید با قابلیت‌های فوق العاده کار رود. به عنوان مثال می‌توان با نانو سیمان‌های فرآوری شده، پوسته‌هایی با ضخامت چند میکرون و با شکل‌های مختلف همچون استوانه ایجاد کرد و در اجزا الکترونیکی و سنسورهای حرارت بالا به کار برد. همچنین می‌توان از نانو لوله‌های کربنی هم برای افزایش مقاومت بتن و هم برای شکل‌دهی مدارهای الکترونیکی استفاده کرد. یکی از کاربردهای مهم این مواد جدید برای پوشش بتن است، پوشش‌های پایه سیمانی موجود می‌بایست ضخیم بوده و برای بهبود چسبندگی آن‌ها نیاز به افزودن مواد پلیمری است. نانو سیمان‌ها یک الگوی جدید در این حیطه ارائه خواهند داد. می‌توان با مواد و تکنیک‌های

جدید، پوشش‌های نانو متری با مشخصه‌های خاص مثل مقاومت در برابر سایش، مقاومت در برابر حرارت و پوشش‌ها با خاصیت الکتریکی تولید کرد، همچنین می‌توان پوشش‌هایی ساخت که حرارت کمتری تولید کنند و در نتیجه اصطکاک کاهش یابد. پوشش‌ها می‌توانند خود تمیز شونده و خود ترمیم کننده باشند. سطوح بودن ترک دیگر یک آرزوی دور از دسترس نیست، با تکنولوژی نانو، تصور ما از بتن متحول خواهد شد (Bittnar et al, 2009). در کشور پهناور ایران تسهیل در امور حمل و نقل با توجه به اقلیم و شرایط خاص منطقه‌ای و برنامه‌ریزی مناسب برای آن و ساخت و توسعه اصولی و مناسب زیر ساخت‌های حمل و نقل با رعایت ضوابط و معیارهای فنی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حمل و نقل هوایی با توجه به سرعت بالای آن در جابجایی کالا و مسافر و تاثیر آن بر توسعه اقتصادی در برنامه ریزی حمل ونقل کشور توجه ویژه‌ای به آن گردیده است. در طراحی جاده‌ها و فرودگاه‌ها بخش روسازی دارای اهمیت بسزایی است. در قرن بیستم نوع جدید این روسازی‌ها که از جنس بتن به منظور حصول اطمینان از قفل شدگی بود، ساخته شد. هدف از طراحی روسازی فراهم آوردن یک ترکیب سازه‌ای بر روی مسیر حرکت جهت انتقال ترافیک عبوری به صورت ایمن، یکنواخت و کارآمد می‌باشد. حمل و نقل جاده‌ای و هوایی به عنوان یکی از روش‌های برتر در زمینه جابجایی مسافر، بار و نیازمندی‌های امنیتی مطرح است. زمان توقف بهره‌برداری جهت بهسازی و بازسازی سطوح پروازی بتنی ضعیف و مضمحل تاثیر بسزایی در اقتصاد خرد و کلان خواهد داشت. پس لزوم کاربرد روسازی‌های با کیفیت عملکردی بالا مهم است.انواع مختلفی از روسازی‌ها شامل روسازی‌های انعطاف پذیر (آسفالت گرم، آسفالت نیمه گرم و...)، روسازی‌های صلب (انواع روسازی‌های بتنی)، روسازی‌های ترکیبی (انعطاف پذیر وصلب) و مخلوط‌های بازیافتی (سرد و گرم) می‌تواند برای کاربرد در سطوح پروازی مورد استفاده قرار گیرد. مخلوط‌های آسفالتی انعطاف پذیر در شرایط تماس با سوخت و روغن هیدرولیک هواپیما، شرایط یخ بندان – ذوب یخ دچار جداشدگی فیلم قیر از مصالح سنگی و در نتیجه آن بروز صدمه ناشی از ورود شیء خارجی به موتور هواپیما می‌گردند که موجب از بین رفتن کامل موتور هواپیما و اضمحلال روسازی می‌گردد. بنابراین روسازی‌های صلب می‌توانند گزینه مناسبی برای کاربرد در این نوع سطوح باشند. طبق دستورالعمل مدیریت روسازی سطوح پروازی فرودگاه‌ها، ۱۵ نوع خرابی در تعیین شاخص خدمت دهی روسازی بتنی موثر است که ۶۰ درصد آن‌ها ناشی از مسئله دوام است. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های موثر در دوام بتن، مقاومت آن در برابر شرایط یخ زدن _آب شدن است که می‌تواند به تنهایی علت بروز ۶۷ درصد خرابی‌های منشاء دوام در روسازی‌های بتنی سطوح پروازی گردد. (مروج جهرمی و همکاران، ۱۳۸۸). عمل یخ‌زدن از مهم‌ترین مسائل پایایی سازه‌های بتنی در شرایط آب و هوایی سرد است. افزودنی‌ها موجود برای بتن همیشه تمامی مشخصات بتن را بهبود نمی‌بخشد. نانو فناوری نشان داده است که قابلیت بهبود عملکرد بتن را به صورت همه جانبه دارد. ذرات نانو با توجه به ابعادشان می‌توانند نقش پرکننده حفرات را بازی کنند. همچنین می‌توانند با تشکیل نانو کریستال‌ها مشخصات بتن را ارتقا بخشند.

میکروکربن از جمله افزودنی‌های پرمصرف امروزی است با این حال مشاهده شده که استفاده از نانو کربن تاثیر بهتری روی رفتار بتن دارد (Li et al, 2004; Li et al, 2007).
همه ساله تعداد زیادی از راه‌های کشور ما در اثر ضعف روسازی‌های دچار آسیب دیدگی یا خرابی زودرس می‌شوند. از جمله خرابی هایی که بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است، خرابی‌های ناشی از حساسیت رطوبتی مخلوط‌ها می‌باشد. یکی از روش‌های متداول برای کاهش حساسیت رطوبتی مخلوط، استفاده از مواد افزودنی می‌باشد که از جمله آنها الیاف نانو است که بارها مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است. در این تحقیق تاثیر استفاده از الیاف نانو بر روی خصوصیات مقاومتی و دوام روسازی صلب مورد بررسی قرار گرفته است. رمضانیان پور و همکاران۱۳۹۱، به مقایسه اثرات نانو سیلیس و دوده سیلیس بر روی ریز ساختار و دوام نمونه‌های بتنی پرداختند. در این مطالعه آزمایشگاهی، به بررسی خواص مکانیکی و دوامی بتن‌های حاوی نانو سیلیس و دوده سیلیس یا آزمایش‌هایی مانند مقاومت فشاری، نفوذ و جذب آب، نفوذ تسریع شده یون کلراید و مقاومت الکتریکی بتن پرداخته شده است.

به علاوه، جهت مطالعه ریز ساختار خمیر سیمان حاوی دوده سیلیس و نانو سیلیس نیز از آزمایش‌های طیف سنجی تفرق اشعه ایکس و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده

شده است. نتایج تحقیق نشان دهنده افزایش مقاومت فشاری با افزایش نانو سیلیس (۳۷٪ افزایش مقاومت ۳ روزه با افزودن ۷٫۵٪ نانو سیلیس) هستند. (رمضانیانپور، ۱۳۹۱)

هم چنین نانو سیلیس اثر بیشتری در کاهش نفوذپذیری بتن در مقابل آب و یون کلراید و افزایش مقاومت الکتریکی بتن (٦٨٪ بهبود مقاومت در برابر یون کلراید و ٥٦٪ افزایش مقاومت الکتریکی در سن ۲۸ روز با افزایش ۷٫۵٪ نانو سیلیس) در مقایسه با دوده سیلیس به خصوص در سنین اولیه دارد. فیروزمکان و همکاران ۱۳۹۱، به تاثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مکانیکی و دوام بتن پرداختند. به این منظور از آزمایش‌هایی چون مقاومت فشاری، نفوذپذیری و جذب مویینگی آب، نفوذ تسریع شده یون کلراید و مقاومت الکتریکی بهره گرفته شده است. علاوه بر این جهت بررسی دقیق‌تر اثرات نانو سیلیس بر ریزساختار بتن از آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی بر روی نمونه‌های خمیر سیمان نیز استفاده شده است. جهت ساخت نمونه‌های بتنی از مقادیر مختلف نانو سیلیس با جایگزینی ۰٪ ، ۲٫۵٪ ، ٤٫٥٪ ، ٦٫٥٪ ، ۸٫۵٪ وزنی سیمان استفاده گردید. تمامی نمونه‌ها با نسبت آب به مواد سیمانی ثابت وبرابر با ۰٫٤٥ و عیار ۳٤۰۰ کیلوگرم بر متر، ساخته شدند. بطور کلی نتایج، بهبود خواص و میکروساختار بتن را با افزایش نانوسیلیس نشان می‌دهد (فیروزمکان و همکاران، ۱۳۹۱). جبل عاملی و همکاران ۱۳۹٤، به بررسی تاثیرات میکروسیلیس بر خصوصیات مقاومتی و دوام بتن سبک سازه‌ای و توجیه پذیری اقتصادی آن پرداختند. در این تحقیق سعی شده با افزودن میکروسیلیس به بتن سبک سازه‌ای، تغییرات حاصله در مقاومت فشاری را به عنوان نماینده‌ای از خصوصیات مقاومتی بتن ثبت کنیم. میکروسیلیس با درصدهای ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ جایگزین سیمان شد و طرح اختلاط بر حسب این جایگزینی تنظیم شد. همچنین جذب آب نمونه‌ها برای بحث دوام م.رد بررسی قرار گرفت. تمامی تست‌ها در سن ۷ و ۲۸ روز انجام و مقایسه شد. در پایان با استفاده از ضرایب و امتیازهای مربوطه و با توجه به بهبودهایی که میکروسیلیس در بتن سبک ایجاد کرد، توجیه پذیری اقتصادی استفاده از این پوزولان در بتن سبک سازه‌ای مورد بحث و گفتگو قرار گرفت (جبل عاملی و همکاران، ۱۳۹٤). نیلوفر سالمی و کیاچهر بهفرنیا۲۰۱۳، در مقاله خود به بررسی افزایش دوام روسازی‌های بتنی در مناطق سردسیر با نانو ذرات را پرداختند. از آنجا که یکی از مشکلات عمده استفاده از روسازی بتنی در مناطق سردسیر، دوام پایین آن در برابر چرخه‌های یخ و ذوب است، ازاین رو افزایش دوام این نوع روسازی برای سهولت کاربرد آن به ویژه در مناطق سردسیر الزامی به نظر می رسد، هدف از انجام این کار ارائه راهکاری برای دستیابی به این مهم بتن بوده است. برای این منظور، محققان این طرح به بررسی اثرات استفاده از نانوذرات اکسید سیلیسیوم (نانوسیلیس) و اکسید آلومینیوم (نانوآلومین) بر خواص مکانیکی و دوام بتن پرداختند، نتایج این طرح مشکل فرسایش زودهنگام بتن و کاهش مقاومت آن در مناطق سردسیر را حل می کند (Behfarnia et al, 2013).

۲- مواد و مصالح

۲-۱-سیمان

سیمان مصرفی در این تحقیق جهت ساخت تمامی طرح‌های اختلاط، از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ شرکت سیمان خزر می‌باشد. مشخصات شیمیایی این سیمان در جدول ۱ و مشخصات فیزیکی آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی

ترکیب شیمیایی	درصدهای تشکیل دهنده
SiO2	۲۱٫٦۸
Al2O3	۵٫٦
Fe2O3	۳٫۲
CaO	٦۳٫۲
MgO	۱٫۸
SO3	۱٫۷
Na2O	۰٫۲

K2O	۰,۷
Free-CaO (CaO.f)	۰,۳۸
Cl	-
I.R	۰,۳۷
LOI	۱,۱۷
	٪۱۰۰
C3S	٤٦,۱۷
C2S	۱٦,۲٥
C3A	٥,۹۸
C4AF	۱۲,۹٥

جدول ۲. مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

مشخصات	مقدار
۳ کیلوگرم بر متر وزن مخصوص	**۳۱٥۲**
بلین (سانتی متر بر گرم)	**۳۲٦۱**
میکرون (٪)**۱۲**باقیمانده روی الک	**٥.۷۷**
انبساط طولی (٪)	**۲.۲**
درصد آب	**۲۳**
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	**۱٥٤**
زمان گیرش ثانویه (دقیقه)	**۲۱۲**
مقاومت فشاری **۲** روزه (**۲(Kgf/cm**)	**۱٦۲**
مقاومت فشاری **۳** روزه (**۲(Kgf/cm**)	**۲۲٦**
مقاومت فشاری **۷** روزه (**۲(Kgf/cm**)	**۳٤۲**
مقاومت فشاری **۲۸** روزه (**۲(Kgf/cm**)	**٥۲۱**

۲-۲-نانولوله کربنی

در این تحقیق، وزن مواد افزودنی نانو لوله (۳، ٥، ۷) درصد وزن سیمان مصرفی انتخاب شد.

۲-۳- آب

مطابق با بند ۹-۳-٤-۱ مبحث ۹، آب مصرفی در بتن باید آب آشامیدنی باشد. آبی که قابل آشامیدن است مزه یا بوی مشخصی ندارد و تمیز و صاف است و می‌توان آن را در بتن به کار برد به همین دلیل در طرح‌های اختلاط از آب آشامیدنی در طرح‌های اختلاط استفاده شد.

۲-٤-مصالح سنگی

سنگدانه مصرفی در این پروژه آزمایشگاهی از معادن شن و ماسه بابل تهیه خواهد شد. ماسه مصرفی، ماسه شسته دستگاهی و شن مصرفی، شن شکسته با حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلی‌متر می‌باشد. سیمان مورد استفاده در ساخت تمامی نمونه‌ها، سیمان تیپ ۲ فیروزکوه و نانو لوله کربنی مصرفی از نوع تک لایه می‌باشد. در این پژوهش از آب آشامیدنی شهر بابل جهت اختلاط استفاده خواهد شد.

جدول۳. دانه‌بندی درشت دانه

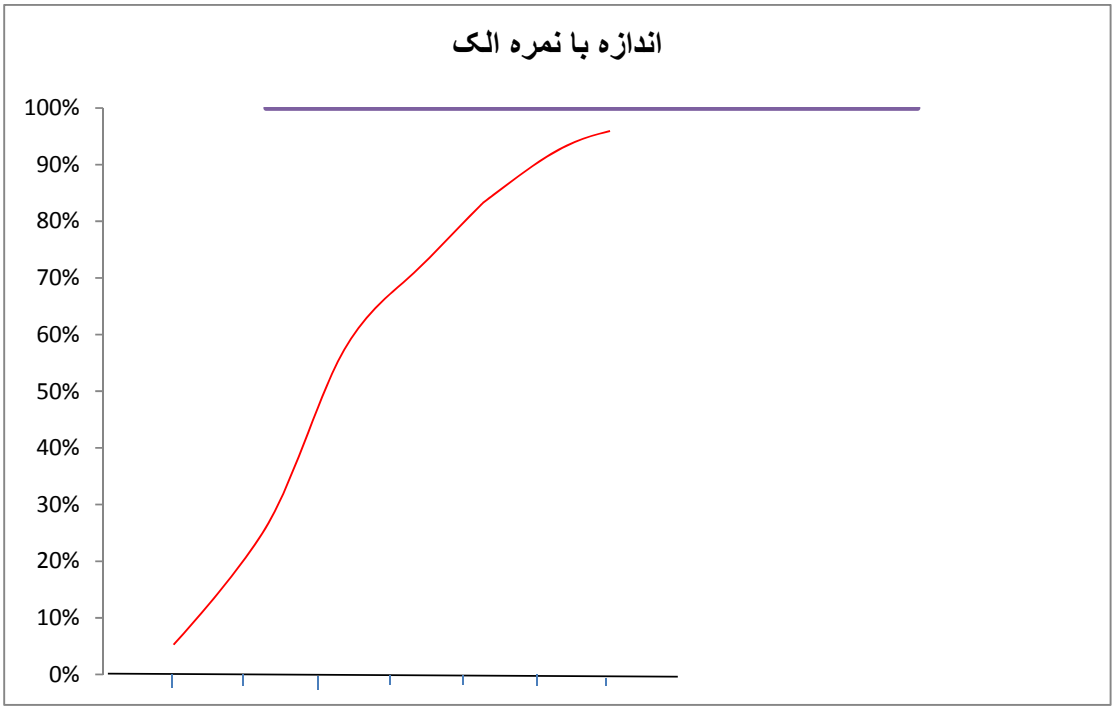
ASTM درشت دانه	
اندازه الک	
میلی‌متر	اینچ
۷۵	۳
۶۳	۲,۵
۵۰	۲
۳۷,۵	۱,۵
۲۵	۱
۱۹	۰,۷۵
۱۲,۵	۰,۵
۹,۵	۰,۳۷۴

جدول ٤. دانه‌بندی ریزدانه

ASTM ریزدانه		
نمره الک	اندازه الک	
	میلی‌متر	اینچ
٤	٤,۷۵	۰,۱۸۷
۸	۲,۳٦	۰,۰۹۳۷
۱٦	۱,۱۸	۰,۰٤٦۹
۳۰	۰,٦	۰,۰۲۳٤
۵۰	۰,۳	۰,۰۱۱۷
۱۰۰	۰,۱۵	۰,۰۰۵۹

جدول۵. دانه‌بندی سنگدانه

اندازه الک	وزن مانده روی الک (گرم)	درصد مانده روی الک	درصدجمعی گذشته ازالک	درصدجمعی مانده روی الک
ASTM(۱)	(۲)	(۳)	(٤)	(۵)
۳/۸	۰	۰	۱۰۰	۰
٤	٦	۲	۹۸	۲
۸	۳۱	۱۰,۱	۸۸	۱۲
۱٦	۳۰	۹,۸	۷۸	۲۲
۳۰	۵۹	۱۹,۲	۵۹	٤۱
۵۰	۱۰۷	۳٤,۹	۲٤	۷٦
۱۰۰	۵۳	۱۷,۳	۷	۹۳
۱۰۰	۲۱	٦,۸	–	–
	کل = ۳۰۷			کل =۲٤۸



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌ها

۲-۷-روش ساخت نمونه‌های بتنی

برای تهیه یک متر مکعب بتن با مقاومت ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب با افت اسلامپ صفر و اندازه حداکثر دانه‌ها با قطر ۲۰ میلی‌متر جهت آزمایش ۸۰ کیلوگرم مخلوط رویه بتنی تهیه شد و درصدهای مختلف نانو لوله به آن اضافه شد و تمام آزمایشات به صورت هم زمان بر روی نمونه معمولی و نمونه با افزودنی انجام گردید. مقادیر مصرفی جهت تهیه مخلوط بتن رویه به شرح ذیل محاسبه شد.

جدول ٦. مقادیر مصرفی تهیه مخلوط بتن رویه

حجم بتن	حجم مصالح مورد نیاز	حجم بتن پژوهش	مصالح مصرفی پژوهش
یک متر مکعب بتن	۱۸۵ کیلوگرم آب	۸۰ کیلوگرم	٦,۲ کیلوگرم آب
//	۳۸۵,۵ کیلوگرم سیمان	//	۱۲,۸ کیلوگرم سیمان
//	۱۱٦۰ کیلوگرم شن	//	۳٤,۸ کیلوگرم شن
//	٦۲٤ کیلوگرم ماسه	//	۲۰,۸ کیلوگرم ماسه
//	۱۹,۲۵ کیلوگرم نانو لوله	٦۰ کیلوگرم نمونه‌های اصلاح شده	۰,٤۸۰ کیلوگرم نانو لوله

۳- برنامه آزمایشگاهی

۳-۱-آزمایش مقاومت کششی

از آنجا که اعمال کشش محوری به نمونه بتنی مشکل می‌باشد، (چون باید دو انتهای نمونه گرفته شوند و از خمش جلوگیری شود) مقاومت کششی بتن با روش‌های غیر مستقیم یعنی آزمایش خمشی و آزمایش شکافتن (دو نیم شدن) تعیین می‌گردد. این روش‌ها به مقاومت‌هایی منتهی می‌شوند که از مقاومت واقعی تحت بار کششی محوری، بیشتر می‌باشند. در آزمایش شکافتن، یک استوانه بتنی (یا بندرت مکعبی) از نوعی که برای آزمایش مقاومت فشاری بکار می رود، طوری

بین صفحات دستگاه آزمایش قرار می‌گیرد که محور آن افقی باشد. سپس بار افزایش می‌یابد تا شکستگی به صورت دو نیم شدن در صفحه شامل قطر قائم نمونه، بوجود آید.

در شکل (۲) نوع گیره‌های لازم جهت نگهداری نمونه‌ها در یک دستگاه آزمایش فشاری را مطابق استاندارد BS ۱۸۸۱: Part ۱۱۷: ۱۹۸۳ نشان می‌دهد.

ASTM C ٤٩٦-٧١ (باز بینی شده در سال ۱۹۷۹) نیز آزمایش مشابهی را توصیه می‌کند. برای جلوگیری از تنش‌های فشاری موضعی خیلی بالا در خطوط بارگذاری، نوارهای باریکی از مواد فشرده، مانند تخته چند لا یا تخته سخت بین نمونه و صفحات دستگاه آزمایش قرار می‌گیرند.

تحت این شرایط، مقاومت فشاری افقی بالایی، در بالا و پایین استوانه به وجود می آید. اما چون این تنش با تنش فشاری قائمی با همان اندازه همراه می‌باشد، حالتی از فشار تک محوری بوجود می‌آید، بطوری که گسیختگی در این نقاط به وجود نمی‌آید. در عوض گسیختگی در اثر تنش کششی افقی و یکنواخت در بقیه مقطع استوانه آغاز می‌شود. بار با سرعت ثابتی اعمال می شود؛ طوری که تنش کششی طبق BS ۱۸۸۱: Part ۱۱۷: ۱۹۸۳ بین ۰,۰۲ تا ۰,۰٤ مگاپاسکال در ثانیه و طبق ASTM C ٤٩٦-٧١ بین ۰,۰۱۱ تا ۰,۰۲۳ مگاپاسکال در ثانیه قرار بگیرد.

سپس مقاومت کششی دو نیم شدن با دقت ۰,۰۵ مگاپاسکال از رابطه(۱) محاسبه می‌شود.

$$f_{t=}\frac{2p}{\pi Ld} \qquad (۱)$$

که در آن p ماکزیمم فشار، d طول نمونه و L قطر نمونه و f_t مقاومت کششی می باشند. (تکنولوژِ بتن ، نویل ۳۲۵)

۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری در روش ASTM روی نمونه‌های استوانه‌ای ۳۰۰×۱۵۰ میلی‌متر (۱۲×٦ اینچ) و در روش BS روی نمونه‌های مکعبی ۱۵۰ میلی‌متری (٦ اینچی) انجام می‌شود. توجه به بزرگترین اندازه دانه‌ها، استانداردها استفاده از نمونه‌های کوچکتر را نیز مجاز می‌دانند. به منظور جلوگیری از چسبندگی بتن به جدار قالب، باید یک لایه نازک روغن معدنی به جدارهای داخلی قالب مالیده شود. سپس بتن در چند لایه داخل قالب ریخته می‌شود. تراکم بتن‌های با اسلامپ بالا در سه لایه و با زدن ۲۵ ضربه به هر لایه توسط یک میله گرد به قطر ١٦ میلی‌متر (۸/۵ اینچ) انجام می‌شود. تراکم بتن‌های با اسلامپ پایین در دو لایه و با ویبره‌های داخلی و خارجی انجام می‌شود. شرایط نگهداری استوانه‌های استاندارد در ASTM C ۸۱-۱۹۲ مشخص گردیده است. در آزمایشگاه به‌منظور جلوگیری از کاهش رطوبت نمونه‌های قالب گیری شده، آنها را به مدتی بیش از ۲۰ ساعت و کمتر از ٤٨ ساعت در دمای ۲۳ ±۱,۷ درجه سانتیگراد نگهداری می کنند. سپس نمونه‌های از قالب باز شده را تا زمان رسیدن به زمان آزمایش، در رطوبت کامل و یا آب آهک اشباع نگهداری می کنند. با نگهداری نمونه در شرایط استاندارد، مقاومت‌های بالایی نتیجه می‌شود. انجام آزمایش، ۲۸ روزه می‌باشد؛ اما ممکن است آزمایش‌های دیگری در سنین ۳ و ۷ روزه و در موارد کمتری در سنین ۱، ۲ و ١٤ روز و همچنین ۱۳ و ٢٦ هفته و یک سال انجام شود.

روش‌های نگهداری فوق در مورد نمونه‌های مکعبی استاندارد اعمال می‌شوند، اما مشابه با نمونه‌های استوانه‌ای، در این مورد هم می‌توان با نگهداری تعادل از نمونه‌ها در شرایطی مشابه با شرایط واقعی سازه، مقاومت واقعی را بررسی نمود. توصیه می‌کند که نمونه طوری زیر دستگاه آزمایشگاه قرار گیرد که جهت بار عمود بر جهت بتن ریزی نمونه درقالب، اعمال شود. بار به صورت تنشی با سرعت ثابت ۰,۲ تا ۰,٤ مگاپاسکال در ثانیه اعمال می‌شود و مقاومت نمونه بدست می‌آید. (تکنولوژی بتن، نویل ۳۲۰).

شکل ۲. نحوه قرارگیری نمونه در قالب آزمایش مقاومت کششی

شکل ۳. نحوه انجام آزمایش مقاومت کششی

شکل ٤. نمونه استوانه‌ای دو نیم شده

شکل ۵. نحوه انجام آزمایش مقاومت فشاری

۳-۳-آزمایش دوام در برابر ذوب و انجماد

به منظور جلوگیری از خرابی بتن توسط تناوب‌های یخ زدن و آب شدن، می‌توان با استفاده از مواد حباب‌زا بطور عمدی حبابهای هوا در داخل خمیر سیمان ایجاد نمود. این روش در قسمت‌های بعد مورد بحث قرار خواهد گرفت. البته حباب زایی تنها هنگامی موثر است که در مخلوط‌هایی با نسبت آب به سیمان پایین بکار رود. بطوری که خمیر سیمان دارای حجم کمی از حفره‌های موئینه باشد و حفره‌ها مجزا و غیر پیوسته باشند. برای رسیدن به این منظور بتن باید بخوبی متراکم شده و قبل از قرار گرفتن در معرض یخ زدن، هیدراتاسیون کافی در آن انجام شده باشد. در شرایطی که یخبندان ملایم‌تر است، ممکن است استفاده از بتن مرغوب، بدون حباب زایی، کافی باشد. جدول ٦ توصیه‌هایی برای ماکزیمم مقادیر نسبت آب به سیمان و حداقل مقاومت بتن در شرایط جوی گوناگون ارائه می‌دهد. استفاده از سنگدانه‌های درشت و نسبت بزرگی از مصالح تخت و پولکی قابل توجیه نمی‌باشد، زیرا ممکن است زیر دانه‌های سنگی درشت توده‌های آب ایجاد شود. کفایت مقاومت بتن دربرابر یخبندان را می‌توان با آزمایش‌های یخ زدن و آب شدن تعیین نمود. دو روش توسط استاندارد ASTM C ٨٤ – ٦٦٦ توصیه شده‌اند. در هر دو روش یخ زدن سریع بکار می‌رود. اما در یک روش یخ زدن و آب شدن در آب انجام می‌شود، در حالی که در روش دیگر یخ زدن در هوا و آب شدن در آب صورت می‌گیرد. این شرایط به منظور ایجاد شرایط واقعی جوی فراهم می‌شوند. استاندارد : BS ٥٠٧٥ Part ٢: ١٩٨٢ نیز یخ زدن در آب را توصیه می‌کند. خسارت ناشی از یخ زدن بعد از تعدادی سیکل یخ زدن و آب شدن، با اندازه‌گیری میزان کاهش در جرم نمونه، افزایش طول نمونه، کاهش مقاومت و یا کاهش مدول الاستیسیته‌ی دینامیکی (که از بقیه مرسوم‌تر است)، ارزیابی می‌شود.

در روش ASTM، یخ زدن و آب شدن تا ۳۰۰ سیکل یا تا زمان کاهش مدول دینامیکی تا ٦٠ درصد مقدار اولیه‌اش، (هرکدام زودتر اتفاق بیفتد)، ادامه داده می شود.

سپس فاکتور دوامDf با رابطه زیر تعریف می‌شود :

$$D_f = \frac{n}{3}\left[\frac{E_{dn}}{E_{do}}\right] \quad (۲)$$

که در آن n تعداد سیکل‌ها در پایان آزمایش، E_dn مدول الاستیسیته دینامیکی در پایان آزمایش، و E_do مدول الاستیسیته دینامیکی در آغاز آزمایش می‌باشند. مقدار Df معمولا برای مقایسه بتن‌های مختلف، بخصوص هنگامی که تنها یک متغیر (مثلاً سنگدانه‌ها) تغییر کند، بکار می‌رود. بطور کلی عددی کوچکتر از ٤٠ نشان دهنده آسیب پذیری بتن خواهد بود. اعداد بین ٤٠ تا ٦٠ وضعیتی مشکوک را نشان می‌دهند و مقادیر بزرگ‌تر از ٦٠ بیانگر وضعیتی رضایت بخش در بتن خواهند بود. شرایط پیش بینی شده در ASTM C ٨٤–٦٦٦از آنچه در عمل رخ می‌دهد، شدیدتر می‌باشند. زیرا سیکل‌های گرم کردن و سرد کردن بیت ٤,٤ و ١٧,٨- درجه سانتی‌گراد با سرعت سردکنندگی بالای ١٤ درجه سانتی‌گراد در ساعت می باشند . در بیشتر نقاط جهان میزان سرد شدن، به ندرت از ٣ درجه سانتیگراد در ساعت تجاوز می‌کند. البته در روش آزمایش دیگری، استاندارد ٧٧ -٦٧١ ASTM C سرعت یخ زدن پایین‌تری با یک سیکل در هر دو هفته توصیه می‌نماید. آزمایش تا زمان رسیدن به تعداد سیکل‌های خواسته شده، یا تعداد سیکل‌هایی که باعث انبساط بحرانی می‌شود، ادامه می‌یابد. (تکنولوژی بتن، نویل ۳۰۵)

۳-٤- آزمایش مویینگی

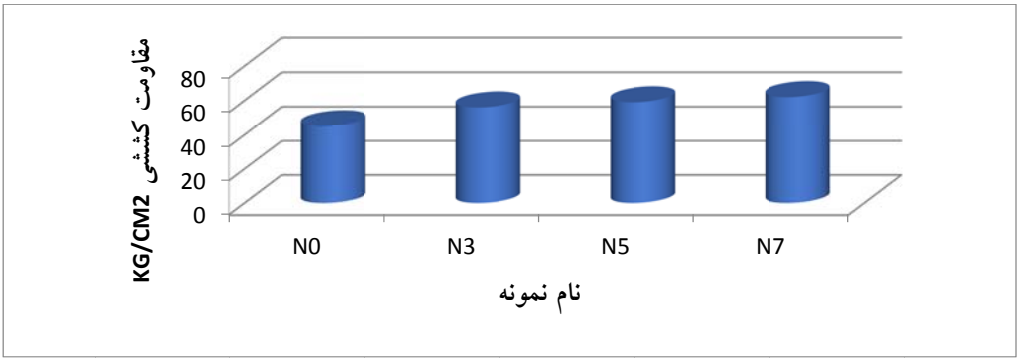
جهت انجام این آزمایش طبق استاندارد : BS EN ٤٨٠.٥ ۱۹۹۷ نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی‌متری در سن آزمایش از محلول آب آهک خارج و جهت رسیدن به وزن ثابت به مدت ۱٤ روز در ۳٥٤ و نبا دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده خواهند شد.

سپس نمونه‌ها پس از توزین درون ظرف آبی قرار داده شدند، به گونه‌ای که سطح آب به اندازه ۵ میلی‌متر از تراز کف نمونه‌ها بالاتر باشند، وزن نمونه‌ها ۲٤ پس از ۲٤، ٦، ۳ و ۷۲ ساعت قرار گیری در آب، قرائت خواهند شد. (تکنولوژی بتن، نویل ۱۱٦)

٤- نتایج و بحث

٤-۱-مقاومت کششی نمونه‌ها

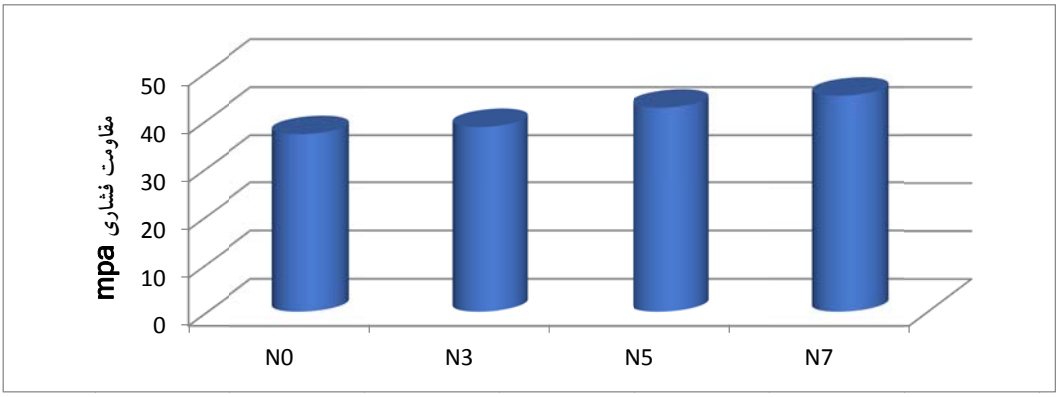
با توجه به مقاومت کششی بدست آمده نمونه‌های مختلف در شکل ٦ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نانو لوله، مقاومت کششی رو به افزایش است. می‌توان نتیجه گرفت که نانو لوله به‌علت سطح مخصوص زیادی که دارد، پیوند خوبی بین اجرای تشکیل دهنده بتن رویه ایجاد کرده است.



شکل ٦. نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها

٤-۲- مقاومت فشاری

سه نمونه مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰سانتی‌متر) از بتن (N0، N3، N5، N7) ساخته شده است، با دستگاه مخصوص تحت بار با سرعت معین قرار گرفت. حداکثر بار فشاری برای هریک از نمونه‌ها در شکل ۷ آورده شده است.

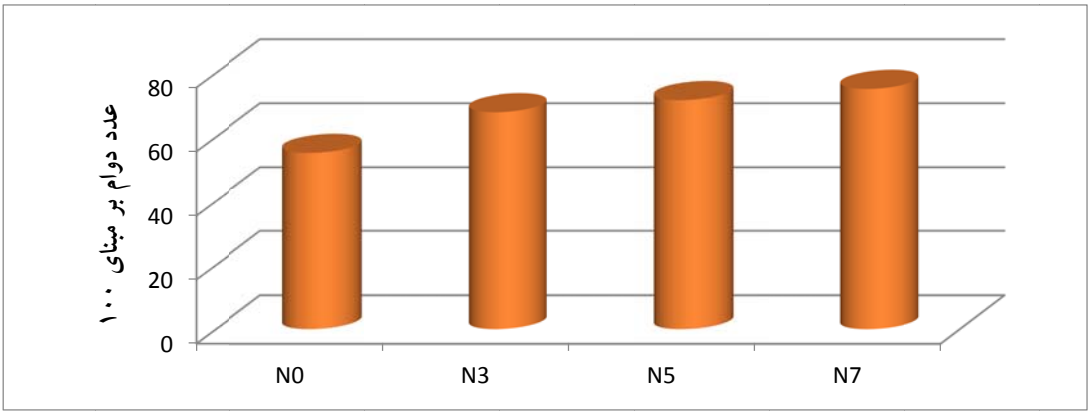


شکل ۷. نتایج آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به نتایج بدست آمده از نمونه‌های مختلف در شکل ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش درصد نانو مقاومت فشاری افزایش یافته است؛ همین‌طور این نتیجه حاصل می‌شود که نسبت افزایش مقاومت فشاری بیشتر از نسبت افزایش نانو بوده است.

٤-٣-آزمایش دوام در برابر ذوب و انجماد

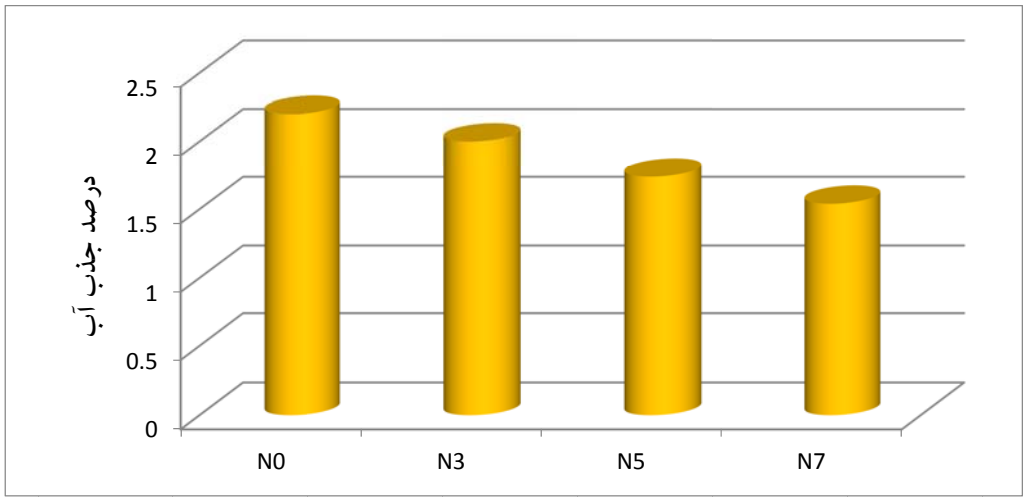
سه نمونه مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰سانتی‌متر) از بتن‌های (N0، N3، N5، N7) ساخته شد. بعد از قرار دادن در فریزر و انجام ۳۰۰ سیکل ذوب و انجماد تحت بار قرار گرفت. از نتایج شکل ۸ مشاهده می‌شود به‌علت خواص پلاستیک نانو لوله، با افزایش نانو به مخلوط، بتن رویه دوام خوبی در سیکل‌های ذوب و انجماد از خود نشان داد.



شکل ۸. نتایج آزمایش ذوب و انجماد

٤-٤- آزمایش مویینگی (جذب آب)

نتایج آزمایش مویینگی در شکل ۹ نمایش داده شده است. آزمایش بر روی دو نمونه شاهد و اصلاح شده، میانگین جذب آب ۱٫٦٪ برای نمونه اصلاح شده و ۲٫۰۵٪ برای نمونه شاهد و بدین ترتیب ۲۸٪ کاهش جذب آب را نشان می‌دهد.



شکل ۹. نتایج آزمایش جذب آب

٥- نتیجه‌گیری

با انجام آزمایش مقاومت فشاری و کششی، مقاومت در برابر ذوب و انجماد و جذب آب روی نمونه‌های بتنی با استفاده از نانو لوله کربنی، نتایج زیر کسب شده است:

-با افزودن مقادیر مختلف نانو لوله، مقاومت فشاری نمونه اصلاح شده افزایش یافت. همچنین مشاهده شد که مقاومت فشاری بتن به‌علت همگن شدن و اثر پر کنندگی نانو لوله، رو به افزایش بوده است.

-پس از افزودن الیاف نانو لوله به‌میزان ۰٫۵٪ وزن سیمان مصرفی، فاکتور دوام نمونه اصلاح شده ۷۱٫۵ و فاکتور دوام نمونه

اصلاح نشده ۵۵ بدست آمده که ۳۰٪ افزایش دوام در یک

-به‌دلیل استفاده از نانو لوله‌ها در مخلوط بتن رویه، قابلیت جذب انرژی رویه صلب بتنی به‌میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته که نشانگر قابلیت نانو لوله‌ها در پل زدن و بستن ریزترک‌ها درصورت پخش مناسب است.

-تاثیر الیاف نانو لوله بر روی مقاومت کششی رویه‌های صلب بتنی کاملا قابل توجه بود. نانو لوله‌های کربنی، نسبت سطح به وزن بالایی دارند؛ بنابراین، انرژی بیشتری را برای انتشار ترک در اطراف خود در مقایسه با سایر الیاف‌ها نیاز خواهند داشت و با افزایش نانو لوله، مقاومت کششی رویه هم افزایش می‌یابد.

دوره داشته است.

پس از بررسی روی نمونه‌های اصلاح شده و شاهد، مقاومت کششی نمونه اصلاح شده ۵۷ و نمونه شاهد ٤٦ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست آمده است که ۱۳٪ افزایش داشته است.

-تاثیر الیاف نانو لوله بر موییننگی (جذب آب) رویه‌های صلب بتنی نیز بررسی شد. با توجه به نتایج، نانو لوله به‌صورت فیلر عمل کرده و خلل و فرج‌های بتن رویه را پر کرده و باعث انسجام بیشتر بتن می‌شود. همچنین مشاهده شد که درصد جذب آب در نمونه‌ها متناسب با افزایش نانو لوله بوده است.

٦-مراجع

-جبل عاملی، بهرام.، صداقت، آرش.، امید قائمی، نویدرضا (۱۳۹٤). بررسی تاثیرات میکروسیلیس برخصوصیات مقاومتی و دوام بتن سبک سازه‌ای و بحث در مورد توجیه پذیری اقتصادی آن.

- رمضانیانپور، علی اکبر (۱۳۹۱). مقایسه اثرات نانو سیلیس و دودهٔ سیلیس بر روی ریزساختار و دوام نمونه‌های بتنی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، شماره ٤٥، ۷۵-٦٥.
Doi: 10.22060/ceej2012.98

-فیروزمکان، شبنم، رمضانیانپور، علی اکبر، عبادی، تقی، و بهرامی، حامد**۲-۲-نانولوله کربنی**

در این تحقیق، وزن مواد افزودنی نانو لوله (۳، ٥، ۷) درصد وزن سیمان مصرفی انتخاب شد.

(۱۳۹۱). تاثیر نانوسیلیس بر خصوصیات مکانیکی و دوام بتن. مهندسی عمران و محیط زیست، دانشکده فنی، ٤۲، شماره ۱، پیاپی ٦٦، ٤٤-۳٥.

-Behfarnia, Kiachehr, and Niloofar Salemi. (2013).The effects of nano-silica and nano-alumina on frost resistance of normal concrete. Construction and Building Materials 48, 580-584.

-Bittnar, Zdenek, Peter JM Bartos, Jiri Nemecek, V. Smilauer, and Jan Zeman, eds. Nanotechnology in Construction, (2009). Proceedings of the NICOM3. Springer Science & Business Media.

-Li H, Zhang M-h, Ou J-p. (2007). Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement. Int J Fatig, 29(7),1292–301.

-Li H, Xiao H-g, Yuan J. Ou J. (2004). Microstructure of cement mortar with nanoparticles. Compos B Eng. 35(2), 185–9.

-Sanchez, Florence, and Konstantin Sobolev. (2010). Nanotechnology in concrete–a review. Construction and building materials 24, No. 11, 2060-2071.

Evaluating the Strength Properties and Durability of Rigid Pavements Using Carbon Nanotubes

Mohsen Amouzadeh Omrani, Assistant professor, Department of Civil Engineering, Savadkooh Branch, Islamic Azad university, Savadkooh, Iran.

Rezvan Babagoli, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran.

Mehraveh Hasirchian, Ph.D Graduated, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Sajjad Alka, Department of Civil Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran.

E-mail: Mo.Omrani@iau.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT

Road transport is important in people's lives, socially and materially. The progress of a country can be directly related to road transportation. It is very important to have a good procedure for proper passages, and to achieve this goal, they choose rigid concrete procedures that are economic, environmental and safe. In current research adding a nano additive increases the resistance and durability properties so that we can also increase the life of the solid surface, for this purpose, from the tests on the constituent components of the top concrete (aggregate, water, cement) suitable for it from the tables The standard is specified. With the study done on the research and examination of professors, single-layer carbon nanotube material was selected to improve and change the properties of concrete. After adding nanotubes with different ratios (3-5-7 percent of cement weight) to the concrete, the compressive strength test was performed on the control and modified sample and a 20% increase was observed, and the tensile strength improved by 13%. Also, the durability of the procedures increased by 30%, which was very impressive and significant, and showed a 28% reduction in water absorption.

Keywords: Rigid Concrete Surfaces, Carbon Nanotubes, Compressive Strength, Tensile Strength, Durability, Water Absorption