

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
مهرآه 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@iaiu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

صفحه ۳۴۵-۳۵۸

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 و نقل 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 جدول 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 مویستگی 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

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

در دنیای امروز بتن بعد از آب پر استفاده‌ترین ماده در جهان محسوب می‌شود. با استفاده از ویژگی‌های منحصر به فرد این ماده مثل: عمل آوری در دمای معمولی، خزش کم، قابلیت شکل‌گیری در قالب‌های پیچیده، مقاومت حرارتی تا دمای ۶۰۰ درجه 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،

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 شوند 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 و نقل 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 و صلب) و مخلوط‌های بازافتی (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 منشأ 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 بخشد.

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 خرابی‌هایی 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 همکاران ۱۳۹۱، 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

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 میکروسلیس در بتن سبک ایجاد کرد، توجه پذیرد اقتصادی استفاده از این پوزولان در بتن سبک سازه‌ای مورد بحث و گفتگو قرار گرفت (جبل عاملی و همکاران، ۱۳۹۴). نیلوفر سالمی و کیاچهر بهفرنیا^{۲۰۱۳}، 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، از این رو افزایش دوام این نوع روسازی برای سهولت کاربرد آن به ویژه در مناطق سردسیر الزامی به نظر می‌رسد، 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 سیلیسیم (نانوسیلیس) و اکسید آلومینیوم (نانوآلومین) بر خواص مکانیکی و دوام بتن پرداختند، نتایج این طرح مشکل فرسایش زود هنگام بتن و کاهش مقاومت آن در مناطق سردسیر را حل می‌کند (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.

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. (رمضانیاپور، ۱۳۹۱)

هم چنین نانو سیلیس اثر بیشتری در کاهش نفوذپذیری بتن در مقابل آب و یون کلراید و افزایش مقاومت الکتریکی بتن (۶۸٪ بهبود مقاومت در برابر یون کلراید و ۵۶٪ 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 رویشی بر روی نمونه‌های خمیر سیمان نیز استفاده شده است. جهت ساخت نمونه‌های بتنی از مقادیر مختلف نانو سیلیس با جایگزینی ۰٪، ۲,۵٪، ۴,۵٪، ۶,۵٪، ۸,۵٪ وزنی سیمان استفاده گردید. تمامی نمونه‌ها با نسبت آب به مواد سیمانی ثابت و برابر با ۰,۴۵ و عیار ۳۴۰۰ 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 ۱۳۹۴، به بررسی تاثیرات میکروسیلیس بر خصوصیات مقاومتی و دوام بتن سبک سازه‌ای و توجه پذیرد 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

جدول ۱. آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی

ترکیب شیمیایی	درصد‌های تشکیل دهنده
SiO ₂	۲۱,۶۸
Al ₂ O ₃	۵,۶
Fe ₂ O ₃	۳,۲
CaO	۶۳,۲
MgO	۱,۸
SO ₃	۱,۷
Na ₂ O	۰,۲

K ₂ O	۰,۷
Free-CaO (CaO.f)	۰,۳۸
Cl	-
I.R	۰,۳۷
LOI	۱,۱۷
	%۱۰۰
C ₃ S	۴۶,۱۷
C ₂ S	۱۶,۲۵
C ₃ A	۵,۹۸
C ₄ AF	۱۲,۹۵

جدول ۲. مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

مشخصات	مقدار
۳ کیلوگرم بر متر وزن مخصوص	۳۱۵۲
بلین (سانتی متر بر گرم)	۳۲۶۱
میکرون (%/۱۲) باقیمانده روی الک	۵,۷۷
انبساط طولی (%/)	۲,۲
درصد آب	۲۳
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	۱۵۴
زمان گیرش ثانویه (دقیقه)	۲۱۲
مقاومت فشاری ۲ روزه (Kgf/cm ^۲)	۱۶۲
مقاومت فشاری ۳ روزه (Kgf/cm ^۲)	۲۲۶
مقاومت فشاری ۷ روزه (Kgf/cm ^۲)	۳۴۲
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Kgf/cm ^۲)	۵۲۱

۲-۳- آب

مطابق با بند ۹-۳-۳-۱-۴-۱ 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.

۲-۲- نانولوله کربنی

در این تحقیق، وزن مواد افزودنی نانو لوله (۳، ۵، ۷) درصد وزن سیمان مصرفی انتخاب شد.

۲-۴- مصالح سنگی

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.

سنگدانه مصرفی در این پروژه آزمایشگاهی از معادن شن و ماسه بابل تهیه خواهد شد. ماسه مصرفی، ماسه شسته دستگای و شن مصرفی، شن شکسته با حداکثر قطر سنگدانه ۱۹ میلی‌متر می‌باشد. سیمان مورد استفاده در ساخت تمامی

جدول ۳. دانه‌بندی درشت دانه

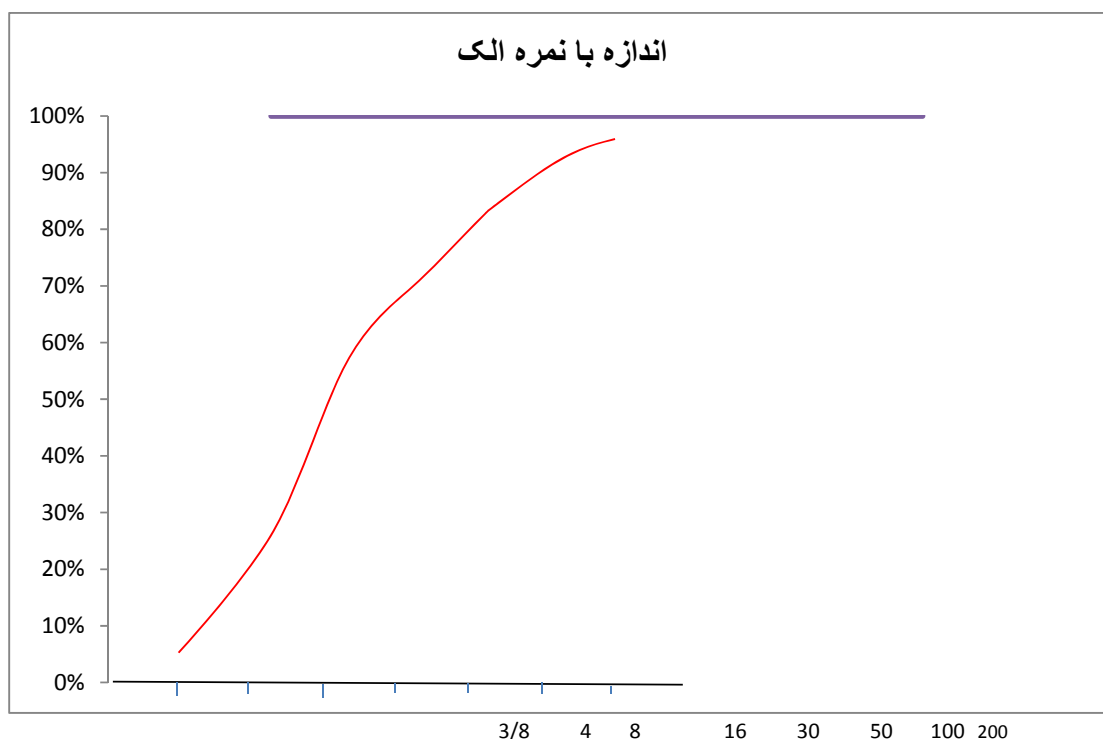
ASTM		درشت دانه
اندازه الک		
اینچ	میلی متر	
۳	۷۵	
۲,۵	۶۳	
۲	۵۰	
۱,۵	۳۷,۵	
۱	۲۵	
۰,۷۵	۱۹	
۰,۵	۱۲,۵	
۰,۳۷۴	۹,۵	

جدول ۴. دانه‌بندی ریزدانه

ASTM			ریزدانه
اندازه الک		نمره الک	
اینچ	میلی متر		
۰,۱۸۷	۴,۷۵	۴	
۰,۰۹۳۷	۲,۳۶	۸	
۰,۰۴۶۹	۱,۱۸	۱۶	
۰,۰۲۳۴	۰,۶	۳۰	
۰,۰۱۱۷	۰,۳	۵۰	
۰,۰۰۵۹	۰,۱۵	۱۰۰	

جدول ۵. دانه‌بندی سنگدانه

اندازه الک	وزن مانده روی الک (گرم)	درصد مانده روی الک	درصد جمعی گذشته از الک	درصد جمعی مانده روی الک
ASTM(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)
۳/۸	۰	۰	۱۰۰	۰
۴	۶	۲	۹۸	۲
۸	۳۱	۱۰,۱	۸۸	۱۲
۱۶	۳۰	۹,۸	۷۸	۲۲
۳۰	۵۹	۱۹,۲	۵۹	۴۱
۵۰	۱۰۷	۳۴,۹	۲۴	۷۶
۱۰۰	۵۳	۱۷,۳	۷	۹۳
۱۰۰	۲۱	۶,۸	-	-
	کل = ۳۰۷			کل = ۲۴۸



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌ها

۷-۲- روش ساخت نمونه‌های بتنی

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.

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

جدول ۶. 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	۶,۲ کیلوگرم آب
//	۳۸۵,۵ کیلوگرم سیمان	//	۱۲,۸ کیلوگرم سیمان
//	۱۱۶۰ کیلوگرم شن	//	۳۴,۸ کیلوگرم شن
//	۶۲۴ کیلوگرم ماسه	//	۲۰,۸ کیلوگرم ماسه
//	۱۹,۲۵ کیلوگرم نانو لوله	۶۰ کیلوگرم نمونه‌های اصلاح شده	۰,۴۸۰ کیلوگرم نانو لوله

۳- برنامه آزمایشگاهی

۳-۱- آزمایش مقاومت کششی

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 می‌رود، طوری

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

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 می باشد، حالتی از فشار تک محوری بوجود می آید، بطوری که گسیختگی در این نقاط به وجود نمی آید. در عوض گسیختگی در اثر تنش کششی افقی و یکنواخت در بقیه مقطع استوانه آغاز می شود. بار با سرعت ثابتی اعمال می شود؛ طوری که تنش کششی طبق BS 1983: Part 117: 1881 بین ۰,۰۲ تا ۰,۰۴ مگاپاسکال در ثانیه و طبق ASTM C 496-71 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 می شود.

$$f_t = \frac{2p}{\pi Ld}$$

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

۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری

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، مقاومت های بالایی نتیجه می شود. انجام آزمایش، ۲۸ روزه می باشد؛ اما ممکن است آزمایش های دیگری در سنین ۳ و ۷ روزه و در موارد کمتری در سنین ۱، ۲ و ۱۴ روز و همچنین ۱۳ و ۲۶ هفته و یک سال انجام شود.

روش های نگهداری فوق در مورد نمونه های مکعبی استاندارد اعمال می شوند، اما مشابه با نمونه های استوانه ای، در این مورد هم می توان با نگهداری تعادل از نمونه ها در شرایطی مشابه با شرایط واقعی سازه، مقاومت واقعی را بررسی نمود. توصیه می کند که نمونه طوری زیر دستگاه آزمایشگاه قرار گیرد که جهت بار عمود بر جهت بتن ریزی نمونه در قالب، اعمال شود. بار به صورت تنشی با سرعت ثابت ۰,۲ تا ۰,۴ مگاپاسکال در ثانیه اعمال می شود و مقاومت نمونه بدست می آید. (تکنولوژی بتن، نوئل ۳۲۰).

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

در شکل (۲) نوع گیره های لازم جهت نگهداری نمونه ها در یک دستگاه آزمایش فشاری را مطابق استاندارد BS 1983: Part 117: 1881 نشان می دهد.

ASTM C 496-71 (باز بینی شده در سال ۱۹۷۹) نیز آزمایش مشابهی را توصیه می کند. برای جلوگیری از تنش های 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 می گیرند.

آزمایش مقاومت فشاری در روش ASTM روی نمونه های استوانه ای ۱۵۰×۳۰۰ میلی متر (۶×۱۲ اینچ) و در روش BS روی نمونه های مکعبی ۱۵۰ میلی متری (۶ اینچی) انجام می شود. توجه به بزرگترین اندازه دانه ها، استانداردها استفاده از نمونه های کوچکتر را نیز مجاز می دانند. 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 می شود. تراکم بتن های با اسلامپ بالا در سه لایه و با زدن ۲۵ ضربه به هر لایه توسط یک میله گرد به قطر ۱۶ میلی متر (۵/۸ اینچ) انجام می شود. تراکم بتن های با اسلامپ پایین در دو لایه و با ویبره های داخلی و خارجی انجام می شود. شرایط نگهداری استوانه های استاندارد در ASTM C 81-192 مشخص گردیده است. در آزمایشگاه به منظور جلوگیری از کاهش رطوبت نمونه های قالب گیری شده، آنها را به مدتی بیش از ۲۰ ساعت و کمتر از ۴۸ ساعت در دمای ۲۳±۱,۷ درجه سانتیگراد نگهداری می کنند. سپس نمونه های از



شکل ۲. نحوه قرارگیری نمونه در قالب آزمایش مقاومت کششی



شکل ۳. نحوه انجام آزمایش مقاومت کششی



شکل ۴. نمونه استوانه‌ای دو نیم شده



شکل ۵. نحوه انجام آزمایش مقاومت فشاری

۳-۳-آزمایش دوام در برابر ذوب و انجماد

در روش ASTM، یخ زدن و آب شدن تا ۳۰۰ سیکل یا تا زمان کاهش مدول دینامیکی تا ۶۰ درصد مقدار اولیه‌اش، (هرکدام زودتر اتفاق بیفتد)، ادامه داده می‌شود. سپس فاکتور دوام D_f با رابطه زیر تعریف می‌شود:

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

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 می‌باشد. مقدار D_f معمولاً برای مقایسه بتن‌های مختلف، بخصوص هنگامی که تنها یک متغیر (مثلاً سنگدانه‌ها) تغییر کند، بکار می‌رود. بطور کلی عددی کوچکتر از ۴۰ نشان دهنده آسیب پذیری بتن خواهد بود. اعداد بین ۴۰ تا ۶۰ وضعیتی مشکوک را نشان می‌دهند و مقادیر بزرگ‌تر از ۶۰ بیانگر وضعیتی رضایت بخش در بتن خواهند بود. شرایط پیش بینی شده در ASTM C ۸۴-۶۶۶ از آنچه در عمل رخ می‌دهد، شدیدتر می‌باشند. زیرا سیکل‌های گرم کردن و سرد کردن بیت ۴،۴ و ۱۷،۸- درجه سانتی‌گراد با سرعت سردکنندگی بالای ۱۴ درجه سانتی‌گراد در ساعت می‌باشند. در بیشتر نقاط جهان میزان سرد شدن، به ندرت از ۳ درجه سانتیگراد در ساعت تجاوز می‌کند. البته در روش آزمایش دیگری، استاندارد ۷۷-۶۷۱ 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، نوپل ۳۰۵)

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 حباب‌زایی 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 حباب‌زایی، کافی باشد. جدول ۶ 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 در برابر یخبندان را می‌توان با آزمایش‌های یخ زدن و آب شدن تعیین نمود. دو روش توسط استاندارد ASTM C ۸۴-۶۶۶ 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 ۵۰۷۵ : Part ۲: ۱۹۸۲ 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.

۳-۴- آزمایش مویینگی

جهت انجام این آزمایش طبق استاندارد : BS EN ۴۸۰.۵ ۱۹۹۷ نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی‌متری در سن آزمایش از محلول آب آهک خارج و جهت رسیدن به وزن ثابت به مدت ۱۴ روز در ۳۵۴ و نیا دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده خواهند شد.

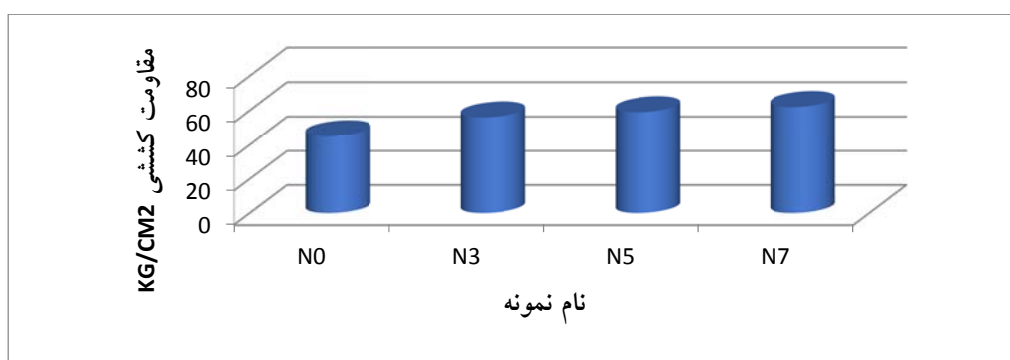
سپس نمونه‌ها پس از توزین درون ظرف آبی قرار داده شدند، به گونه‌ای که سطح آب به اندازه ۵ میلی‌متر از تراز کف نمونه‌ها بالاتر باشند، وزن نمونه‌ها ۲۴ پس از ۲۴، ۶، ۳ و ۷۲

ساعت قرار گیری در آب، قرائت خواهند شد. (تکنولوژی بتن، نویل ۱۱۶)

۴- نتایج و بحث

۴-۱- مقاومت کششی نمونه‌ها

با توجه به مقاومت کششی بدست آمده نمونه‌های مختلف در شکل ۶ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد نانو لوله، مقاومت کششی رو به افزایش است. می‌توان نتیجه گرفت که نانو لوله به علت سطح مخصوص زیادی که دارد، پیوند خوبی بین اجرای تشکیل دهنده بتن رویه ایجاد کرده است.

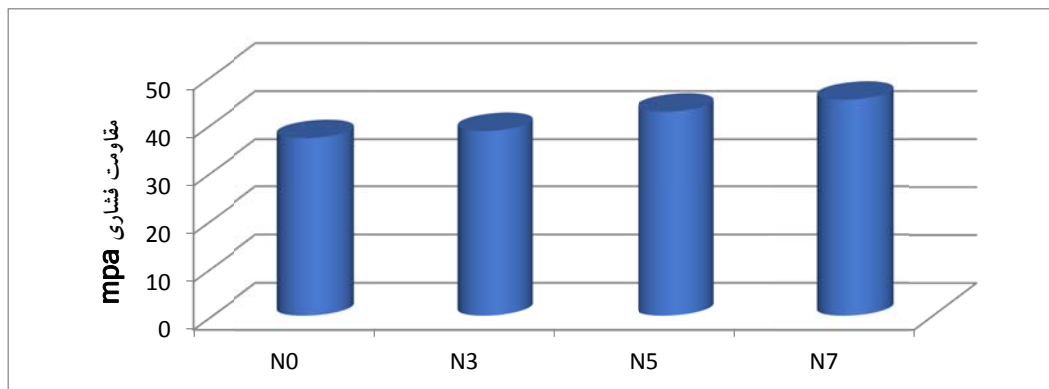


شکل ۶. نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها

۴-۲- مقاومت فشاری

سه نمونه مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر) از بتن (N7، N5، N3، N0) 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

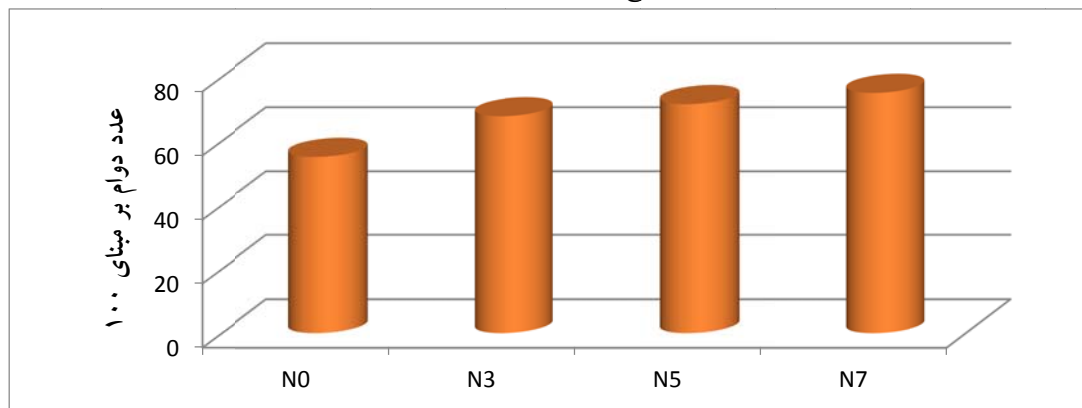
یافته است؛ همین‌طور این نتیجه حاصل می‌شود که نسبت افزایش مقاومت فشاری بیشتر از نسبت افزایش نانو بوده است.

با توجه به نتایج بدست آمده از نمونه‌های مختلف در شکل ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش درصد نانو مقاومت فشاری افزایش

۳-۴- آزمایش دوام در برابر ذوب و انجماد

شکل ۸ مشاهده می‌شود به علت خواص پلاستیک نانو لوله، با افزایش نانو به مخلوط، بتن رویه دوام خوبی در سیکل‌های ذوب و انجماد از خود نشان داد.

سه نمونه مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متر) 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

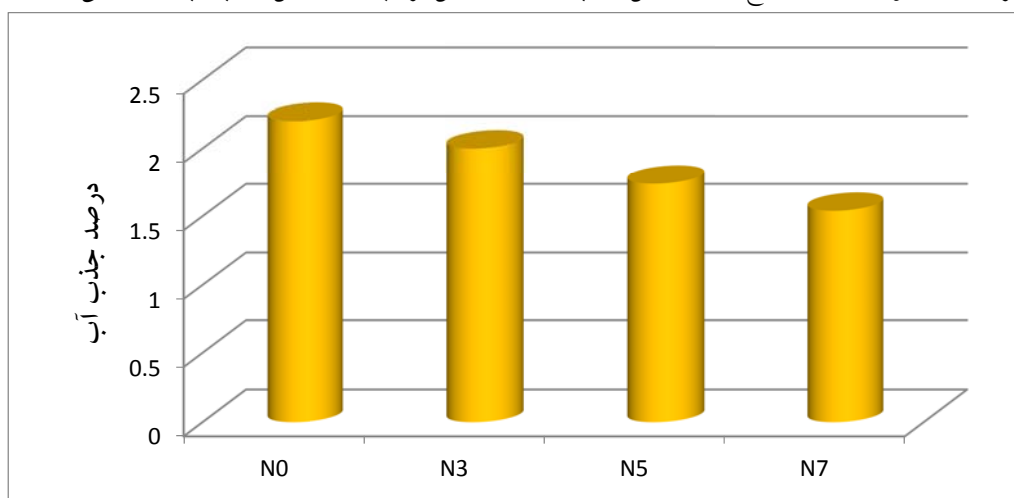


شکل ۸. نتایج آزمایش ذوب و انجماد

۴-۴- آزمایش مویبگی (جذب آب)

آب ۱,۶٪ برای نمونه اصلاح شده و ۲,۰۵٪ برای نمونه شاهد و بدین ترتیب ۲۸٪ کاهش جذب آب را نشان می‌دهد.

نتایج آزمایش مویبگی در شکل ۹ نمایش داده شده است. آزمایش بر روی دو نمونه شاهد و اصلاح شده، میانگین جذب



شکل ۹. نتایج آزمایش جذب آب

۵- نتیجه گیری

فشاری بتن به علت همگن شدن و اثر پر کنندگی نانو لوله، رو به افزایش بوده است.

-پس از افزودن الیاف نانو لوله به میزان ۰.۵٪ وزن سیمان مصرفی، فاکتور دوام نمونه اصلاح شده ۷۱.۵ و فاکتور دوام نمونه

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

دوره داشته است.

پس از بررسی روی نمونه‌های اصلاح شده و شاهد، مقاومت کششی نمونه اصلاح شده ۵۷ و نمونه شاهد ۴۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست آمده است که ۱۳٪ افزایش داشته است. -تاثیر الیاف نانو لوله بر مویبگی (جذب آب) رویه‌های صلب بتنی نیز بررسی شد. با توجه به نتایج، نانو لوله به صورت 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.

اصلاح نشده ۵۵ بدست آمده که ۳۰٪ افزایش دوام در یک -به دلیل استفاده از نانو لوله‌ها در مخلوط بتن رویه، قابلیت جذب انرژی رویه صلب بتنی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته که نشانگر قابلیت نانو لوله‌ها در پل زدن و بستن ریزترک‌ها در صورت پخش مناسب است.

-تاثیر الیاف نانو لوله بر روی مقاومت کششی رویه‌های صلب بتنی کاملاً 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.

۶-مراجع

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.

-جبل عاملی، بهرام، صداقت، آرش، امید قائمی، نویدرضا (۱۳۹۴). بررسی تاثیرات میکروسیلیس بر خصوصیات مقاومتی

و دوام بتن سبک سازه‌ای و بحث در مورد توجیه پذیری اقتصادی آن.

- رمضانپور، علی اکبر (۱۳۹۱). مقایسه اثرات نانو سیلیس و دوده سیلیس بر روی ریزساختار و دوام نمونه‌های بتنی. *نشریه مهندسی عمران امیرکبیر*، شماره ۴۵، ۷۵-۶۵.

Doi: 10.22060/ceej2012.98

-فیروزمکان، شبنم، رمضانپور، علی اکبر، عبادی، تقی، و

بهرامی، حامد ۲-۲-نانولوله کربنی

در این تحقیق، وزن مواد افزودنی نانو لوله (۳، ۵، ۷) درصد وزن سیمان مصرفی انتخاب شد.

(۱۳۹۱). تاثیر نانو سیلیس بر خصوصیات مکانیکی و دوام بتن. *مهندسی عمران و محیط زیست*، دانشکده فنی، ۴۲، شماره ۱، پایب ۶۶، ۴۴-۳۵.

-Behfarnia, Kiachehr, and Niloofar Salemi. (2013). *The effects of nano-silica and nano-*

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