تاثیر میکروسیلیس بر مشخصات مکانیکی روسازی بتن غلتکی (RCCP) در مناطق سردسیر

هومن پور عبدا...
کارشناسی ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.
hooman.pourabdolah@gmail.com

روزبه دبیری
استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران
Rouzbeh_dabiri@iaut.ac.ir

چکیده

امروزه با توسعه شبکه حمل و نقل، بخش اعظمی از درآمد کشورها صرف تعمیر و نگهداری راه‌ها می‌شود. یکی از انواع روسازی، روسازی بتن غلتکی است که یکی از اقتصادی‌ترین و بادوام‌ترین انواع روسازی است. از آنجا که اکثر روسازی‌های بتن غلتکی در معرض عوامل جوی و به خصوص رطوبت، یخبندان و بارهای ناشی از ترافیک قرار می‌گیرند با گذشت زمان دچار خرابی می شوند. امروزه مسئله دوام بتن‌های غلتکی در برابر دوره‌های یخ زدن و آب شدن و زمان حمل و کار با بتن غلتکی، دارای اهمیت زیادی است. هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر میکروسیلیس به همراه ماده هواساز در خصوصیات مکانیکی روسازی بتن غلتکی در مناطق سردسیر می باشد. بدین منظور مصالح مورد مطالعه با میکروسیلیس با درصدهای ۱، ۳، ۴، ۶ و ۷ و به همراه ۲ درصد ماده هوازا مخلوط شده است. خصوصیات مکانیکی مصالح مخلوط روسازی بتن غلتکی براساس آزمونهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی غیر مستقیم، دوره های ذوب و یخبندان، جذب آب، عمق نفوذ، چگالی بتن، زمان وی بی، زمان حمل، زمان غلتک‌زنی ارزیابی شده است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می دهد در حالت کلی هنگامیکه ۳ درصد میکروسیلیس به همراه ۲٪ ماده هوازا به مصالح بتن غلتکی افزوده می شود براساس نتایج آزمایشات ذکر شده بهترین کارایی را دارد.

واژه‌های کلیدی: روسازی بتن غلتکی، میکروسیلیس، ماده هوازا، مقاومت فشاری، مقاومت کششی.

۱- مقدمه

به علت روش ساخت بتن غلتکی، ایجاد هوازایی جهت مقاوم سازی آن در برابرشرایط ذوب و انجماد دشوار است و لذا در پروژه‌های اجرا شده هوازایی در عمده موارد انجام نگرفته است [۱]. البته مطالعات آزمایشگاهی نتایج امیدوار کننده‌ای را در خصوص امکان هوازایی بدست داده‌اند لیکن مقدار مواد هوازا باید بسیار بیشتر از آنچه برای بتن‌های معمولی متداول است (بیش از ۵ برابر) به کار روند [۲]. مطالعات میدانی حاکی از عملکرد خوب روسازی‌های بتن غلتکی در شرایط ذوب و انجماد متوسط است، لیکن در شرایط ذوب و انجماد شدید اطلاعات کافی در خصوص عملکرد میدانی روسازی‌های بتن غلتکی در دسترس نیست و آزمایش‌های تعیین دوام در برابر ذوب و انجماد انجام شده به روش آزمایشگاهی ASTMC 666 [۳] روی مغزه‌های گرفته شده از روسازی‌های بتن غلتکی نشانگر ضعیف بودن آنها در برابر شرایط ذوب وانجماد است هر چند عملکرد میدانی آنها نسبتاً مناسب بوده است[۱]. در این ارتباط همچنین باید اشاره گردد، با توجه به رفتار و نتایج بدست آمده از آزمایش‌های با مقیاس بزرگ پذیرفته شده است که بتن غلتکی بعنوان یک گزینه برای روسازی در هر شرایط آب و هوایی قابل قبول است [۴]. بتن غلتکی جهت کاربرد به عنوان روسازی راه در حالت تازه با بتن معمولی متفاوت بوده و بسیار سفت‌تر، آب کمتر و کارآیی آن به مراتب کمتر می‌باشد و باید قابلیت تحمل وزن غلتک را جهت تراکم آن داشته باشد. لذا روشهای معمول تعیین روانی و کارآیی نظیر آزمایش اسلامپ برای این نوع بتن قابل کاربرد نیست. روشی که برای اندازه‌گیری کارایی بتن غلتکی توسعه یافته است روش تعیین روانی با آزمایش وی بی اصلاح شده است. برای پیشگیری از خرابی ناشی از یخ زدگی در بتن، استفاده از مواد هوازا در مخلوط بتن امری متداول است. شکل حباب‌های هوای ایجاد شده نیز کروی شکل نخواهد بود. بر اساس یافته های موجود در فناوری بتن وجود درصدی هوا معمولاً برای تأمین دوام ضروری است . استفاده از مواد هوازا سبب ایجاد خلل و فرج در خمیر سیمان و تسریع در واکنش هیدراتاسیون سیمان می‌شود. بطور کلی هرچه هیدراتاسیون بتن پیشرفت بیشتری داشته باشد مقاومت بتن افزایش پیدا می‌کند و آسیب پذیری آن نیز کاهش خواهد یافت. از آنجایی که یخ زدگی بتن سخت شده یک عامل تدریجی است به میزان منافذ و لوله‌های مویین موجود در بتن غلتکی بستگی دارد. در هنگام بروز پدیده یخ زدن آب داخل بتن به حباب‌های ایجاد شده آن انتقال یافته و انبساط ناشی از یخ زدن آب باعث ترک خوردگی بتن نمی‌شود. در صورتی که بتن‌های فاقد مواد هوازا به دلیل یخ زدن و انبساط آب داخل بتن دچار ترک خوردگی خواهد شد و اگر پس از ذوب شدن دوباره یخ زدن اتفاق بیافتد انبساط بیشتری رخ می‌دهد و بنابراین دوره‌های متناوب یخبندان اثر تجمعی بر بتن داشته و باعث می‌شود مقدار فشار منبسط کننده در بتن از مقاومت کششی آن بیشتر شده و بتن دچار ترک خوردگی می‌شود. ارتباطی قوی بین شاخصهای حرکت موئینه آب با شاخص نسبت آب به سیمان و مقاومت در برابر یخبندان و ذوب وجود دارد. برای پیشگیری خرابی ناشی از یخ زدگی در بتن، استفاده از مواد هوازا در مخلوط بتن امری متداول است. مواد افزودنی هوازا کاربرد عملی محدودی در مخلوطهای بتن غلتکی داشته‌اند[۵]. تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده توسط گرگوری و هالستد در سال ۲۰۰۹ [۶] نشان داده است که در مخلوطهای بتن غلتکی به خوبی می‌توان از مواد هوازا به میزان ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از مقداری که در بتن معمولی به کار می‌رود استفاده نمود. مخلوط بتنی با سیمان کمتر آسیب بیشتری از حرکت مویرگی نسبت به مخلوط غنی تر در سیکل‌های یخبندان و ذوب می بیند. چتان هازاره و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۷] تاثیر ترکیب مخلوط بتن غلتکی را در مقاومت بتن در برابر یخبندان و ذوب را بررسی نموده و دریافتند افزایش مقدار سیمان تا مقدار ۲۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب خصوصیات فیزیکی بتن غلتکی را افزایش داده و مواد افزودنی حباب زا نیز مقاومت بتن در برابر سیکلهای یخبندان و ذوب را افزایش میدهد. همچنین، افزایش مقدار سیمان منجر به بهبود در چگالی، مقاومت فشاری، محتوای حفرات نفوذپذیر و جذب آب مخلوط تا حد بهینه(۲۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب) بوده و بعد از این مقدار(نقطه اپتیمم) بهبود در خواص فوق الذکر با کاهش مقدار سیمان ممکن خواهد بود. اندازه گیری چگالی،

مقاومت فشاری و مقاومت بتن در مقابل یخبندان و ذوب نشان می دهد با کاربرد مواد حباب زا میتوان با کاهش اندک در میزان مقاومت به کارآیی بیشتر دست یافت. کاربرد مواد حباب زا در افزایش مقاومت بتن غلتکی در برابر سیکل یخبندان و ذوب دارای اثر مثبت میباشد. همچنین چتان هازاره و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۸] در مطالعه تحقیقی دیگری، خاصیت موئینگی را که نقش مهمی در رفتار بتن در برابر سیکل یخبندان و ذوب دارد را با لحاظ نمودن متغیرهای مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان، پرداخت سطحی هنگام بتن ریزی و سن بتن غلتکی مورد بررسی قرار داده و دریافتند رابطه معنا داری بین متغیرهای مذکور و مقاومت بتن در برابر یخبندان و ذوب وجود دارد. بطور کلی مقدار جذب سطحی با بالا رفتن نسبت آب به سیمان افزایش یافته و با عملیات هیدارسیون سیمان و افزایش سن روند افزاینده خواهد داشت. پرداخت سطحی اثر زیادی در جذب سطحی یا عدم وقوع آن نخواهد داشت. مورات تویان و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۹] در مورد خواص مکانیکی و قابلیت حمل و نقل بتن خود تراکم در مقابل سیکلهای یخبندان و ذوب با کاربرد بتن بازیافتی، تحقیقاتی آزمایشگاهی انجام داده اند که با توجه به نتایج بدست آمده افزایش مقاومت فشاری تا حد جایگزینی ۴۰٪ و کاهش دیگر خواص مکانیکی با جایگزینی ۶۰٪ به بالا بخصوص مقاومت در برابر سیکلهای یخبندان و ذوب را در پی داشته است. نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد جایگزینی تا ٪۶۰ دانه های بتن بازیافتی، تاثیر چندانی روی خواص مکانیکی و قابلیت حمل و نقل بتن خود تراکم ندارد. مقدار نسبت آب به سیمان و تغییر چگالی در بتن خود تراکم رابطه مستقیم با کاهش مقاومت بتن در برابر یخبندان وذوب دارد. هائو وو و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۱۰] در تحقیقات آزمایشگاهی در مورد دوام بتن نفوذپذیر با افزودنی های هوازا و الیاف پلی پروپیلن در مقابل سیکل ذوب و یخبندان انجام دادند و دریافتند هر چه خواص فیزیکی بتن نفوذپذیر افزایش یابد، دوام بتن در مقابل سیکل ذوب و انجماد نیز بهبود خواهد یافت. همچنین شرایط عمل آوری بتن نفوذپذیر، در رسیدن به دوام بیشتر بسیار موثر خواهد بود. الکساندر بوگاس و همکاران در سال ۲۰۱۶ [۱۱] مقایسه‌ای بین واکنش بتن با مقاومت نرمال و بتن با مقاومت بالا در مقابل سیکلهای یخبندان و ذوب در جایگزینی افزودنیهای نرم با تکه های بتن بازیافتی انجام داده اند که در آن خصوصیات زبری سطح، تغییر طول و سرعت امواج اولتراسونیک در درصدهای متنوع جایگزینی سنجیده شد. نتیجه تحقیق در این مورد حاکی از کاهش مقاومت در اثر این جایگزینی در هردو بتن نرمال و بخصوص در بتن با مقاومت بالا بود. افزودنیهای حباب زا اثر کمی در مقاومت بتن در برابر سیکل یخبندان و ذوب در بتنهای با مقاوت بالا دارند. هدف اصلی در تحقیق حاضر، بررسی تاثیر میزان میکرو سیلیس در مشخصات مکانیکی بتن غلتکی در مناطق سردسیر می باشد که در ادامه به شرح آن پرداخته شده است.

۲- نمونه های آزمایشگاهی

۲-۱- مشخصات نمونه

در این تحقیق، شن و ماسه مورد استفاده جهت ساخت نمونه های بتن غلتکی از معدن شرکت شنزار که در اطراف شهر تهران قرار دارد استفاده شده است. همچنین سیمان مورد استفاده از نوع تیپ دو بوده که توسط کارخانه سیمان تهران تولید می شود که مشخصات آن در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است و سیمان مصرفی استاندارد ASTM C618 [۱۲] و استاندارد فیزیکی ASTM C150 [۱۳] را پوشش می‌دهد. آب مورد استفاده نیز آب شرب شهری تهران می باشد. پودر میکرو سیلیس مورد نیاز جهت انجام تحقیق از شرکت شیمی بتن ماهان[۱۴] تهیه گردیده که با استانداردهای ASTM C618 مطابقت دارد. مشخصات میکرو سیلیس در جدول های ۳ و ۴ قابل مشاهده می باشد. ماده هوازا استفاده شده در این تحقیق از نوع Conplast AEA شرکت فسراک FOSROC [۱۵] می‌باشد این ماده بصورت مایع به جهت مخلوط شدن یکنواخت تهیه شده و بر اساس استاندارد ASTM C260 [۱۶] قابل استفاده در بتن غلتکی می باشد. مشخصات این ماده در جدول ۵ ارائه گردیده است. روش ساخت نمونه‌ها چکش ارتعاشی طبق استاندارد ASTM C1435 [۱۷] بوده و نمونه‌های اصلاح شده با ۲٪ ماده هوازا (۲ درصد وزن

سیمان) با درصدهای مختلف ۱، ۳، ۴، ۶ و ۷ میکروسیلیس مخلوط گردیده و نمونه ها مورد آزمایش‌های چگالی تازه، جذب آب، زمان وی بی، زمان حمل، روانی، مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی دو نیم شدن و دوام در برابر سیکل های ذوب و یخبندان قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر با نتایج مخلوط بتن غلتکی اصلاح نشده مورد مقایسه قرار گرفته است.

جدول۱- ترکیبات و درصد ترکیبات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲ تهران

ترکیبات	درصد ترکیبات
SiO_2	۲۰/۹۶
Al_2O_3	۴/۲
Fe_2O_3	۴/۶
MgO	۳/۴
CaO	۶۱/۸۸
SO_3	۱/۷۹
$Na_2O+0.658\ K_2O$	۱/۴۷
C_3S	۵۲/۷۴
C_2S	۲۰/۳۱
C_3A	۷/۳۵

جدول ۲- خصوصیات مکانیکی سیمان پرتلند تیپ ۲ تهران

مقاومت فشاری (MPa)		نرمی (gr/cm2)	جرم حجمی(gr/cm3)
۷ روزه	۲۸ روزه		
۲۱/۰۷	۲۹/۲۰	۲۸۰۰	۳/۲۰

جدول ۳- آنالیز فیزیکی میکروسیلیس مصرفی [۱۴]

ساختار	بی شکل
شکل ذرات	کروی
دانه بندی ذرات	۰/۲-۰/۳ میکرون
چگالی فله ای	۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

جدول ۴- آنالیز شمیایی میکروسیلیس مصرفی [۱۴]

ترکیب	درصد
C	۰/۶-۱/۵
MnO	۰/۱-۰/۹
Al2O3	۰/۵-۱/۷
SiO2	۸۵-۹۵
CaO2	۲-۲/۳
Fe2O3	۰/۴-۲

جدول ۵- مشخصات هوازا Conplast AEA [۱۵]

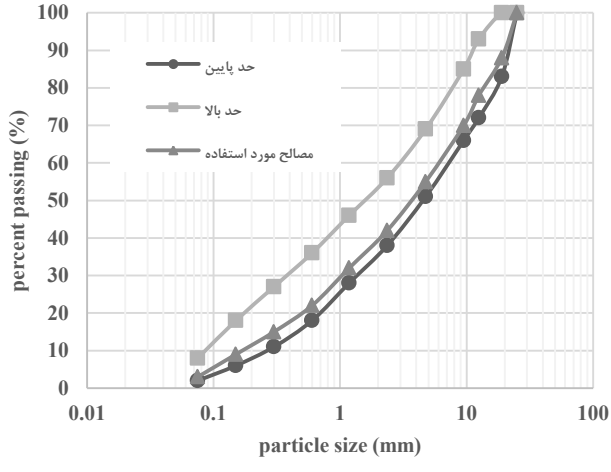
شکل ظاهری	مایع کهربایی رنگ
وزن مخصوص	۰/۹۸ تا ۱/۰۳ گرم در سانتیمتر مکعب
عدد قلیایی	۱۰/۵ تا ۱۲/۵
مقدار کلر	فاقد کلر
درجه اشتعال	غیر آتشزا
درجه انجماد	۰ درجه سانتیگراد

جدول ۶- برنامه آزمایشات صورت گرفته در تحقیق حاضر

نام آزمایشات	نمونه شاهد	نمونه بتن به همراه ۱٪ میکرو سیلیس	نمونه بتن به همراه ۳٪ میکرو سیلیس	نمونه بتن به همراه ۴٪ میکرو سیلیس	نمونه بتن به همراه ۶٪ میکرو سیلیس	نمونه بتن به همراه ۷٪ میکرو سیلیس	جمع
مقاومت فشاری	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱۸
مقاومت کششی	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱۸
عمق نفوذ آب	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱۲
جذب آب	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱۲
ذوب و یخبندان	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱۸
					جمع		۷۸

۲-۲- مشخصات مصالح مصرفی

سنگدانه‌های مصرفی و توزیع دانه بندی آنها بر اساس نشریه ۳۵۴ سازمان برنامه و بودجه [۱۸] و استاندارد ACI 325.10R [۱۹]انتخاب شده است. سنگدانه‌ها بطور تقریبی ۷۵ تا ۸۵ درصد حجم روسازی بتن غلتکی را تشکیل می‌دهند. این مصالح اثر قابل توجهی در دو فاز تازه و سخت شده می گذارد. مشخصات فیزیکی مصالح مورد استفاده در تحقیق حاضر مطابق جدول ۷ قابل مشاهده می باشد. منحنی دانه بندی مصالح در نمونه های مورد مطالعه مطابق شکل ۱ ارائه گردیده است.



شکل ۱- منحنی دانه بندی مصالح مورد استفاده در تحقیق حاضر

جدول ۷- مشخصات فیزیکی مصالح در تحقیق حاضر

نوع سنگدانه	مشخصات	نتایج
بادمی	وزن مخصوص (gr/cm^3)	۲/۲۳۹
	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۲/۲۳۳
	جذب آب ۲۴ ساعته (٪)	۱/۵
	سایش لس آنجلس	۲۰
نخودی	وزن مخصوص (gr/cm^3)	۲/۳۲۷
	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۲/۳۴۰
	جذب آب ۲۴ ساعته (٪)	۱/۴
ماسه شکسته	وزن مخصوص (gr/cm^3)	۲/۱۵۱
	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۲/۱۵۶
	جذب آب ۲۴ ساعته (٪)	۲/۸
فیلر	وزن مخصوص (gr/cm^3)	۲/۰۶۲
	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	۲/۱۱۵
	جذب آب ۲۴ ساعته (٪)	۳/۱

۳- طرح اختلاط و عمل آوری

در تحقیق حاضر، طرح اختلاط مورد استفاده براساس نشریه ۳۵۴ سازمان برنامه و بودجه تعیین گردیده است. میزان نسبت آب به سیمان ثابت در نظر گرفته شده و همچنین مقدار سیمان از ۳۵۰ تا ۳۷۵ کیلوگرم در مترمکعب در تعیین شده است. بر اساس مطالعات موجود، اگر مقدار سیمان بسیار کم و از سوی دیگر نسبت آب به سیمان بسیار بالا بدست آید، بتن توسط عوامل نامناسب موجود در هوا مورد تحت تاثیر قرار خواهد گرفت و در برابر سیکل ذوب و یخبندان و اثرات ناشی از کربناسیون دچار آسیب می‌شود [۲۰]و [۲۱]. در روند اختلاط ابتدا سنگدانه و سپس سیمان و در نهایت ماده هوازا که با آب اضافه شده به مخلوط اثر داده شده است. به دلیل خشک تر بودن بتن غلتکی در مقایسه با بتن معمولی، روش ساخت نمونه ها در این نوع بتن متفاوت است. روشهای طرح اختلاطی که تاکنون بکار گرفته شده اند شامل دو دسته کلی هستند. در روش اول نمونه بتن غلتکی در داخل قالب و روی میز ارتعاش، تحت وزن سربار و در سه لایه متراکم می شود. استاندارد جزئیات این روش را بیان می کند . در روش ASTM C1176-13 [۲۲] دیگر نمونه ها به وسیله ضربات کوبه و در پنج لایه مطابق روش ذکر شده در استاندارد STM D1557-12 [۲۳] ساخته می شوند . ایجاد تراکم کامل در نمونه بتن غلتکی با استفاده از میز ارتعاشی دشوار بوده و غالباً در مقایسه با مغزه های گرفته شده از روسازی راه، چگالی کمتری داشته اند (نشریه ۳۵۴). در مقابل، نمونه های متراکم شده توسط کوبه می توانند چگالی مشابهی با نمونه های اخذ شده از سطح روسازی راه داشته باشند .از این رو در این پژوهش از روش تراکم با کوبه استفاده شد (نشریه ۳۵۴). نمونه های ساخته شده برای انجام آزمایش های مقاومت فشاری و مقاومت کششی غیرمستقیم به صورت استوانه ای بوده اند. در جدول ۸ نسبت های اختلاط مورد استفاده ارائه شده است.

جدول ۸- نسبت‌های اختلاط بتن غلتکی در حالت اصلاح شده و اصلاح نشده

کد طرح	سیمان (kg/m^3)	آب (kg/m^3)	درصد افزوده میکرو سیلیس	نسبت آب به سیمان (w/c)	سنگدانه ترکیبی (kg/m^3)	کد نمونه
۱	۳۷۵	۱۱۵	۰	۰/۳۱	۱۹۶۰	۱۱
						۱۲
						۱۳
۲	۳۷۰	۱۱۵	۱	۰/۳۱	۱۹۶۰	۲۱
						۲۲
						۲۳
۳	۳۶۵	۱۱۵	۳	۰/۳۱	۱۹۶۰	۳۱
						۳۲
						۳۳
۴	۳۶۰	۱۱۵	۴	۰/۳۱	۱۹۶۰	۴۱
						۴۲
						۴۳
۵	۳۵۵	۱۱۵	۶	۰/۳۱	۱۹۶۰	۵۱
						۵۲
						۵۳
۶	۳۵۰	۱۱۵	۷	۰/۳۱	۱۹۶۰	۶۱
						۶۲
						۶۳

۴- نتایج آزمایش ها

۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای به ابعاد ۱۵×۳۰ سانتیمتر طبق نشریه ۳۵۴ سازمان برنامه و بودجه و استاندارد ASTM C39-14 [۲۴] در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد اندازه گیری شده است که نتایج آن برای مدت عمل آوری ۷ و ۲۸ روزه مطابق جدول (۹) قابل مشاهده می باشد. باتوجه به نتایج بدست آمده می توان دریافت که میزان مقامت فشاری ۷ روزه در نمونه های مورد مطالعه بین ۳۳/۱۷ تا ۳۳/۴۷ مگا پاسکال متغیر بوده و مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه بین ۴۲/۳۷ تا ۴۳/۱۷ مگا پاسکال تغییر می کند. همچنین هنگامیکه ۱۰ درصد میکروسیلیس به نمونه بتن غلتکی افزوده شده است مشاهده گردید که نسبت به نمونه شاهد دارای بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه می باشد که برابر ۴۳/۱۷ مگا پاسکال است. این میزان با توجه به نشریه ۳۵۴ (مقاومت فشاری ۲۸ روزه حداقل ۴۰ مگا پاسکال مناسب در برابر ذوب و یخبندان) مناسب می باشد. اگرچه با افزایش میزان میکروسیلیس در نمونه های بتنی غلتکی مخلوط میزان مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد کاهش می یابد.

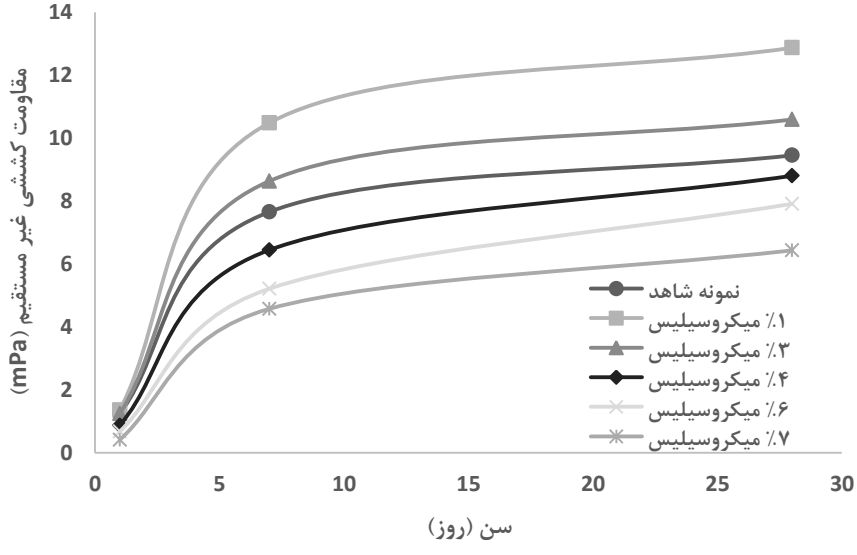
جدول ۹- مقاومت فشاری مخلوط بتن غلتکی در نسبت‌های اختلاط مختلف

کد طرح	سیمان (kg/m^3)	آب (kg/m^3)	درصد میکرو سیلیس	نسبت آب به سیمان (w/c)	سنگدانه ترکیبی (kg/m^3)	مقاومت فشاری ۷ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری ۷ روزه (MPa)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	کد نمونه
۱	۳۷۵	۱۱۵	۰	۰/۳۱	۱۹۶۰	۳۳/۵	۳۳/۱۷	۴۲/۶	۴۲/۸۷	۱۱
						۳۲/۷		۴۳/۲		۱۲
						۳۳/۳		۴۲/۸		۱۳
۲	۳۷۰	۱۱۵	۱	۰/۳۱	۱۹۶۰	۳۳/۶	۳۳/۸	۴۲/۷	۴۳/۰۷	۲۱
						۳۴/۱		۴۳/۴		۲۲
						۳۳/۷		۴۳/۱		۲۳
۳	۳۶۵	۱۱۵	۳	۰/۳۱	۱۹۶۰	۳۴/۴	۳۴/۱۷	۴۳/۳	۴۳/۱۷	۳۱
						۳۳/۹		۴۳/۱		۳۲
						۳۴/۲		۴۳/۱		۳۳
۴	۳۶۰	۱۱۵	۴	۰/۳۱	۱۹۶۰	۳۳/۴	۳۳/۲۷	۴۲/۸	۴۲/۹۳	۴۱
						۳۲/۸		۴۳/۱		۴۲
						۳۳/۶		۴۲/۹		۴۳
۵	۳۵۵	۱۱۵	۶	۰/۳۱	۱۹۶۰	۳۳/۲	۳۲/۷۷	۴۲/۷	۴۲/۵۳	۵۱
						۳۲/۴		۴۲/۵		۵۲
						۳۲/۷		۴۲/۴		۵۳
۶	۳۵۰	۱۱۵	۷	۰/۳۱	۱۹۶۰	۳۲/۹	۳۲/۴۷	۴۲/۳	۴۲/۳۷	۶۱
						۳۲/۴		۴۲/۴		۶۲
						۳۲/۱		۴۲/۴		۶۳

۴-۲- نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم

آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم بر روی نمونه های استوانه ای عمل آوری شده به مدت ۱، ۷ و ۲۸ روزه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد طبق استاندارد ASTM C496-11 [۲۵] و نشریه ۳۵۴ انجام گردید. نمونه گسیخته شده در شکل (۲) قابل مشاهده بوده و نتایج بدست آمده مطابق نمودارهای شکل (۳) ارائه شده است. بیشترین مقاومت کششی غیرمستقیم دو نیم شدن مخلوطهای بتن غلتکی در سنین ۱، ۷ و ۲۸ روزگی به ترتیب مربوط به نمونه‌های شاهد، ۱٪، ۳٪، ۴٪، ۶٪، ۷٪ می‌باشد. مقاومت کششی دو نیم شدن مخلوط بتنی حاوی ۱٪ میکروسیلیس نسبت به نمونه شاهد در روز اول ۴۰/۶٪ و در روز هفتم ۳۶/۹۹٪ و در روز بیست و هشتم ۳۶/۲٪ افزایش یافته است. مقاومت کششی دو نیم شدن مخلوط بتنی حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس نسبت به نمونه شاهد در روز اول ۲۹/۱۷٪ و در روز هفتم ۱۲/۸٪ و در روز بیست و هشتم ۱۲/۱٪ افزایش یافته است. کاهش مقاومت کششی غیرمستقیم دو نیم شدن ارتباط مستقیم با کاهش کارایی مخلوط بتن غلتکی دارد.

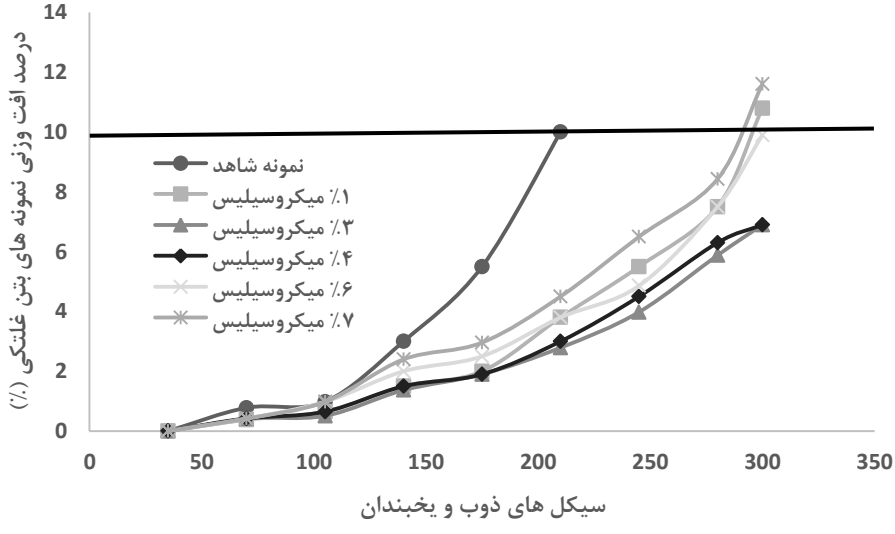
شکل ۲ - نمونه‌های استوانه‌ای تحت آزمایش مقاومت کششی دو نیم



شکل ۳ - مقایسه مقاومت کششی غیرمستقیم دو نیم شدن برای نمونه شاهد و نمونه‌های اصلاح شده با میکروسیلیس

۴-۳- نتایج آزمایش دوام در برابر سیکل های ذوب و یخبندان

بـه منظـور ارزیـابی دوام یـخ زدن و آب شـدن نمونـه‌هـا در آب بـر اسـاس روش ASTM C666 پروسـه A و نشـریه ۳۵۴ سـازمان برنامـه و بودجـه نمونـه‌هـای منشـوری شـکل بـا ابعـاد ۲۰۰×۱۰۰×۷۵ میلیمتـر سـاخته مـی شـوند. در ایـن روش نمونه‌ها در هر دوره در حالت غرقـاب از ۴ بـه ۱۸- درجـه سـانتیگراد یـخ زده و بـالعکس یـخزدگـی نمونـه‌هـا از دمـای ۱۸- تـا ۴ درجـه در مجـاورت هـوا آب مـی‌شـوند. مـدت زمـان هـر دوره یـخ زدن و آب شـدن ۳ سـاعت در نظـر گرفتـه شـده اسـت. منشورها پس از هر ۳۵ دوره یخ زدن و آب شـدن تـوزین شـدند و نتـایج در مقایسـه بـا نمونـه اولیـه قبـل از آزمـون محاسـبه و درصد کـاهش وزن ناشـی از سسـت شـدن و از دسـت رفـتن تکـه‌هـای نمونـه در اثـر یـخ زدن و آب شـدن مـورد ارزیـابی قـرار گرفتـه شـد. نتـایج حاصـل از آزمـون دوام در برابـر دوره‌هـای یـخ زدن آب شـدن در ۳۵، ۷۰، ۱۰۵، ۱۴۰، ۱۷۵، ۲۴۵، ۲۱۰، ۲۸۰ و ۳۰۰ سیکل در شکل (۴) ارائه شده اسـت. بـا توجـه بـه نمـودار مـی تـوان دریافـت کـه بـه صـورت کلـی کـاهش وزن تمـامی نمونـه‌هـای اصـلاح شـده بـا ۱، ۳، ۴، ۶ و ۷ درصـد میکروسـیلیس نسـبت بـه نمونـه‌هـای شـاهد مخلـوط بـتن غلتکـی بسـیار کمتـر بـوده. نمونـه‌هـای اصـلاح شـده بـا ۳، ۴ و ۶ درصـد میکروسـیلیس قـادر بـه تحمـل ۳۰۰ سـیکل ذوب و یخ بوده‌اند. بهترین نتیجـه مربـوط بـه نمونـه‌هـای بـتن غلتکـی اصـلاح شـده بـا ۳ و ۴ درصـد میکروسـیلیس بـوده اسـت کـه تقریبـاً عملکـرد برابـری در مقابـل سـیکل‌هـای ذوب و یـخ از خـود نشـان داده‌انـد ولـی نمونـه اصـلاح شـده بـا ۳٪ میکروسیلیس مقدار اندکی افت وزنی کمتری در طی ۳۰۰ سیکل یخزدگی و ذوب شدن داشته است.



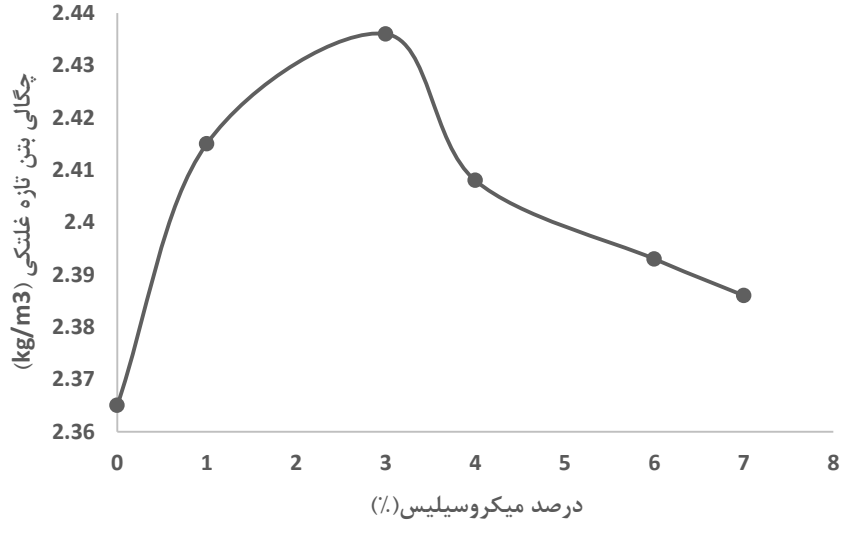
شکل ۴- درصد کاهش وزن ناشی از سیکل‌های یخبندان و ذوب نمونه‌های بتن غلتکی

۴-۴- نتایج آزمایش چگالی بتن تازه

آزمـایش چگـالی بـتن تـازه طبـق اسـتاندارد ASTM C127 [۲۶]و براسـاس نشـریه ۳۵۴ سـازمان برنامـه و بودجـه انجـام گرفـت. ایـن آزمـایش طبـق بـر روی نمونـه‌هـای مختلـف بـتن غلتکـی حـاوی درصـدهای ۱، ۳، ۴، ۶ و ۷ درصـد میکروسیلیس انجام شد و نتایج مربوط بـه ایـن آزمایشـها بـه شـرح جـدول (۱۰) و شـکل (۵) ارائـه شـده اسـت. بـا توجـه بـه نتایج بدست آمـده مـی تـوان دریافـت کـه در تمـامی نمونـه‌هـای اصـلاح شـده بـا درصـدهای مختلـف میکروسـیلیس چگـالی تـازه بـتن غلتکـی نسـبت بـه نمونـه‌هـای شـاهد مقـدار انـدکی افـزایش یافتـه اسـت. بیشـترین مقـدار چگـالی بـتن غلتکـی اصلاح شده مربوط بـه ۳ درصـد مـی‌باشـد. بـا افـزایش درصـد افزودنـی میکروسـیلیس بـیش از ۳٪، مقـدار چگـالی تـازه بـتن غلتکی مقدار کمی کاهش پیدا کرده است.

جدول ۱۰- چگالی تازه مخلوط بتن غلتکی

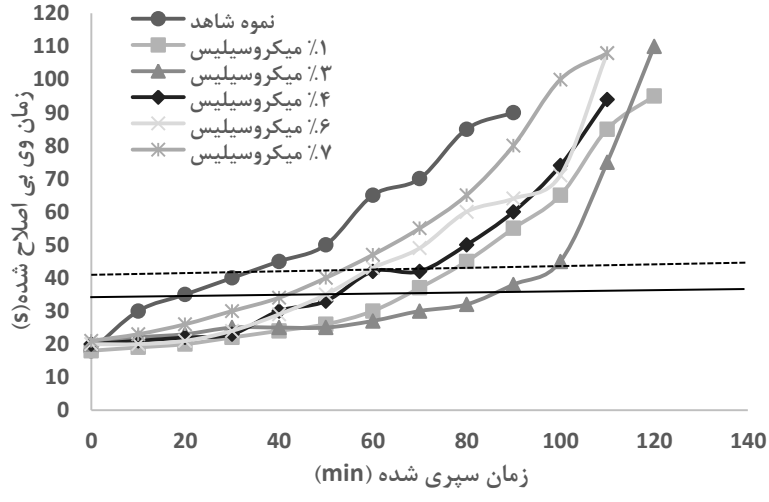
کد طرح	سیمان (kg/m^3)	آب (kg/m^3)	درصد میکرو سیلیس	نسبت آب به سیمان (w/c)	سنگدانه ترکیبی (kg/m^3)	چگالی تازه بتن (kg/m^3)	میانگین چگالی تازه بتن (kg/m^3)
۱	۳۷۵	۱۱۵	۰	۰/۳۱	۱۹۶۰	۲/۳۵۷	۲/۳۶۵
						۲/۳۷۰	
						۲/۳۶۹	
۲	۳۷۰	۱۱۵	۱	۰/۳۱	۱۹۶۰	۲/۴۰۹	۲/۴۱۵
						۲/۴۱۶	
						۲/۴۳۰	
۳	۳۶۵	۱۱۵	۳	۰/۳۱	۱۹۶۰	۲/۴۳۹	۲/۴۳۶
						۲/۴۴۲	
						۲/۴۲۷	
۴	۳۶۰	۱۱۵	۴	۰/۳۱	۱۹۶۰	۲/۴۱۵	۲/۴۰۸
						۲/۴۰۶	
						۲/۴۰۳	
۵	۳۵۵	۱۱۵	۶	۰/۳۱	۱۹۶۰	۲/۳۸۲	۲/۳۹۳
						۲/۴۰۱	
						۲/۳۹۶	
۶	۳۵۰	۱۱۵	۷	۰/۳۱	۱۹۶۰	۲/۳۸۸	۲/۳۸۶
						۲/۳۹۴	
						۲/۳۷۶	



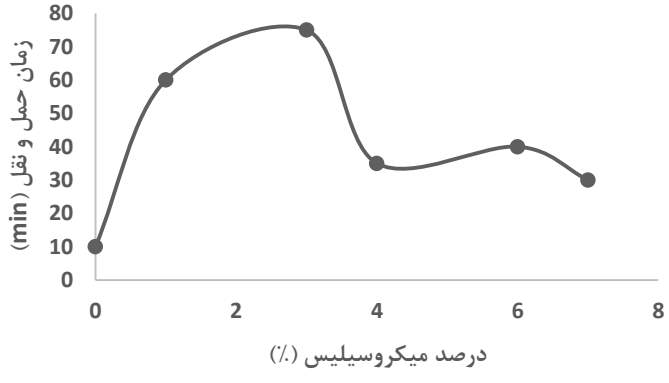
شکل ۵- تغییرات چگالی تازه بتن غلتکی

۴-۵- نتایج آزمایش وی بی اصلاح شده بتن غلتکی

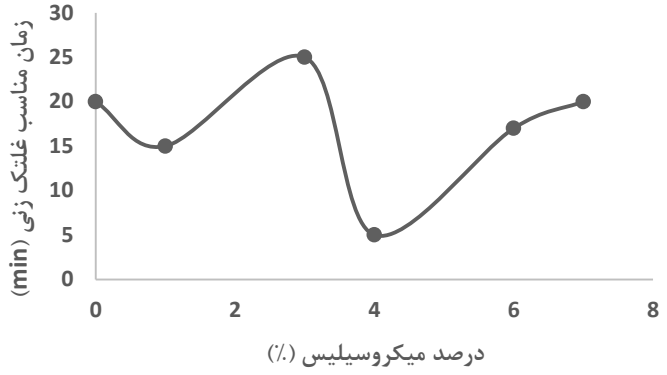
بتن غلتکی در حالت تازه بایستی قابلیت تحمل وزن غلتک جهت تراکم را داشته باشد. از اینرو بتنی است بسیار سفت و خشک که میزان آب آن بسیار کمتر از بتن های معمولی هست. بدین منظور جهت تعیین کارایی بتن غلتکی از آزمایش وی بی اصلاح شده طبق استاندارد ASTM C1170 [۲۷] و نشریه ۳۵۴ انجام می گیرد. آزمایش وی بی اصلاح شده بر روی تمامی طرح ها انجام گردید تا مقدار آن به ۹۰ ثانیه برسد. وی بی اصلاح شده بیشتر از ۹۰ ثانیه نشان دهنده ناکارایی بتن می‌باشد. اگرچه برای بتن غلتکی مربوط به روسازی میزان وی بی اصلاح شده اصلاح شده طبق استاندارد بین ۳۰ تا ۴۵ ثانیه پیشنهاد شده است. همچنین طبق استاندارد زمان حمل به زمانی اطلاق می‌شود که بتن از لحظه پایان اختلاط تا لحظه‌ای که وی بی اصلاح شده آن به حدی برسد که قابلیت تراکم را داشته باشد، گفته می‌شود. از آنجا که کارایی بتن غلتکی در پروژه تا زمانی است که وی بی اصلاح شده آن بین ۳۰ تا ۴۰ ثانیه باشد و معمولاً روند تغییرات نمودار وی بی اصلاح شده نسبت به زمان صعودی است، اولین لحظه‌ای که بتن به وی بی اصلاح شده۳۰ ثانیه می‌رسد را زمان حمل نامگذاری شده است (T30) . همچنین زمان کار که همان زمانی است که عملیات تراکم توسط غلتک قابل انجام می‌باشد زمانی است که زمان وی بی اصلاح شده بین ۳۰ و ۴۰ ثانیه می‌باشد که برای طرح های اختلاط مختلف در این پایان‌نامه متفاوت می‌باشد. در واقع هرچه این زمان بیشتر باشد درنتیجه زمان بیشتری را می‌توان به غلتک‌زنی اختصاص داد. مقادیر زمان وی بی اصلاح شده و زمان حمل بتن غلتکی در نمونه های آزمایشگاهی مورد مطالعه مطابق شکل (۶) ارائه شده است. همچنین زمان‌های حمل و نقل بتن غلتکی و زمان کار مناسب مطابق شکل های (۷) و (۸) قابل مشاهده می باشد.



شکل ۶- مقایسه زمان وی بی اصلاح شده نمونه شاهد با نمونه های اصلاح شده



شکل ۷- مقایسه زمان حمل نمونه شاهد و نمونه اصلاح شده بتن غلتکی



شکل ۸- مقایسه زمان مناسب برای غلتک‌زنی نمونه شاهد و نمونه اصلاح شده بتن غلتکی

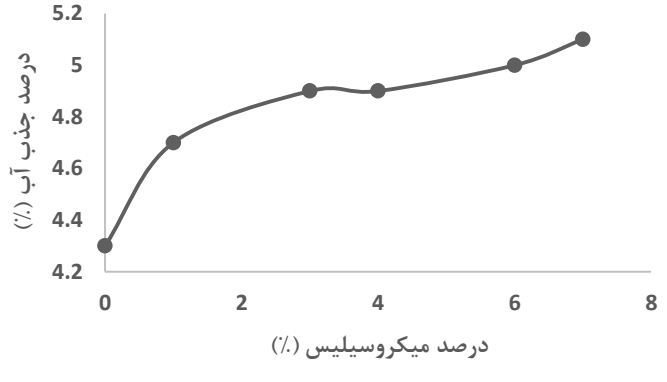
باتوجه به نمودارهای فوق می توان دریافت که با افزودن میکروسیلیس تا ۳٪ میزان حمل بتن غلتکی افزایش می یابد که تقریبا برابر ۶۵ دقیقه است. سپس در ادامه با افزایش میزان درصد میکروسیلیس مدت زمان حمل کاهش می یابد. همچنین همگامیکه ۳ درصد میکروسیلیس به بتن غلتکی افزوده می شود زمان مناسب برای غلتک زنی نیز افزایش می یابد که برابر ۲۵ دقیقه می باشد.

۴-۶- نتایج حاصل از آزمون جذب آب و نفوذ پذیری

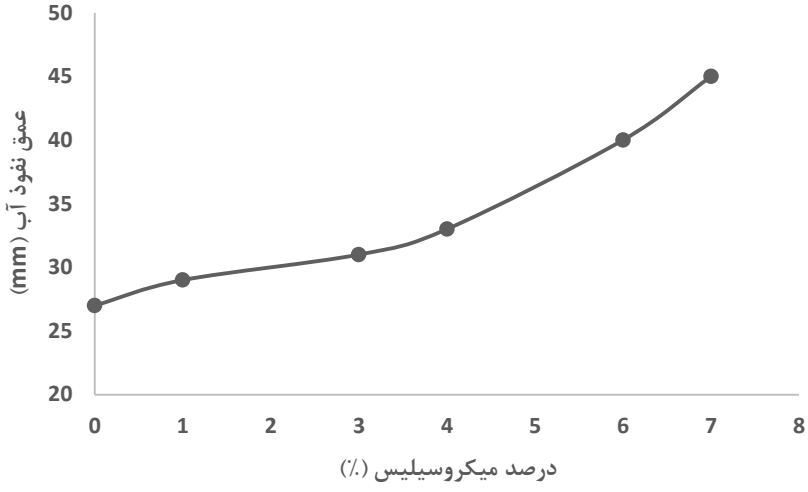
ویژگی نفوذپذیری یکی از مهمترین مشخصه‌های دوام روسازی‌ها می‌باشد. این آزمایش برای نمونه‌های مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر طبق استاندارد ASTM C1585 [۲۸] انجام پذیرفت. آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار پس از شکستن نمونه‌ها به صورت قطری بر حسب میلیمتر گزارش می‌شود. آزمون جذب آب بر اساس استاندارد ASTM C642 [۲۹] انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت درون اون در دمای ۵±۱۰۵ درجه سانتیگراد خشک می‌شوند و سپس به وسیله ترازو وزن خشک آنها به عنوان W_d ثبت می‌شود. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آب ۲۰ درجه سانتیگراد قرار داده می‌شوند و وزن اشباع آن W_s ثبت می‌شود. در نهایت میزان جذب آب طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$WA(\%) = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \qquad (۱)$$

نتایج حاصل از آزمایش صورت گرفته بر روی نمونه های مورد مطالعه مطابق شکل (۹) قابل مشاهده می باشد. نتایج نشان دهنده آن است که جذب آب به ترتیب برای نمونه‌های ۷، ۶، ۴، ۳، ۱ درصد میکروسیلیس و شاهد دارای بیشترین مقادیر می‌باشد. به طور کلی جذب آب برای نمونه‌های اصلاح شده با میکروسیلیس تفاوت قابل ملاحظه‌ای با مخلوط شاهد ندارد. روند جذب آب با افزایش درصد میکروسیلیس افزایش یافته است.



شکل ۹- مقایسه جذب آب نمونه‌های شاهد و نمونه اصلاح شده بتن غلتکی



شکل ۱۰- مقایسه عمق نفوذ آب نمونه‌های شاهد و نمونه اصلاح شده بتن غلتکی

نتایج حاصل از آزمایش عمق نفوذ نشان می دهد که بیشترین عمق نفوذ آب مربوط به نمونه بتن غلتکی اصلاح شده با ۷٪ میکروسیلیس می‌باشد. کمترین عمق نفوذ آب مربوط به نمونه بتن غلتکی شاهد می‌باشد. عمق نفوذ آب به ترتیب برای نمونه‌های شاهد، ۱٪، ۳٪، ۴٪، ۶٪ و ۷٪ میکروسیلیس بیشترین مقادیر می‌باشد. عمق نفوذ آب با افزایش درصد میکروسیلیس افزایش یافته است.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

هدف اصلی در تحقیق حاضر همانطور که ذکر گردید بررسی تاثیر میکروسیلیس در مشخصات مکانیکی بتن غلتکی در مناطق سردسیر می باشد. در این پژوهش، از شن و ماسه طبیعی اطراف شهر تهران (معدن شرکت شنزار) و آب شرب و سیمان تیپ ۲ تهران استفاده شد. میکرو سیلیس جهت انجام این پژوهش از شرکت شیمی بتن ماهان تهیه شده که با استانداردهای ASTM C618 مطابقت دارد. مواد هوازا استفاده شده در این تحقیق از نوع Conplast AEA شرکت فسراک FOSROC می‌باشد این مواد بصورت مایع به جهت مخلوط شدن یکنواخت تهیه شده و همچنین این مواد بر اساس استاندارد ASTM C260 می‌باشد. روش ساخت نمونه‌ها چکش ارتعاشی طبق استاندارد ASTM C1435 می‌باشد. نمونه‌های اصلاح شده با ۲٪ ماده هوازا و درصدهای مختلف ۱، ۳، ۴، ۶ و ۷ درصد میکروسیلیس مورد آزمایش‌های چگالی تازه، جذب آب، زمان وی بی، زمان حمل، روانی، مقاومت فشاری تک محوره، مقاومت کششی دو نیم شدن و دوام در برابر سیکل‌های ذوب و یخبندان تا ۳۰۰ سیکل قرار گرفت و نتایج این آزمایشات با نتایج مخلوط بتن غلتکی اصلاح نشده مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج زیر را در بر داشته است:

الف- تغییر جزئی در مقاومت فشاری نمونه‌ها گواه بر امکان پذیر بودن استفاده از این افزودنی می‌باشد و بیشترین مقدار مقاومت فشاری مخلوطهای بتنی در سن ۷ روزگی و ۲۸ روزگی مربوط به نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس می‌باشد.

ب- تغییر در چگالی تازه بتن غلتکی اصلاح شده با درصدهای مختلف میکروسیلیس در مقایسه با مخلوطهای شاهد بسیار ناچیز است. اگرچه وجود ۳٪ میکروسیلیس بیشترین مقدار را ارائه کرده است.

ج- افزودن ۳٪ میکروسیلیس به مخلوط بتن غلتکی نسبت به نمونه شاهد، سبب افزایش زمان حمل به اندازه ۶۵ دقیقه شده است که این مقدار بسیار قابل ملاحظه می‌باشد، زمان حمل مخلوط بتن غلتکی اصلاح شده با ۳٪

میکروسیلیس نسبت به مخلوط اصلاح شده با ۱٪ میکروسیلیس ۱۵ دقیقه زمان حمل بیشتری دارد، زمان حمل مخلوط بتن غلتکی اصلاح شده با ۴٪ میکروسیلیس نسبت به مخلوط اصلاح شده با ۳٪ میکروسیلیس ۴۰ دقیقه زمان حمل کمتری دارد، زمان حمل مخلوط بتن غلتکی اصلاح شده با ۶٪ میکروسیلیس نسبت به مخلوط اصلاح شده با ۳٪ میکروسیلیس ۳۵ دقیقه زمان حمل کمتری دارد، زمان حمل مخلوط بتن غلتکی اصلاح شده با ۷٪ میکروسیلیس نسبت به مخلوط اصلاح شده با ۳٪ میکروسیلیس ۴۵ دقیقه زمان حمل کمتری دارد.

د- بیشترین فرصت برای عمل تراکم مربوط به مخلوط بتن غلتکی اصلاح شده با ۳٪ میکروسیلیس می‌باشد.

و- بیشترین مقاومت کششی غیرمستقیم دو نیم شدن مخلوطهای بتن غلتکی در سنین ۱، ۷ و ۲۸ روزگی مربوط به نمونه‌های ۱٪، ۳٪، شاهد، ۴٪، ۶٪، ۷٪ می‌باشد.

ر- به صورت کلی کاهش وزن تمامی نمونه‌های اصلاح شده با ۱، ۳، ۴، ۶ و ۷ درصد میکروسیلیس نسبت به نمونه‌های شاهد مخلوط بتن غلتکی بسیار کمتر بوده و بهترین نتیجه مربوط به نمونه‌های بتن غلتکی اصلاح شده با ۳ درصد میکروسیلیس بوده است و مقدار اندکی افت وزنی کمتری در طی ۳۰۰ سیکل یخزدگی و ذوب شدن داشته است.

ز- جذب آب به ترتیب برای نمونه‌های ۷، ۶، ۴، ۳، ۱ درصد میکروسیلیس و شاهد دارای بیشترین مقادیر می‌باشد و به طور کلی جذب آب برای نمونه‌های اصلاح شده با میکروسیلیس تفاوت قابل ملاحظه‌ای با مخلوط شاهد ندارد. همچنین عمق نفوذ آب به ترتیب برای نمونه‌های شاهد، ۱٪، ۳٪، ۴٪، ۶٪ و ۷٪ میکروسیلیس بیشترین مقادیر می‌باشد.

به طور کلی مخلوطهای بتن غلتکی حاوی درصدهای مختلف میکروسیلیس نتایج بهتری نسبت به نمونه‌های شاهد از خود نشان دادند و با افزایش مقدار درصد میکروسیلیس، افزایش مقاومت در برابر خرابی‌های ناشی از رطوبت و کاهش دما را به همراه دارد. از بین درصدهای مختلف میکروسیلیس مورد استفاده در این پایان‌نامه، استفاده از ۱ و ۳ درصد میکرسیلیس نتایج بهتری را به همراه داشته است. در مناطق سردسیر و شرایط مرطوب و یخبندان بهترین نتیجه مربوط به مخلوطهای بتن غلتکی حاوی ۲٪ هوازا و ۳٪ میکروسیلیس می‌باشد.

۶- تشکر و قدردانی

از حمایت های شرکت شنزار که در انجام آزمایشات این تحقیق همکاری داشته اند قدردانی به عمل می آید.

۷- مراجع

[1]- *Ghaffori, N., Zhang, Z, "Sulfate Resistance of Roller Compacted Concrete", ACI Materials Journals, 95 (1995): 347-355.*

[2]- American Society of Civil Engineers, "RCC Paves Municipal Street", ASCE; Civil Engineering, 57.2 (1987): 65-68.

[3]- ASTM C666-03, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, 2008.

[4]- Nanni, A., Ludwig, D. and Shoenberger, J., "Roller Compacted Concrete for Highway Pavement", Concrete International, (1996):33-32.

[5]- Yang .H. Huang, "Pavement Analysis and Design", 2nd Edition, University of Kentucky, Pearson publication. 1994

[6]- Halsted G. E., P.E., "Roller-Compacted Concrete Pavements for Highways and Streets", Annual Conference of the Transportation Association of Canada, (2009): 1-15.

[7]- Hazaree C., Ceylan H., Wang K., "Influences of Mixture Composition on Properties and Freeze–Thaw Resistance of RCC", Construction and Building Materials, 25.1 (2011): 313-319.

[8]- Ceylan H, Gopalakrishnan K., Kim S., "Looking to the future: the next-generation hot mix asphalt dynamic modulus prediction models", International Journal of Pavement Engineering, 23.8 (2009):341-352.
[9]- Tuyan, M., Mardani-Aghabaglou, A. and Ramyar, K., "Freeze–thaw resistance, mechanical and transport properties of self-consolidating concrete incorporating coarse recycled concrete aggregate", Materials & Design, 53 (2014): 983-991.
[10]- Hao W., Zhuo L., Beibei S., "Experimental investigation on freeze–thaw durability of Portland cement pervious concrete (PCPC)", Journal of Construction and Building Materials, 117 (2016):63-71.
[11]- Alexandre B. J., Ramos D. J., "Freeze–thaw resistance of concrete produced with fine recycled concrete aggregates", Journal of Cleaner Production, 115.1 (2016):294-306
[12]- ASTM C618, American Society for Testing and Materials, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 2008.
[13]- ASTM C150-07 Standard Specification for Portland cement, 2007.

[14]- Betonshimi Mahan Company, www.bsm.pcn.ir
[15]- www.fosroc.com, Conplast AEA, FOSROC Company.
[16]- ASTM C260-1, Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete, 2001.
[17]- American Society for Testing and Materials. "Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer", C1435/C1435M-07, ASTM International, Philadelphia, Pa. 2007.
[18]- Code 354, guideline for design and construction of rolled compacted concrete pavements, 2009.
[19]- ACI 325.10 "State of art Report on Roller Compacted Concrete Pavements" American Concrete, Institute Report ACI 325.10-95, 2000.
[20]- Neville, A.M. "Properties of Concrete", 3rd edition, Longman, London; 1981.
[21]- Waddell, Joseph J. and Joseph A. Dobrowolski, "Concrete Construction Handbook," 3rd edition, McGraw-Hill, Inc., 1993.
[22]- American Society for Testing and Materials, "Standard Practice for Making Roller Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table", ASTM C1176, year 1992.
[23]- American Society for Testing and Materials, "Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort", ASTM D1557, year 1991.
[24]- ASTM C39-14, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 2014.
[25]- American Society for Testing and Materials. "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens". C 496-96, ASTM International, Philadelphia, Pa. 1996.
[26]- ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, 2015.
[27]- American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller Compacted Concrete Using a Vibrating Table", ASTM C1170, page 615, year 1991.
[28]- ASTM C1585-13, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, 2013.
[29]- ASTM C642-13, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, 2013.

Effects of Micro Silica on Mechanical Properties of Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP) in Cold Regions

Hooman Pourabdolah[1], Rouzbeh Dabiri[2*]
1. Department of Road and Transportation, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, iran.
2. Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

Abstract
Nowadays with development in transportation networks, majority of countries revenue is spent on maintenance and preservation. One of the pavements is Roller Compacted Concrete (RCC) that is most economical and durable type of pavements. As regard most of RCC pavements subjected to weather conditions especially humidity, freezing and loading due to traffic gradually have become destroyed. Therefore, durability of RCC against freezing and thawing cycles and suitable time for transport and operation is very important. The Main purpose of this research is evaluation of micro silica effects on mechanical properties of RCC in cold regions. For this target, material with 1, 3, 4, 6 and 7 percent micro silica mixed and 2% aerosol matter added. Mechanical properties of mixed materials with using compression, indirect tensile strength, thaw and freezing cyclic, water absorbing, density, vebe and specific gravity tests evaluated. Generally, results of tests showed that with adding 7% micro silica in RCC performance get better.

Keywords: Roller compacted concrete, Micro silica, Aerosol matter, Compression strength, Tensile strength