بررسی تاثیر استفاده از نانو سیلیس و میکروسیلیس بر خواص مهندسی روسازی بلوک کفپوش بتنی

سعید بزرگمهرنیا[1] ، عرفان کمالی[2] ، حمیدرضا اصغری[3]

۱- دکترا سازه ، عمران ، مدیر تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران

۲- کارشناس تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران

۳- کارشناس ارشد تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران

Saeed.bozorgmehr@gmail.com

چکیده

با توجه به بالا بودن قیمت قیر و کاهش عمر روسازی‌های آسفالتی، امروزه استفاده از روسازی‌های بتنی از جمله روسازی بلوک کفپوش بتنی، در حال افزایش می‌باشد. روسازی کفپوش بتنی، یک روسازی نیمه صلب می‌باشد که از مزایای آن می‌توان به قابلیت اصلاح، تعمیر و تعویض سریع و آسان و حساس نبودن به تغییرات دما اشاره کرد، در حالی که روسازی بتن غلتکی که یک روسازی صلب می‌باشد که قابلیت تعمیر بسیار سختی دارد و روسازی آسفالتی که یک روسازی انعطاف پذیر می‌باشد، نسبت به تغییرات دما حساس بوده و در مقابل شتاب و ترمز چرخ‌ها یا به عبارتی سایش و برش مقاومت کمی دارد. همانند دیگر روسازی‌های بتنی، مصالح سیمانی، یکی از اجزاء اصلی در ساخت روسازی بلوک کفپوش بتنی می‌باشد. با توجه به آلودگی ناشی از تولید سیمان و انتشار زیاد گاز دی اکسید کربن، استفاده از پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی به عنوان مصالح سیمانی مکمل و جایگزین بخشی از سیمان مصرفی اهمیت خاصی پیدا کرده و تعداد تحقیقات انجام شده در این زمینه، روز به روز در حال افزایش می‌باشد؛ چرا که استفاده از این مصالح، ضمن کاهش مصرف سیمان که سبب صرفه جویی در هزینه‌ها می‌شود، خواص بتن را نیز بهبود می‌بخشد. در این مطالعه، تاثیر استفاده از ۳ درصد پوزولان نانو سیلیس و ۹ درصد پوزولان میکرو سیلیس جایگزین سیمان بر روی خواص بلوک کفپوش بتنی ترافیکی مورد بررسی قرار گرفت، که نتایج حاصل نشان می‌دهد خواص مکانیکی کفپوش های حاوی ۹ درصد ذرات میکروسیلیس در مقایسه با کفپوش معمولی ۵,۵ الی ۶۶ درصد و مقاومت سایشی ۴۱درصد رشد داشته است و مشخصات دوام نظیر مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک‌های یخ زدا ۳۴ درصد رشد و جذب آب ۰,۷ درصد کاهش داشته است. همچنین خواص مکانیکی کفپوش های حاوی ۳ درصد ذرات نانوسیلیس در مقایسه با کفپوش معمولی ۱۱ الی ۹۱ دردصد و مقاومت سایشی ۸۲ درصد رشد داشته است و مشخصات دوام نظیر مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک‌های یخ زدا ۶۲ درصد رشد و جذب آب ۲ درصد کاهش داشته است.

کلمات کلیدی: روسازی بلوک کفپوش بتنی، خواص مکانیکی بتن، نانوسیلیس، میکرو سیلیس، سیمان .

۱. مقدمه

روسازی‌ها یکی از مهم ترین زیرساخت‌های هر کشوری محسوب می‌شوند. به طوری که سالانه مبالغ بسیار زیادی به ساخت، نگهداری و مرمت آن‌ها اختصاص می‌یابد. پویایی و عملکرد مطلوب سیستم حمل و هر کشوری رابطه مستقیم با وضعیت و قابلیت سرویس‌دهی شبکه روسازی‌های آن کشور دارد.

روسازی‌های بلوک بتنی از جمله زیر ساخت‌هایی هستند که مزایای فراوانی نظیر مقاومت و دوام زیاد در برابر بارهای وارده و دوره‌های یخ زدن و آب شدن، هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری کم، بهره برداری بلافاصله بعد از اجرا، سرعت اجرای بالا دارند. مزایای فراوان این سیستم روسازی سبب شده است در بزرگراه‌ها، فرودگاه‌ها، خیابان‌ها، جاده‌های محلی، پارکینگ و انواع دیگر زیر ساخت‌ها، به کار برده شوند و کشورهایی نظیر آمریکا، انگلستان، کانادا،

استرالیا، آفریقای جنوبی، سوئد، هلند، آلمان، ژاپن، نروژ و دانمارک اقدام به تدوین و توسعه آئین نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی و اجرایی برای تسهیلات جاده‌ای، فرودگاهی و بنادر نمایند.[۱]

در طی سالیان گذشته روندی صعودی در استفاده از بلوک کفپوش بتنی گزارش شده است. سی سال پیش که مهندسان از بلوک کفپوش بتنی بعنوان یک لایه روسازی استفاده می‌کردند، شاید هرگز تصور نمی‌شد که این روش به یکی از بادوام ترین و ارزان ترین روش‌های اجرای رویه راه تبدیل شود. بلوک کفپوش بتنی تاریخچه چندان طولانی برای کاربرد در روسازی‌های راه ندارد. شاید بتوان گفت اولین استفاده از آن در ساخت رویه راه، سال ۱۹۳۰ توسط گروه مهندسین ارتش آمریکا برای ساخت کف‌های صنعتی بود. بعد از آن، این گروه از بلوک کفپوش بتنی برای ساخت باند پرواز در فرودگاه واشنگتن در سال ۱۹۴۲ استفاده کردند. از دیگر موارد کاربرد بلوک کفپوش بتنی در مقیاس بزرگ در یک محوطه صنعتی در ونکوور کانادا در سال ۱۹۷۶ بود[۳]. اجزاء تشکیل دهنده‌ی بلوک کفپوش بتنی، سیمان، آب ، شن و ماسه می‌باشد. مواد سیمانی مورد استفاده در بلوک کفپوش بتنی روسازی شامل سیمان پرتلند یا سیمان پرتلند آمیخته و گاهی سیمان به همراه پوزولان اضافه شده به صورت مجزا است. انتخاب نوع سیمان بر اساس مقاومت طرح و سنی که برای مقاومت طرح در نظر گرفته شده است، صورت می‌گیرد[۲].

امروزه با نوجه به توسعه استفاده از بتن در نتیجه گام برداشتن کشور ها در جهت تولید بیشتر سیمان که باعث صرف هزینه و انرژی زیاد که عواملی نا مطلوب از نظر اقتصادی می باشند و همچنین از نظر زیست محیطی سبب کاهش منابع طبیعی، همچنین تخریب محیط زیست (به عنوان مثال تولید گاز CO_2 در اثر تولید کلینکر) می شود. استفاده از مواد پوزولانی به عنوان مصالحی دارای خاصیت سیمانی و جایگزین شونده در قسمتی از سیمان پرتلند مخلوط‌های بتنی مورد توجه زیادی می‌باشد که ضمن کاهش مصرف سیمان، موجب بهبود خواص بتن نیز می‌گردند. این مطالعه نیز، به بررسی انواع پوزولان‌های میکروسیلیس و نانوسیلیس و اثر آن‌ها بر خواص بلوک کفپوش بتنی روسازی راه می‌پردازد[۴].

مروری بر پژوهش های انجام شده، نشان می دهد تا به حال تحقیقات بسیاری در مورد بررسی استفاده از پوزولان های میکروسیلیس و نانو سیلیس در بتن معمولی صورت گرفته است و تحقیقات معدودی در مورد بررسی استفاده از پوزولان های اشاره شده در کفپوش بتنی شده است. به همین علت اکثر نتایج این مقاله با پژوهش های موجود در بحث تاثیر پوزولان های میکروسیلیس و نانوسیلیس در بتن معمولی مقایسه می شود.SANKALP RANA و همکاران تاثیر استفاده همزمان از درصد های مختلف میکروسیلیس و نانو سیلیس با استفاده از نسبت آب به سیمان های مختلف بر روی مقاومت فشاری و خمشی کفپوش های بتنی را بررسی کرده اند. نتایج نشان می دهد طرح مخلوط با استفاده از نسبت آب به سیمان ۰,۴ با استفاده از ۵ درصد میکروسیلیس و ۲ درصد نانوسیلیس جایگزین سیمان، بهینه ترین درصد اختلاط نانوسیلیس و میکروسیلیس می باشد و بالاترین رشد مقاومت خمشی در ۲۸ روز نسبت به طرح مخلوط های دیگر را دارد. استفاده بیش از این مقدار پوزولان های اشاره شده در این پژوهش باعث کاهش مقاومت خمشی و فشاری شده است[۵].

نیلی و همکاران تاثیر استفاده همزمان از درصد های مختلف میکروسیلیس و نانو سیلیس بر روی مقاومت فشاری و جذب آب بتن معمولی را بررسی کرده اند.نتایج نشان می دهد ۶ درصد میکروسیلیس و ۱,۵ درصد نانوسیلیس بالاترین مقاومت فشاری و استفاده از ۳ درصد میکروسیلیس و ۱,۵ درصد نانوسیلیس کمترین جذب آب را حاصل می شود[۶].

۲-برنامه آزمایشگاهی

۲-۱-مصالح

۲-۱-۱-سیمان

سیمان مصرفی از نوع سیمان پرتلند تیپ (۱-۴۲۵) سپاهان اصفهان با چگالی دانه ای ۳,۱۰است. این سیمان مطابق با استانداردهای ASTM-C۱۵۰ [۷] و ISIRI ۳۸۹ [۸] و استاندارد EN ۱۹۷-۱ [۹] می‌باشد. علت این انتخاب، وجود این سیمان به میزان زیاد و همچنین عدم نیاز به خواص ویژه‌ای است که در انواع دیگر سیمان وجود دارد. در جدول ۱ آنالیز شیمیایی و در جدول ۲ آنالیز فیزیکی این نوع سیمان آورده شده است.

جدول۱-آنالیز شیمیایی

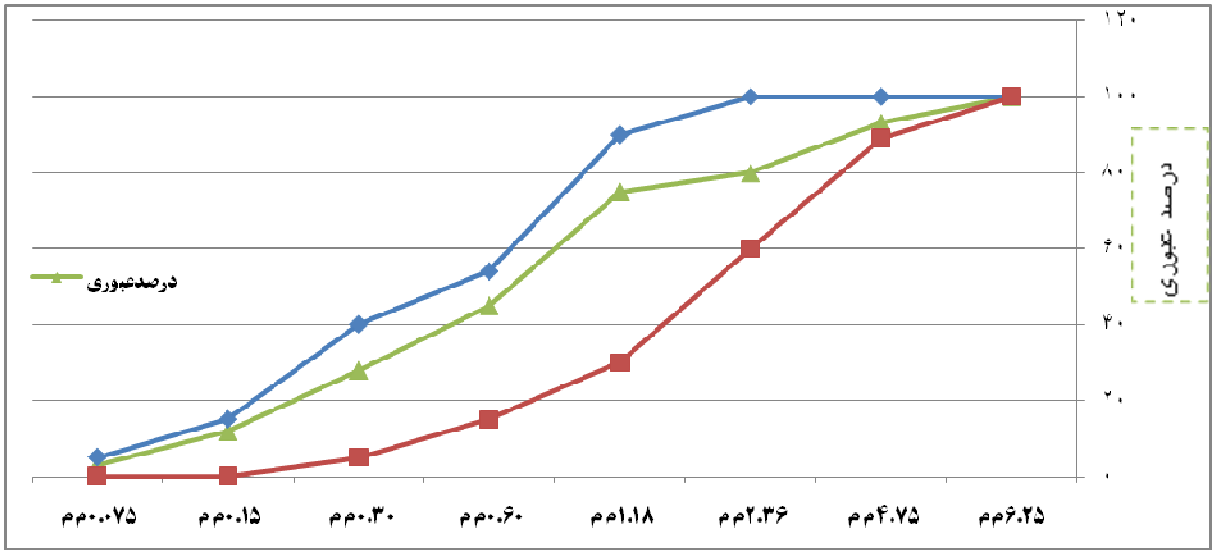
پارامتر های شیمیایی	Sio_2 %	Al_2o_3 %	Fe_2O_3 %	CaO %	MgO %	Cl %	SO_3 %	L.O.I %	I.R %	Free CaO %	Total Alcalis %	Cr+۶ %
سیمان سپاهان	۲۱,۰۰	۵,۰۰	۳,۴۵	۶۴,۰۰	۲,۲۰	۰,۰۲۵	۲,۲۰	۱,۹۰	۰,۳۵	۱,۳۰	۰,۷۵	< ۰,۰۰۹
انحراف استاندارد	۰,۵۰	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۷۰	۰,۲۰	۰,۰۰۵	۰,۲۰	۰,۳۰	۰,۲۰	۰,۳۰	۰,۰۵	-
استاندارد ISIRI ۳۸۹	-	-	-	-	<۵,۰۰	-	<۳,۰۰	<۳,۰۰	<۰,۷۵	-	-	-
استاندارد EN ۱۹۷-۱	-	-	-	-	-	<۰,۱۰۰	<۳,۵۰	۵,۰۰<	۵,۰۰<	-	-	-

جدول۲-آنالیز فیزیکی

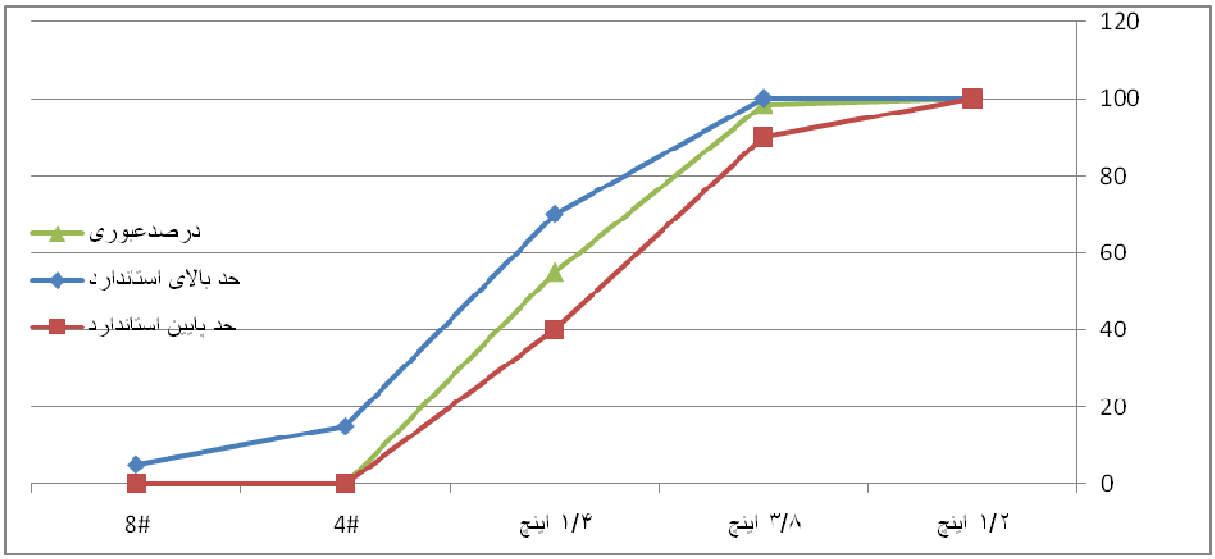
پارامتر های فیزیکی	بلین (cm^2/gr)	گیرش اولیه (min)	گیرش نهایی (min)	مقاومت فشاری(kg/cm^2)				انبساط اتوکلاو (٪)
				۲ روزه	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	
سیمان سپاهان	۳۴۰۰	۱۹۰	۲۴۰	۱۸۰	۲۳۰	۳۴۰	۴۹۰	۰,۰۸
انحراف استاندارد	۱۰۰	۳۰	۳۰	۱۵	۲۰	۲۵	۲۵	۰,۰۳
استاندارد ISIRI ۳۸۹	۲۸۰۰<	۴۵<	۳۶۰>	۱۰۰<	-	-	۴۲۵<	۰,۸۰>
استاندارد EN ۱۹۷-۱	-	۶۰<	-	۱۰۰<	-	-	۴۲۵<	-

۲-۱-۲-سنگدانه

سنگدانه‌های مصرفی از نوع مصالح بومی منطقه و با مشخصات فیزیکی ذکر شده در جدول ۳ می‌باشد. لازم به ذکر است که سنگدانه‌های مصرفی از نوع کوهی شکسته و ماسه موجود رودخانه‌ای می باشد. از ماسه ۳-۰ در قسمت رویه (face) و ماسه ۶-۰ و شن ۱۲-۶ (نخودی) در قسمت پایه (main) استفاده کردیم. برای تعیین محدوده دانه‌بندی سنگدانه مورد استفاده ، طبق استاندارد ASTM C۳۳ [۱۰] عمل شده که حدود دانه بندی ماسه وشن به ترتیب در نمودار ۲و۳ ارائه شده است، همچنین مشخصات مکانیکی مصالح شامل وزن مخصوص و درصد جذب آب سنگدانه‌ها برای شن و ماسه مصرفی در جدول ۳ آورده شده است.



شکل۲- منحنی دانه بندی ماسه مصرفی



شکل۳- منحنی دانه بندی شن مصرفی

جدول ۳- مشخصات مکانیکی مصالح

نوع مصالح	وزن مخصوص kg/m^3	درصد جذب آب
شن	۲۵۵۰	۲
ماسه	۲۵۰۰	۲،۸

۲-۱-۳-میکروسیلیس

میکروسیلیس مصرفی به عنوان پرکننده، از کارخانه صنایع معدنی فرو آلیاژ سمنان تهیه شده است. مشخصات شیمیایی میکرو سیلیس مصرفی در جدول شماره ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مشخصات شیمیایی میکرو سیلیس مصرفی

مشخصات شیمیایی	درصد
SiO_2	۹۵,۱
CaO	۰,۴۹
Al_2O_3	۱,۳۲
Fe_2O_3	۰,۸۷
MgO	۰,۹۷
SO_3	۰,۱

۲-۱-۴-نانوسیلیس

نانوسیلیس مصرفی به عنوان جایگزین سیمان، از مجتمع فناوری‌های نوین فدک اصفهان تهیه شده است. مشخصات نانوسیلیس مصرفی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول۵-مشخصات نانوسیلیس مصرفی

رنگ ظاهری	اندازه ذرات(nm)	PH	درجه خلوص(%)	وزن مخصوص(kg/m^3)
پودرسفید	۲۲-۲۰	۷,۵-۶	۹۹	۲۰۰

۲-۱-۵-آب

آب مصرفی باید صاف، تمیز و عاری از مواد آلی، قلیایی و اسیدی که برای ساخت بتن مضر هستند، باشد. خصوصیات آب اختلاط مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۱۴۷۴۸ [۱۱] مورد استفاده قرار می‌گیرد در این راستا آب مصرفی شرب شهر کرج مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۲-طرح مخلوط

برای به دست آوردن تاثیر استفاده از پوزولان‌های میکروسیلیس و نانوسیلیس در کسب مقاومت‌های سایشی، خمشی، فشاری و درصد جذب آب، طرح مخلوط نمونه‌های ساخته شده کفپوش بتنی حاوی نانوسیلیس و میکروسیلیس و بتن معمولی طبق جدول ۶ طراحی و اجرا شد. بتن‌های تولیدی در قالب کفپوش با ابعاد ۸*۱۰*۲۰ سانتی‌متر تولید و در سن ۲۸ روزه مورد استفاده قرار می‌گیرند. لازم به ذکر است مقدار نانوسیلیس و میکروسیلیس مورد استفاده در کفپوش بتنی در لایه سطحی تقسیم و جایگزین سیمان می‌گردد.

جدول۶-طرح مخلوط بستر(Main) تولید کفپوش بتنی ترافیکی

شماره طرح	سیمان(kg)	سنگدانه(kg)		نسبت آب به مواد سیمانی	میکرو سیلیس (٪)	نانو سیلیس (٪)
		ماسه ۶-۰	شن ۱۲-۶			
۱	۵۸۰	۱۹۵۰	۴۰۰	۰,۳۳	-	-
۲	۵۲۸	۱۹۵۰	۴۰۰	۰,۳۳	۹	-
۳	۵۶۳	۱۹۵۰	۴۰۰	۰,۳۳	-	۳

جدول۷-طرح مخلوط رویه(Face) تولید کفپوش بتنی ترافیکی

شماره طرح	سیمان(kg)	سنگدانه(kg)	نسبت آب به مواد سیمانی	میکرو سیلیس (٪)	نانو سیلیس (٪)
		ماسه ۳-۰			
۱	۱۱۰	۳۳۳	۰,۳۳	-	-
۲	۱۰۰	۳۳۳	۰,۳۳	۹	-
۳	۱۰۷	۳۳۳	۰,۳۲	-	۳

روش تولید نمونه های کفپوش بتنی در کارخانه برای اجرا در روسازی به این گونه می باشد که ابتدا مصالح مورد نیاز از سیلو های انباشت مصالح برداشت شده و درون باکت هایی که جداگانه برای رویه و بستر تعبیه شده است ریخته می شود سپس باکت ها حرکت کرده ومصالح را درون دو میکسر که مصالح رویه و بستر را مستقلا مخلوط می کند ریخته می شود لازم به ذکر است که سنگدانه ها با میکروسیلیس یا نانو سیلیس در این مرحله به صورت خشک به مدت ۲۰ ثانیه مخلوط می شوند، سپس سیمان طرح به این دو میکسر اضافه شده و به مدت ۴۵ ثانیه به صورت خشک مخلوط می شود در محله نهایی آب طرح اضافه شده و ۵۰ ثانیه به اصلاح میکس خیس می شود. بعضا برای جلوگیری از کلوخه شدگی نانوسیلیس،آن را با فوق روان کننده و آب مخلوط کرده سپس به ترکیب اصلی اضافه می کنند. همچنین زمان مخلوط کردن مصالح در میکسر از همان مرحله اولیه تا انتها نباید بیشتر از ۱۸۰ ثانیه باشد.

۳-آزمایشات

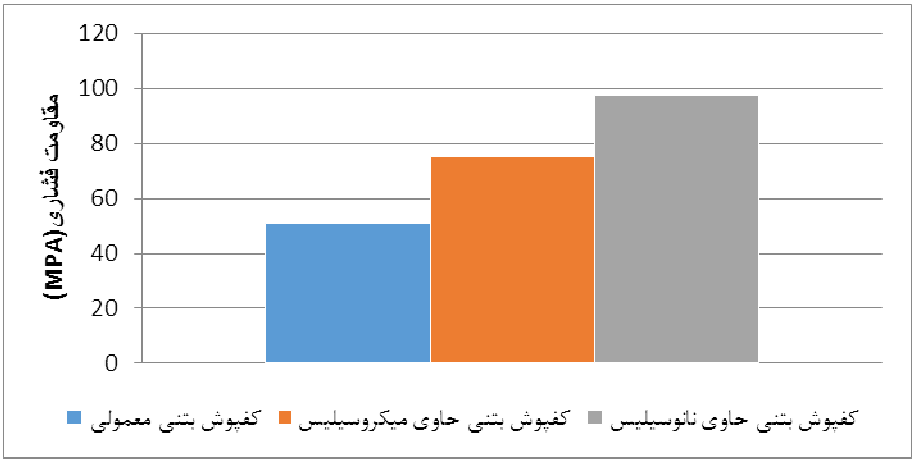
جهت بررسی خواص مکانیکی طرح مخلوط‌های ارائه شده، آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مقاومت کششی به روش دونیم شدن برزیلی بر روی نمونه‌های عمل آوری شده در شرایط مرطوب انجام گرفت. آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه آزمایش فشاری با حداکثر توانKN ۱۲۰۰و با سرعت MPA/S ۰,۴۵ بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. نمونه‌های منشوری جهت بررسی مقاومت خمشی بر روی دستگاه سنجش خیز با سرعت mm/min ۳ و به صورت دو سر ساده و با طول دهانه ۳۰ سانتی‌متر بارگذاری شده‌اند.

۳-۱-مقاومت فشاری

تست مقاومت فشاری روی قطعات کفپوش بتنی تولید شده به ابعاد ۸*۱۰*۲۰ در سن ۲۸ روزه با طرح مخلوط‌های ارائه شده در جدول ۶ و ۷ با استفاده از جک مقاومت فشاری مطابق با Annex B استاندارد BS EN ۶۷۱۷-۱:۲۰۰۳ [۱۲] صورت گرفت و نتایج و مقایسه آن‌ها با استانداردهای ASTM C۹۳۶ [۱۳] و استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۷۵۵ [۱۴] در جدول۸ و شکل۶ ارائه شده است.

جدول ۸- نتایج آزمون مقاومت فشاری

شرح آزمون	حد استاندارد			نتیجه آزمون		
	استانداردملی ایران ISIRI۷۵۵-۲	ASTM C 936	BS EN 6717	طرح۱ کفپوش بتنی معمولی	طرح ۲ کفپوش بتنی میکروسیلیسی	طرح ۳ کفپوش بتنی نانوسیلیسی
مقاومت فشاری(MPA)	-	۵۰<	۴۹<	۵۱	۸۵	۹۷,۶



شکل۴-نتایج آزمون مقاومت فشاری کفپوش‌های بتنی ترافیکی

همان گونه که در شکل ۴ و جدول۸ مشاهده می شود کفپوش‌های بتنی حاوی ذرات میکروسیلیس و نانو سیلیس در مقایسه با کفپوش بتنی معمولی دارای مقاومت فشاری بالاتری می‌باشند. استفاده از۹ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۶۶ درصدی مقاومت فشاری و استفاده از ۳ درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۹۱ درصدی مقاومت فشاری شده است.

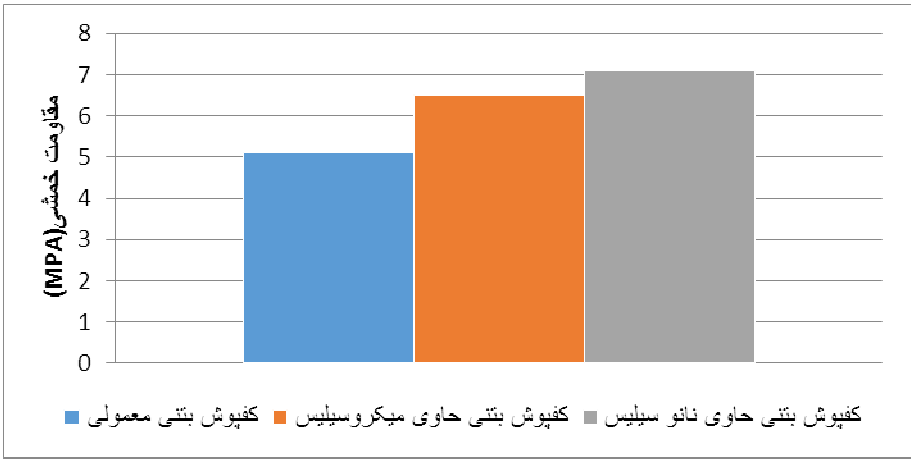
علت افزایش مقاومت فشاری نمونه های کفپوش بتنی حاوی پوزولان را می توان خاصیت چسبندگی و ریز بودن این نوع مواد دانست که با پر کردن حفرات موئینه و پر کردن ناحیه بین خمیر و سنگدانه باعث افزایش مقاومت فشاری می شوند.

۳-۲-مقاومت خمشی

تست مقاومت خمشی روی آزمونه‌های کفپوش بتنی تولید شده به ابعاد ۸*۱۰*۲۰ در سن ۲۸ روزه با طرح مخلوط‌های ارائه شده در جدول۶ و ۷ با استفاده از جک مقاومت خمشی مطابق با بند ۴-۲-۴ استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۷۵۵ صورت گرفت و نتایج و مقایسه با استانداردها در جدول۹و شکل ۵ ارائه شده است. لازم به ذکر است در استاندارد BS EN ۱۳۳۸ [۱۵] برای کفپوش‌های ترافیکی آزمون مقاومت کششی دو نیم شدن جایگزین آزمون مقاومت خمشی شده است اما در بعضی مراجع همچنان به مقاومت خمشی استناد می‌کنند لذا به همین دلیل در این پژوهش به بررسی مقاومت خمشی نیز پرداخته شده است.

جدول۹-نتایج آزمون مقاومت خشمی

شرح آزمون	حد استاندارد			نتیجه آزمون		
	استانداردملی ایران ISIRI۷۵۵-۲	ASTM C 936	BS EN 6717	طرح۱ کفپوش بتنی معمولی	طرح ۲ کفپوش بتنی میکروسیلیسی	طرح ۳ کفپوش بتنی نانوسیلیسی
مقاومت خمشی(MPA)	۵<	۵<	۴<	۵,۱	۶,۵	۷,۱



شکل۵ -نتایج آزمون مقاومت خمشی کفپوش‌های بتنی ترافیکی

همان گونه که در شکل ۵ و جدول۹ مشاهده می شود کفپوش‌های بتنی حاوی ذرات میکروسیلیس و نانو سیلیس در مقایسه با کفپوش بتنی معمولی دارای مقاومت خمشی بالاتری می‌باشند. استفاده از۹ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۲۷ درصدی مقاومت خمشی و استفاده از ۳ درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۳۹ درصدی مقاومت خمشی شده است.با افزایش مقاومت فشاری به طبع مقاومت خمشی نیز افزایش پیدا می کند.

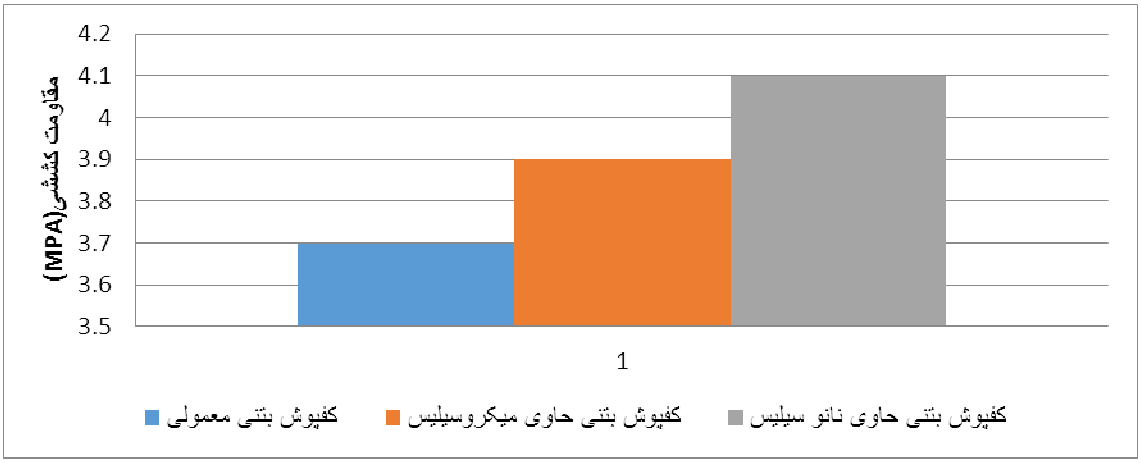
۳-۳-مقاومت دو نیم شدن (کششی)

این آزمون مطابق با پیوست ج استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸۵ [۱۶] بر روی آزمونه‌های کفپوش بتنی انجام شد.

نتایج و مقایسه با استانداردها در جدول۱۰ و شکل۶ ارائه شده است.

جدول۱۰-نتایج آزمون مقاومت دو نیم شدن کفپوش‌های بتنی ترافیکی

شرح آزمون	حد استاندارد	نتیجه آزمون		
	BS EN ۱۳۳۸ Annex F	طرح۱ کفپوش بتنی معمولی	طرح ۲ کفپوش بتنی میکروسیلیسی	طرح ۳ کفپوش بتنی نانوسیلیسی
مقاومت کششی(MPA)	۳,۶<	۳,۷	۳,۹	۴,۱



شکل ۶-نتایج آزمون مقاومت دو نیم شدن کفپوش‌های بتنی ترافیکی

همان گونه که در شکل ۶ و جدول۱۰ مشاهده می شود کفپوش‌های بتنی حاوی ذرات میکروسیلیس و نانو سیلیس در مقایسه با کفپوش بتنی معمولی دارای مقاومت کششی بالاتری می‌باشند. استفاده از۹ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۵.۵ درصدی مقاومت کششی و استفاده از ۳ درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۱۱ درصدی مقاومت کششی شده است.با افزایش مقاومت فشاری به طبع مقاومت کششی نیز افزایش پیدا می کند.

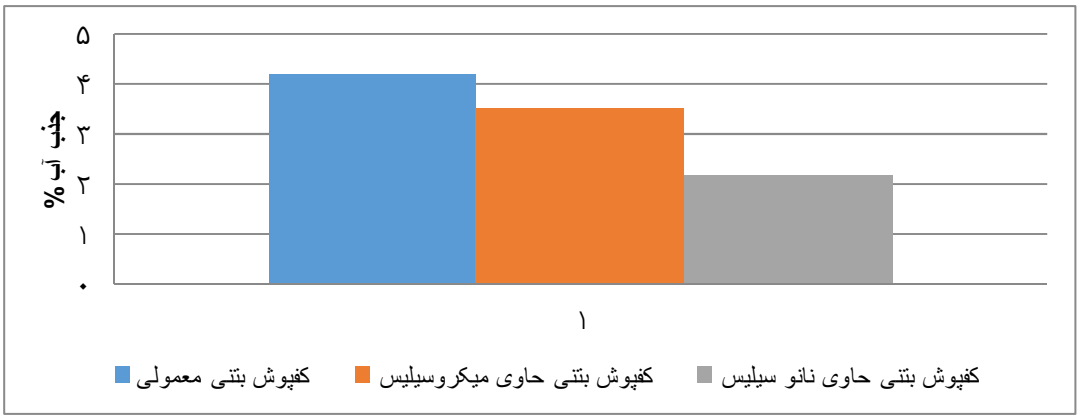
۳-۴-جذب آب

آزمایش جذب آب بر روی کفپوش‌های بتنی مطابق با پیوست ث استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸۵ انجام شد

نتایج و مقایسه با استانداردها در جدول۱۱ و شکل۷ ارائه شده است.

جدول۱۱ -نتایج آزمون جذب آب کفپوش‌های بتنی ترافیکی

شرح آزمون	حد استاندارد		نتیجه آزمون		
	استانداردملی ایران ISIRI ۲۰۱۸۵	BS EN ۱۳۳۸ Annex E	طرح۱ کفپوش بتنی معمولی	طرح ۲ کفپوش بتنی میکروسیلیسی	طرح ۳ کفپوش بتنی نانوسیلیسی
جذب آب ٪	۶>	۶>	۴,۲	۳,۵	۲,۲



شکل ۷–نتایج آزمون حذب آب کفپوش های بتنی ترافیکی

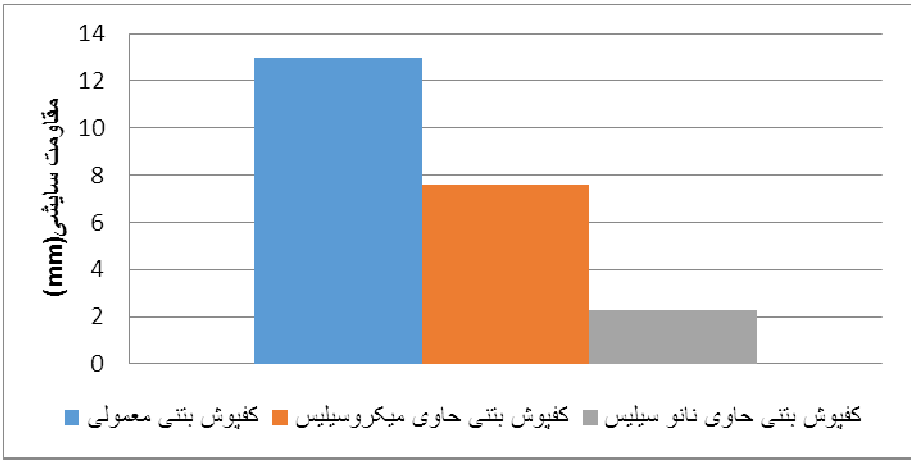
همان گونه که در شکل ۷ و جدول۱۱ مشاهده می شود کفپوش‌های بتنی حاوی ذرات میکروسیلیس و نانو سیلیس در مقایسه با کفپوش بتنی معمولی دارای جذب آب کمتری می‌باشند. استفاده از۹ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث کاهش۰,۷ درصدی جذب آب و استفاده از ۳ درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث کاهش ۲ درصدی جذب آب شده است. مشخصات دوام بتن نظیر جذب آب به دلیل استفاده از نانوسیلیس و میکروسیلیس که ذرات ریزی می‌باشند، بهبود یافته است چون خلل و فرج و حفرات مویینه بتن را بیشتر پر می‌کند که باعث تقویت ساختار میکروسکوپی بتن می‌شود.

۳–۵–مقاومت سایشی

این آزمون مطابق با پیوست ج استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸۵ بر روی آزمونه‌های کفپوش بتنی با دستگاه چرخ پهن انجام شد و نتایج و مقایسه با استاندارد ها در جدول۱۲ و شکل ۸ ارائه شده است:

جدول۱۲ -نتایج آزمون مقاومت سایشی کفپوش‌های بتنی ترافیکی

شرح آزمون	حد استاندارد			نتیجه آزمون		
	استانداردملی ایران ISIRI ۲۰۱۸۵	ASTM C 936	BS EN 6717	طرح۱ کفپوش بتنی معمولی	طرح ۲ کفپوش بتنی میکروسیلیسی	طرح ۳ کفپوش بتنی نانوسیلیسی
مقاومت سایشی(mm)	<۲۰	<۲۵	<۲۳	۱۳	۷,۶	۲,۳



شکل۸–نتایج آزمون مقاومتسایشی کفپوش‌های بتنی ترافیکی

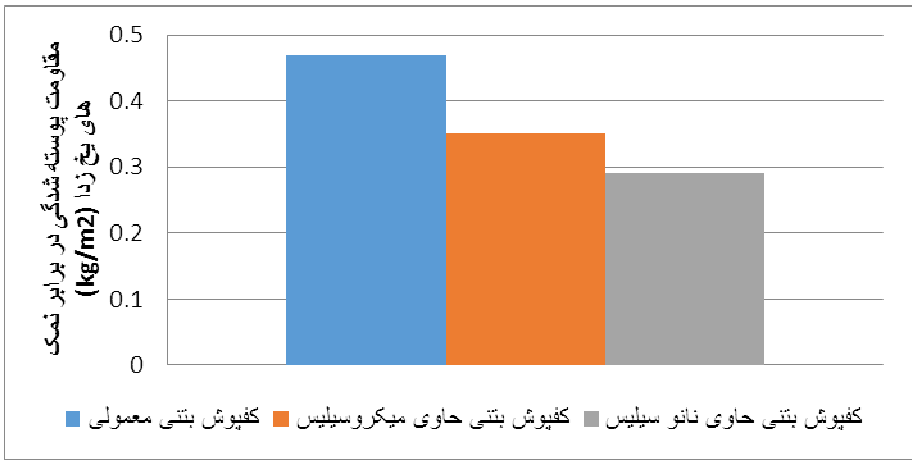
همان گونه که در شکل ۸ و جدول ۱۲ مشاهده می شود کفپوش‌های بتنی حاوی ذرات میکروسیلیس و نانو سیلیس در مقایسه با کفپوش بتنی معمولی دارای مقاومت سایشی بالاتری می‌باشند. استفاده از ۹ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۴۱ درصدی مقاومت سایشی و استفاده از ۳ درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۸۲ درصدی مقاومت سایشی شده است. به دلیل سطح ویژه بالا و خاصیت پر کنندگی حفرات خمیر سیمان، مواد پوزولانی به بتن اضافه شده که در نتیجه کفپوش بتنی دارای تخلخل کمتری در لایه رویه بوده و باعث افزایش مقاومت سایشی می شود.

۳–۶–مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن با نمک‌های یخ زدا

این آزمون مطابق با پیوست ت استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸۵ بر روی آزمونه‌های کفپوش بتنی انجام شد. کفپوش‌های بتنی در معرض ۲۸ چرخه یخبندان و آب شدگی قرار گرفتند، پس از آزمون موادی که از سطح پوسته جدا شدند، جمع آوری و توزین گشت و نتایج و مقایسه با استانداردها در جدول۱۴ و شکل۹ ارائه شده است:

جدول۱۳–نتایج آزمون مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک های یخ زدا کفپوش‌های بتنی ترافیکی

شرح آزمون	حد استاندارد			نتیجه آزمون		
	استانداردملی ایران ISIRI ۲۰۱۸۵	ASTM C 936	BS EN 6717	طرح۱ کفپوش بتنی معمولی	طرح ۲ کفپوش بتنی میکروسیلیسی	طرح ۳ کفپوش بتنی نانوسیلیسی
مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک‌های یخ زدا (kg/m^2)	۱,۵>	۱>	۱,۵>	۰,۴۷	۰,۳۵	۰,۲۹



شکل ۹–نتایج آزمون مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک های یخ زدا کفپوش‌های بتنی ترافیکی

همان گونه که در شکل ۹ و جدول ۱۳مشاهده می شود کفپوش‌های بتنی حاوی ذرات میکروسیلیس و نانو سیلیس در مقایسه با کفپوش بتنی معمولی دارای مقاومت پوسته شدگی بالاتری می‌باشند. استفاده از ۹ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۳۴ درصدی مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک‌های یخ زداو استفاده از ۳ درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۶۲ درصدی مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک‌های یخ زداشده است. عامل اصلی در آزمایش مقاومت در برابر پوسته شدگی درصد هوای بتن می باشد لذا چون هوای طرح مخلوط ها و روش تولید یکسان است، پس عامل دیگری که در این آزمایش تاثیرگذار است مواد پوزولانی می باشد که نانو سیلیس به علت اندازه بسیار ریز آن تاثیر بیشتری نسبت به میکرو سیلیس در افزایش مقاومت در برابر پوسته شدگی دارد.

۴– تحلیل و تفسیر نتایج

نتایج آزمایش های مربوط به تعیین خواص مکانیکی اعم از مقاومت های فشاری،خمشی و کششی و مقاومت سایشی و بررسی پارامتر های دوام از جمله مقاومت در برابر یخ زدن وآب شدن با نمک‌های یخ زدا و جذب آب نمونه های کفپوش بتنی حاوی پوزولان های میکروسیلیس و نانوسیلیس برای سن ۲۸ روزه درجداول و شکل ها به صورت کامل ارائه و نمایش داده شده است. همان گونه که نتایج نشان می دهد :

کفپوش‌های بتنی حاوی ذرات میکروسیلیس در مقایسه با کفپوش بتنی معمولی دارای خواص مکانیکی بهتری می‌باشند. استفاده از۹ درصد میکروسیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۶۶ درصدی مقاومت فشاری، ۲۷ درصدی مقاومت خمشی، ۵,۵ درصدی مقاومت کششی شده است. همچنین باعث کاهش ۰,۷ درصدی جذب آب، افزایش ۴۱ درصدی مقاومت سایشی و۳۴ درصدی مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک‌های یخ زدا نیز شده است.

کفپوش‌های بتنی حاوی ذرات نانو سیلیس در مقایسه با کفپوش بتنی ممولی دارای خواص مکانیکی بهتری می‌باشند. استفاده از ۵ درصد نانو سیلیس جایگزین سیمان در کفپوش‌های بتنی باعث افزایش ۹۱ درصدی مقاومت فشاری، ۳۹ درصدی مقاومت خمشی، ۱۱درصدی مقاومت کششی شده است. همچنین باعث کاهش ۲ درصدی جذب آب، افزایش ۸۲ درصدی مقاومت سایشی و ۶۲ درصدی مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک‌های یخ زدا نیز شده است.

افزایش خواص مکانیکی و بهبود مشخصات دوام را می توان با بررسی مکانیزم تاثیر پوزولان های میکروسیلیس و نانوسیلیس بر بتن معمولی و پژوهش های گذشته ارائه کرد:

میکروسیلیس ماده ای بسیار ریز و آمورف می باشد که با هیدروکسید کلسیم ناشی از هیداراتاسیون سیمان ترکیب شده و آن را به اجزا مقاومی به نام سیلیکات کلسیم هیدراته تبدیل می کند و ترکیب ژل مانند می سازد. نانو سیلیس هم به خاطر سطح ویژه بالا، دارای فعالیت زیاد بوده و می تواند با کریستال های هیدروکسید کلسیم به سرعت وارد واکنش شود و ژل کلسیم سیلیکات هیدراته را تولید کند. بنابراین اندازه و مقدار این کریستال ها در بتن کاهش پیدا می کند، از طرف دیگر کلسیم هیدراته تولید شده باعث پر شدن حفرات موجود در بتن و بهبود در اتصال بین سنگدانه ها و خمیر سیمان میشود [۱۷]. در حدود ۶۰ درصد از محصول ناشی از هیدراسیون آب و سیمان، ژل کلسیم سیلیکات هیدرانه می باشد. قطر متوسط ژل سیلیکات هیدراته در حدود ۱۰ نانو متر است، از این رو نانو سیلیس میتواند حفرات موجود در ساختار ژل کلسیم سیلیکات هیدراته را به خوبی پر نموده و باعث قفل و بست بهتر این فاز شود [۱۸].

در بتن معمولی بخشی از هیدروکسید کلسیم تولید شده ناشی از هیدراسیون سیمان به مرور زمان شسته شده به صورت رسوب از بتن خارج میگردد و اثر آن به صورت منافذ میکرو ساختاری باقی میماند، از طرف دیگر در نمونه های حاوی نانو سیلیس که این هیدروکسید کلسیم با نانو سیلیس واکنش داده و ژل کلسیم سیلیکات هیدرانه تولید می کند که موجب کاهش میزان رسوب و شسته شدن آن از بتن می گردد[۱۹].

چینگ و همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند، نانو سیلیس خواص پوزولانی بالاتری نسبت به میکروسیلیس از خود نشان می دهد و افزایش مقاومت بالاتری را موجب می شود. همچنین یکی از دلایل بهبود مقاومت فشاری را ناشی از فعالیت پرولانی تانو سیلیس دانسته بر این اساس درات نانو سیلیس آمورف با درصد خلوص بالای ۹۹ درصد و سطح ویژه زیاد با کریستال های هیدروکسید کلسیم حاصل از هیدراسیون، واکنش داده و تولید ژل کلسیم سیلیکات هیدراته مینماید، این واکنش احتمالا اتصال خمیر سنگدانه را بهبود می بخشد [۲۰].

دنشترم(۲۰۰۴) بهبود رفتار بتن را در برابر یخ زدگی و آب شدگی با افزودن نانو سیلیس به طرح اختلاط گزارش کرده است [۲۱].

جی (۲۰۰۵) عمده ترین دلیل توسعه مقاومت فشاری بتن با نانو سیلیس را نقش پر کنندگی ذرات نانو در بین منافذ خمیر سیمان میداند و علت آن را اینگونه بیان میکند که ذرات نانو سیلیس به علت ریز دانگی بالا و چسبندگی سطحی ذرات، در بین ذرات ژل کلسیم سیلیکات هیدراته قرار گرفته و ذرات ژل را پر میکنند و این امر موجب یکپارچگی ژل کلسیم هیدراته و افزایش دوام بتن می گردد [۲۲].

باتوجه به نتایج حاصل شده از آزمایش ها برای بررسی خواص مکانیکی و دوام که در این مقاله مشاهده شد، می توان مکانیزم بهبود خواص مکانیکی و دوام کفپوش های بتنی در مطالعات اشاره شده منطبق و به اثبات رسیده دانست.

۵– نتیجه گیری

- با توجه به بحث زیست محیطی تولید سیمان و افزیش انتشار گاز CO_2، می‌بایستی جایگزین‌های مناسبی برای سیمان پرتلند انتخاب گردد که در این خصوص، استفاده از پوزولان‌ها بعنوان مصالح مکمل سیمان، بسیار حائز اهمیت است. به این ترتیب با بهره‌گیری از پوزولان‌ها، تقاضا برای مصرف سیمان پرتلند کاهش پیدا کرده و عملاً قیمت آن نیز کم می‌شود، ضمن آنکه این امر در بهبود خواص بتن نیز، نقش بسزایی دارد.

در این پژوهش به بررسی تاثیر استفاده از پوزولان‌های میکروسیلیس و نانوسیلیس بر رفتار کفپوش‌های بتنی معمولی پرداخته شده است. در این راستا کفپوش بتنی با رفتار و خصوصیات مکانیکی بهبود یافته تولید شده است. در محدوده آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق می‌توان به نکات زیر اشاره کرد :

-استفاده از نانوسیلیس و میکروسیلیس باعث رشد خواص مکانیکی و بهبود مشخصات دوام در سن ۲۸ روز شده است ولی تاثیر استفاده بیش از درصد های پوزولان های ذکر شده و تاثیر عکس بر خواص مکانیکی بررسی نشده و صرفا به پژوهش های گذشته اکتفا شده است.

-مشخصات دوام بتن نظیر جذب آب به دلیل استفاده از نانوسیلیس و میکروسیلیس که ذرات ریزی می‌باشند بهتر شده است چون خلل و فرج و حفرات مویینه بتن را بیشتر پر می‌کند که باعث تقویت ساختار میکروسکوپی بتن می‌شود.

-دوز مصرفی نانوسسیلیس نسبت به میکروسیلیس در کفپوش بتنی کمتر است اما تاثیر بیشتری در بهبود خواص مکانیکی داشته است ولی قیمت نانو سیلیس نسبت به میکرو سیلیس بیشتر است.

۵.قدردانی

از شرکت آپتوس ایران که در طی انجام آزمایش‌های این تحقیق همکاری لازم را به عمل آوردند، صمیمانه تشکر می‌شود.

۶. مراجع

[۱] حسنی، ا.،جمشیدی، ع.. (۱۳۸۵). "اصول عملکرد، طرحی و اجرای روسازی های بلوکی بتنی".ویریش اول، انتشارات آرادمهر.

[۲] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، وزارت راه و ترابری، راهنمای طراحی و اجرای بلوک کفپوش بتنی در روسازی راههای کشور (نشریه شماره ۳۵۴) ، پژوهشکده حمل و نقل، اردیبهشت ماه، ۱۳۸۸.

[۳] اکبرنژاد، ص.، حسنی، ا. و شکرچی زاده، م.، "بررسی اثر مشخصات سنگدانه ها در خواص بلوک کفپوش بتنی مورد استفاده در روسازی راه"،پژوهشنامه حمل و نقل،سال پنجم،شماره دوم،تابستان، ۱۳۸۷.

[4] Damtoft, J.S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D. and Gartner, E.M., (۲۰۰۸), "Sustainable development and climate change initiatives", Cement and Concrete Research, ۳۸, pp. ۱۱۵-۱۲۷.

[5] RANA, s. (۲۰۱۵), "EFFECT OF SILICA FUME AND NANO SILICA AS CEMENT REPLACEMENT MATERIAL ON STRENGH PROPERTIES OF PAVEMENT QUALITY CONCRETE". A DISSERTATION SUBMITED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIRMENTS FOR THE AWARD OF DEGREE OF MASTER ENGINEERING, ۷۱-۷۲.

[۶] NILI, M., EHSANI, A., SHABANI, K. (۲۰۱۰). "Influence of Nano-SiO۲ and Microsilica on Concrete Performance". Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, ۶.

[۷] ASTM C۱۵۰/C۱۵۰M, "Standard specification for portland cement", ASTM International, ۲۰۱۹

[۸] استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹، " ویژگیهای سیمان پرتلند"، ۱۳۷۸

[۹] BS EN۱۹۷-۱, "Cement. Composition, specifications and conformity criteria for common cements", ۲۰۱۱

[۱۰] ASTM C۳۳/C۳۳M, "Standard Specification for Concrete Aggregates" , ASTM International, ۲۰۱۸

[۱۱] استاندارد ملی ایران به شماره ۱۴۷۴۸، " آب اختلاط بتن"، ۱۳۹۰

[۱۲] BS EN۶۷۱۷-۱, "Precast concrete paving blocks. Specification for paving blocks", ۲۰۰۳

[۱۳] ASTM C۹۳۶/C۹۳۶M, "Standard Specification for Solid Concrete Interlocking Paving Unit", ASTM International, ۲۰۱۸

[۱۴] استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۷۵۵، " موزاییک سیمانی-قسمت۲-برای کاربرد بیرونی -ویژگی ها و روشهای آزمون"، ۱۳۹۳

[۱۵] BS EN۱۳۳۸, "Concrete paving blocks. Requirements and test methods ", ۲۰۰۳

[۱۶] استاندارد ملی ایران به شماره ۲۰۱۸۵، " بلوک های کف پوش بتنی -الزامات و روش های آزمون"، ۱۳۹۴

[۱۷] خسته بند، حامد؛ محمدرضا سهرابی و عبدالرضا صمیمی، ۱۳۸۸، بررسی اثر ناتو سیلیس بر خواص مکانیکی بتن سبک، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، دانشگاه شیراز

[18] W.Ye Q., Zhang Z.N., Kong D.Y., Chen R.S., "Comparison of properties of high-strength concrete with nano-SiO۲ and silica fume added", Journal of Building Materials, Vol. ۶ (4), 281–285, 2003

[19] A. Li, Hui, Mao-hua Zhang, and Jin-ping Ou. "Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement." Wear ۲۶۰,۱۱ (2006): 1262-1266.2006

[20] Ye Qing, Zhang Zenan, Kong Deyu, Chen Rongshen, "Influence of nano-SiO۲ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume" College of Architecture and Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, ۳۱۰۰۱۴ Hangzhou, PR China , accepted ۷ September ۲۰۰۵

[21] Björnström, Joakim, et al. "Accelerating effects of colloidal nano-silica for beneficial calcium-silicatehydrate formation in cement." Chemical Physics Letters ۳۹۲,۱ (2004): 242-248.

[22] Ji Tao, "Preliminary study on the water permeability and microstructure of concrete incorporating nano-SiO۲", Cement and Concrete Research, No. ۳۵, P. ۱۹۴۳-۱۹۴۷, ۲۰۰۵

The effect of using nano silica and micro silica on pavement engineering properties of concrete floor block

Saeed Bozorgmehrnia[1], Erfan Kamali[2],Hamidreza Asghari[3]

1- Civil engineering PhD, director of research and development company Aptus Iran

2- Expert of research and development of Aptus Iran company

3- Master of research and development of Aptus Iran company

Saeed.bozorgmehr@gmail.com

Abstract

Due to the high cost of bitumen and asphalt pavements, the use of concrete pavements, including concrete pavement block, is increasing today. Concrete pavement is a semi-rigid pavement whose benefits include the ability to modify, repair and replace fast, easy and non-sensitive to temperature changes, while roller compacted concrete pavement(RCCP) is a rigid pavement that is low maintenance and very hard to repair and asphalt pavement, which is a flexible pavement, is sensitive to temperature changes and has little resistance to acceleration and braking of the wheels or in other words in abrasion and shear strength are greatly weak. Like other concrete pavements, cementitious materials are one of the main components in the construction of concrete pavement block. Due to the pollution caused by cement production and high CO^{2} emissions, the use of natural and synthetic pozzolans as complementary and alternative cementitious aggregates has become of particular importance and the number of researches in this field is becoming increasingly nowadays. Because the use of these materials, while reducing cement consumption, which also saves costs, also improves the concrete properties. In this study, the effect of nano-silica and micro-silica pozzolans on the properties of concrete pavement block is investigated. In this study, the effect of ۳٪ Pozzolan Nano silica and ۹٪ Pozzolan micro-silica replacement of cement on the properties of concrete pavement block was investigated, which the results show that the mechanical properties of the concrete block containing ۹٪ microsilica particles compared to normal concrete block ۵,۵ to ۶۶% and abrasion resistance was ۴۱٪ and durability characteristics such as scaling resistance against frozen salts ۳۴٪ growth and water absorption decreased 0.7%. Also, the mechanical properties of the concrete block containing 3% nanosilica particles in comparison with the normal concrete block ۱۱ to ۹۱٪ and abrasion resistance 82%, and the durability characteristics such as scaling resistance against frozen salts 62% of growth and water absorption decreased by ۲٪ .

Keywords: concrete paving block, mechanical properties of concrete, nanosilica, silica fume, cement