

Effects of Lithium Polysilicates Curing Agent on Engineering Properties and Durability of Concrete Floors

J. Sobhani, Associated Professor, Road, Housing & Urban Development Research Center

A. Pourkhorshidi, Lecturer, Road, Housing & Urban Development Research Center
alip_208@yahoo.com*

A. Raminfar, Industrial Manager, Iran Construction Clinic

ABSTRACT

Curing is an important parameter on the strength and durability development of concrete floors. Appropriate curing leads to the concrete strength gain, decrease in surface scaling and increasing the surface abrasion resistance of concrete. In this paper, the effects of a curing agent based on lithium polysilicates were investigated in an experimental program to verify their mechanical and durability properties. To this end, the compressive strength, water absorption, permeability under water pressure and abrasion resistance tests were carried out on the reference and cured specimens with curing agent. Based on the presented results, the compressive strength of air-cured and lab-condition specimens decreased more than 60% and 20% respectively. However, the specimens cured with Lithium Polysilicates agent lead up to 10% decrease in concrete strength. Moreover, the water absorption of specimens cured in air increased more than 3 times. The results showed that by application of such curing agents, the abrasion resistance increased by 8% in comparison with the standard curing system.

Keywords: *Concrete Floor, Curing Agent, Surface Harder, Abrasion Resistance Treatment.*

بررسی اثر استفاده از مواد عمل‌آوری‌کننده بر پایه لیتوم پلی‌سیلیکات روی خواص مهندسی و دوام کف‌های بتنی

دریافت مقاله: ۱۴-۱۲-۱۳۹۷

پذیرش مقاله: ۱۳-۰۸-۱۳۹۸

جعفر سبحانی

دانشیار عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

علیرضا پور خورشیدی*

عضو هیات علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بخش فناوری بتن

alip_208@yahoo.com

ابوالحسن رامین‌فر

شرکت کلینیک ساختمانی ایران

چکیده

عمل‌آوری یکی از پارامترهای مؤثر بر مقاومت و دوام کف‌سازی‌های بتنی می‌باشد. عمل‌آوری مناسب باعث پیشرفت روند کسب مقاومت، کاهش احتمال پوسته‌شدگی سطح بتن و افزایش مقاومت سایشی آن می‌شود. در این مقاله اثر استفاده از نوعی ماده عمل‌آوری‌کننده بر پایه لیتوم پلی‌سیلیکات بر روی مشخصات مکانیکی و دوام نمونه‌های بتنی مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس، آزمون‌های تعیین مقاومت فشاری، جذب آب، نفوذپذیری تحت فشار آب و مقاومت سایشی بر روی نمونه‌های شاهد و آزمایشی انجام گرفت. با توجه به نتایج ارائه شده مقاومت فشاری نمونه‌های نگهداری شده در محیط آزاد بیش از ۶۰٪ و در محیط آزمایشگاه بیش از ۲۰ درصد، نسبت به نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط استاندارد، کاهش مقاومت داشته‌اند. در صورتیکه در نمونه‌های آزمایشی، با اعمال ماده عمل‌آوری بر پایه لیتوم پلی‌سیلیکات، مقدار کاهش مقاومت فشاری کمتر از ۱۰ درصد بوده است. همچنین جذب آب نمونه‌های نگهداری شده در محیط آزاد، بیش از ۳ برابر نسبت به شرایط استاندارد افزایش پیدا کرده، در صورتیکه در نمونه‌های با ماده عمل‌آوری مذکور، مقدار جذب آب فقط ۱۴ درصد افزایش یافته است. نتایج آزمون تعیین مقاومت سایش نشان داد که در صورت استفاده از مواد عمل‌آوری ویژه نسبت به شرایط عمل‌آوری استاندارد بهبود مقاومت سایشی را در نمونه‌ها تا حدود ۸ درصد را شاهد خواهیم بود. نگهداری در شرایط آزمایشگاهی و محیط آزاد به ترتیب موجب کاهش مقاومت سایشی به مقدار ۸ و ۲۱ درصد شده است.

کلید واژه: ماده عمل‌آوری‌کننده، ماده سخت‌کننده، بهبوددهنده مقاومت سایشی کف‌های بتنی.

عمل آوری یکی از پارامترهای مؤثر بر مقاومت و دوام کف‌سازی‌های بتنی می‌باشد. عمل آوری مناسب باعث پیشرفت روند کسب مقاومت، کاهش احتمال پوسته‌شدگی سطح بتن و افزایش مقاومت سایشی آن می‌شود. از آنجائیکه عمل آوری در کف‌های بتنی یکی از مراحل پرهزینه و زمانبر می‌باشد، لذا استفاده از مواد عمل آوری در این نوع کف‌ها بسیار مورد توجه است. بر اساس منابع موجود، عمل آوری با استفاده از ترکیبات غشایی برای کف‌های بتن غلتکی متداول است. بدین منظور، جهت جلوگیری از تبخیر، از مواد شیمیایی مایع که بر سطح بتن مالیده یا پاشیده می‌شود و غشای نازکی را بوجود می‌آورد استفاده می‌شود تا مانع تبخیر آب بتن گردد. امروزه مواد شیمیایی غشاء‌ساز عمل آوری از مواد پلیمری (رزینی) یا موم‌ها تشکیل می‌شوند [۱-۳].

این مواد به دو دسته محلول در آب و غیرمحلول در آب (دارای حلال غیرآبی) تقسیم می‌شود که بکارگیری نوع محلول در آب به دلایل مختلفی توصیه می‌گردد. از طرفی این مواد می‌تواند بصورت بیرنگ (شفاف)، سفید و خاکستری یا حتی رنگی تولید شود. مصرف نوع سفید و خاکستری رایج‌تر است زیرا می‌توان پس از پاشیده شدن، از پوشش کامل آنها بصورت چشمی اطمینان حاصل نمود. نوع غیر محلول در آب ماده عمل آوری را باید پس از اتمام آب انداختن و زدوده شده آب روزه بر روی سطوح افقی استفاده نمود و گرنه در اولین ساعات، پوسته شده و از سطح بتن جدا می‌شود. به هر حال تأخیر زیاد در اعمال آن پس از خشک شدن سطح، توجیهی ندارد. مواد غشاء‌ساز عمل آوری باید با استاندارد ملی ایران به شماره ۸۲۸۸ [۴] منطبق باشند. برخی از مواد ویژه عمل آوری وجود دارند که باید الزامات ASTM C1315 [۵] را برآورده کنند. این مواد علاوه بر وظیفه اصلی خود می‌توانند به افزایش مقاومت سطحی در برابر سایش، اسید و غیره منجر گردند یا مقاومت در برابر پرتوهای فرابنفش را افزایش دهند.

این مواد را در سطوح کوچک می‌توان با قلم مو یا غلتک نقاشی اعمال کرد اما در سطوح وسیع‌تر به کمک پیستوله یا وسایل مشابه پاشیده می‌شود. توصیه می‌شود این مواد در دو لایه عمود بر هم، بر سطح مالیده یا پاشیده شوند تا پوشش بهتری حاصل گردد. معمولاً بسته به زبری و صافی سطح بتن، به ۰/۲ تا ۰/۳۵ لیتر در هر متر مربع مایع عمل آوری جهت پوشش مناسب سطح نیاز است. برخی ترکیبات رزینی آلی با گذشت زمان بویژه در معرض نور مستقیم خورشید از بین می‌روند و حضور آب این امر را تسریع می‌بخشد. از بین رفتن تدریجی این مواد مشکلی را بوجود نمی‌آورد و ریختن بتن را بر روی بتن قبلی یا در کنار آن در درزهای اجرایی ساده تر می‌کند، زیرا چنانچه مواد عمل آوری چسبیده به سطح باقی بمانند (به دلیل نوع آنها یا نبودن در معرض پرتو فرابنفش نور خورشید نبودن و یا عدم حضور آب) لازم است در بسیاری از اوقات، به کمک یک روش مکانیکی یا شیمیایی این پوسته زدوده شود. زمانی که قالب بتن برداشته می‌شود بهتر است سطح بتن را مرطوب کرد و سپس از مواد عمل آوری بر روی این سطح استفاده نمود. بهر حال آب اضافی این سطح باید از بین برود. برای انطباق ویژگی‌های این مواد با الزامات استاندارد، انجام آزمایشهای مندرج در استانداردهای ملی شماره ۳۸۲۲ ضرورت دارد. در این آزمایش قابلیت حفظ و نگهداری آب توسط این مواد مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برخی محلول‌های معدنی مانند سیلیکات سدیم و پتاسیم می‌تواند برای عمل آوری استفاده شود که با آهک سطحی بتن واکنش می‌دهد و سیلیکات کلسیم غیرمحلول در آب و مقاوم در برابر سایش بوجود می‌آورد در حالی که نمی‌تواند طبق استاندارد ملی شماره ۳۸۲۲ [۶] مورد آزمایش قرار گیرد و مسلماً منطبق بر استاندارد ملی به شماره ۸۲۸۸ [۷] نمی‌باشد، اما مصرف آن رایج و بلا مانع است [۱-۵].

نوع محلول در آب را می‌توان قبل یا پس از روزدن آب بکار برد و مشکلی بوجود نمی‌آورد، ضمن اینکه برای سلامتی انسان نیز زیانبار نیست. در هوای گرم و خشک که آهنگ تبخیر بر آهنگ روزدن آب غلبه می‌کند، بکارگیری این نوع مایع عمل آوری توصیه می‌شود. زیرا پس از اعمال این مواد، آب انداختن ادامه پیدا می‌کند بنابراین مصرف مواد

حاوی حلال غیرآبی توصیه نمی‌گردد. معمولاً قبل از استفاده از مایع عمل‌آوری با توجه به دستورالعمل و توصیه های سازنده آن باید این مواد را بخوبی هم زد و مخلوط کرد تا بصورت همگن درآیند. مقدار پاشش یا اعمال مواد بر واحد سطح را می‌توان با اندازه گیری مقدار مصرف شده و سطح مربوطه محاسبه نمود. اخیراً مواد عمل‌آوری کننده با خواص چندگانه مانند بهبوددهنده مقاومت سایشی نیز معرفی شده‌اند.

در سال ۲۰۱۳، Kholia و همکاران، اثر مواد روش‌های عمل‌آوری و اثرگذاری مواد عمل‌آوری کننده را بر روی خواص بتن بررسی و در قالب یک طرح آزمایشگاهی تحلیل نمودند [۸]. در سال ۲۰۰۹، Kevern و همکاران، تاثیر رژیم عمل‌آوری را برای میزان سایش بتن تراوا مورد تحقیق قرار دادند [۹]. بر اساس نتایج این تحقیق مشخص شد که بهترین مقاومت و بیشترین مقاومت سایشی مربوط به نوع ماده عمل‌آوری پایه روغن soybean می‌باشد. در سال ۲۰۱۷، Gawatre و همکاران [۱۰]، تاثیر گذاری انواع مواد عمل‌آوری غشایی را بر بتن مورد بررسی قرار دادند.

در سال ۲۰۰۳، Nassif و همکاران [۱۱]، تاثیر مواد عمل‌آوری کننده را بر جمع‌شدگی اولیه و ناشی از خشک شدن را مورد بررسی قرار دادند. این محققین مکانیزم‌های موثر بر این دو پدیده را مورد تحلیل قرار داده و ارتباط آن با پدیده‌های ترک‌خوردگی و تاب خوردگی را با توجه به اعمال این مواد شناسایی نمودند.

در سال ۲۰۱۲، Kropp و Cramer [۱۲] در یک مطالعه آزمایشگاهی تاثیر نوعی از مواد عمل‌آوری کننده قوی را بر روی کف های بتنی گزارش نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که انتخاب صحیح مواد عمل‌آوری تاثیر به سزایی در افزایش مقاومت روسازی بتنی در مقابل پوسته شدگی و کاهش تخلخل نزدیک به سطح بتن می‌گردد.

در این مقاله اثر استفاده از یک نوع ماده افزودنی شیمیایی ترکیبی با خواص همزمان عمل‌آوری کننده، سخت کننده و بهبود دهنده مقاومت سایشی کف‌های بتنی در یک برنامه آزمایشگاهی مورد بررسی قرار خواهد گرفت که شامل آزمون‌های مکانیکی (مقاومت فشاری و مقاومت سایشی) و دوام (جذب آب، نفوذپذیری تحت فشار آب) می‌باشد.

۲- نحوه ساخت و آماده‌سازی آزمون‌ها

۲-۲- مصالح مصرفی

سیمان

کلیه نمونه‌ها با سیمان نوع ۲ منطبق با ملزومات استاندارد ۳۸۹ ایران [۱۳] ارائه شده است.

۲-۳- ماده عمل‌آوری ویژه

ماده مذکور نوعی ماده پوشش صنعتی مقاوم کننده در برابر سایش می‌باشد که همزمان خاصیت عمل‌آوری را نیز دارا می‌باشد. این نوع ماده بر پایه لیتیوم پلی سیلیکات می‌باشد. این نوع ماده قابلیت واکنش با کلسیم آزاد سطحی بتن در محدوده نفوذ ۷ میلیمتر بر روی سطح خارجی رویه بتن دارد.

۲-۴- مصالح سنگی

سنگدانه‌های مورد استفاده جهت ساخت آزمون‌های بتنی شامل سنگدانه‌های شکسته ۵-۰/۲ میلی‌متر، ۸-۵ میلی‌متر و ۱۶-۸ میلی‌متر می‌باشد و مطابق با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ [۱۴] بوده است.

۲-۵- آب

آب مورد مصرف در ساخت مخلوط‌ها از آب شرب شهر تهران تأمین شد.

۲-۶- طرح مخلوط

طرح مخلوط بتن‌های شاهد و آزمایشی، بر اساس مقدار معمول سیمان مصرفی و جهت دستیابی به یک بتن با خواص معمولی انتخاب شد. در جدول ۱ مشخصات مخلوط بتن ارائه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات طرح مخلوط بتن شاهد و آزمایشی جهت اعمال ماده پوشش صنعتی مقاوم کننده در برابر سایش

سیمان (kg/m ³)	سنگدانه ۵-۰/۲ mm (kg/m ³)	سنگدانه ۸-۵ mm (kg/m ³)	سنگدانه ۱۶-۸ mm (kg/m ³)	w/c
۳۸۵	۷۰۰	۶۶۰	۷۲۰	۰/۴

۳- نحوه اعمال ماده و شرایط عمل آوری و نگهداری نمونه‌های شاهد و آزمایشی

سه سری نمونه شاهد به منظور مقایسه با یک سری نمونه آزمایشی که ماده عمل آوری ویژه بر روی آن اعمال گردیده به شرح ذیل در نظر گرفته شد:

- سری اول نمونه‌های شاهد: در داخل حوضچه آب با عمل آوری در شرایط استاندارد
- سری دوم نمونه‌های شاهد: در محیط آزمایشگاهی با دمای متوسط ۲۷ درجه سانتیگراد و رطوبت هوای ۴۰ درصد
- سری سوم نمونه‌های شاهد: در محیط آزاد با دمای متوسط روزانه ۳۷ درجه سانتیگراد و در معرض تابش نور خورشید
- سری نمونه‌های آزمایشی: در محیط آزاد با دمای متوسط روزانه ۳۷ درجه سانتیگراد و در معرض تابش نور خورشید

کلیه نمونه‌های شاهد و آزمایشی به مدت یک روز داخل قالب‌ها نگهداری شدند. بر سطح رویی نمونه‌های آزمایشی پس از ریختن بتن داخل قالب‌ها، ماده عمل آوری اعمال گردید. پس از خارج کردن نمونه‌ها از قالب، سایر وجوه نمونه‌های آزمایشی نیز ماده عمل آوری اعمال شد. ماده عمل آوری توسط اسپری و با مقداری که بتوان با هر لیتر از ماده حدود ۹/۸ مترمربع را پوشش داد اعمال گردید. سپس آزمون‌ها در زمان مقرر بر روی نمونه‌های شاهد و آزمایشی انجام گرفت.

۴- نتایج آزمون‌ها

۴-۱- تعیین مقاومت فشاری

اندازه‌گیری مقاومت فشاری بر اساس استاندارد EN 12390-3 [۱۵] در سنین ۱، ۷ و ۲۸ روزه انجام گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است که جهت آزمون مقاومت فشاری مکعب‌هایی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ mm تهیه و مورد آزمایش قرار گرفتند. همچنین مطابق این استاندارد نرخ افزایش تنش در حدود $(0.5 \pm 0.2) \text{ N/mm}^2$ در ثانیه می‌باشد.

جدول ۲- نتایج مقاومت فشاری

مقاومت فشاری (N/mm^2)			مشخصه نمونه	
۲۸ روزه	۷ روزه	۱ روزه		
۵۷	۴۵	۱۷	CS	شاهد ۱ (عمل آوری در شرایط استاندارد)
۴۴	۳۴	۱۳	CL	شاهد ۲ (نگهداری در محیط آزمایشگاه)
۲۱	۱۹	۷	CA	شاهد ۳ (نگهداری در محیط آزاد)
۵۲	۴۳	۱۵	TLP	آزمایشی (با اعمال ماده عمل آوری ویژه)

۴-۲- تعیین جذب آب

جذب آب نمونه‌ها مطابق استاندارد ASTM C642 [۱۶] اندازه‌گیری شد (جدول ۳). آزمون‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ تا ۱۱۵ درجه سلسیوس در آون خشک می‌شوند و سپس توزین می‌گردند. سپس نمونه‌ها به مدت حداقل ۴۸ ساعت در آب با دمای حدود ۲۱ درجه سلسیوس به صورت مغروق نگهداری می‌شوند تا به وزن ثابت برسند. نگهداری در شرایط مغروق تا زمانیکه وزن نمونه‌ها در دو توزین متوالی به فاصله ۲۴ ساعت کمتر از ۰/۵ درصد نشود، باید ادامه یابد. مقدار جذب آب نمونه‌ها از تفاضل وزن در حال اشباع با سطح خشک از وزن خشک نمونه تقسیم بر وزن نمونه محاسبه می‌شود.

جدول ۳- نتایج آزمون تعیین جذب آب مطابق استاندارد ASTM C642 بر روی نمونه‌های شاهد و آزمایشی

میانگین جذب آب ۲۴ ساعته (درصد)	مشخصه نمونه	
۲/۸	CS	شاهد ۱ (عمل‌آوری در شرایط استاندارد)
۴/۵	CL	شاهد ۲ (نگهداری در محیط آزمایشگاه)
۸/۷	CA	شاهد ۳ (نگهداری در محیط آزاد)
۳/۲	TLP	آزمایشی (با اعمال ماده عمل‌آوری ویژه)

۳-۴- تعیین نفوذپذیری تحت فشار آب

آزمون نفوذپذیری تحت فشار آب مطابق با استاندارد EN 12390-part 8 [۱۷] بر روی نمونه‌های آزمایشی و شاهد انجام گرفت. اصول این آزمایش بدین صورت است که سطحی از بتن سخت‌شده (سن نمونه‌ها حداقل باید ۲۸ روز باشد) به مدت (2 ± 0.72) hr تحت فشار (50 ± 0.5) kpa قرار می‌گیرد. سپس نمونه شکسته شده و حداکثر عمق نفوذ آب اندازه‌گیری می‌گردد. نتایج آزمایش بر روی نمونه‌های ۲۸ روزه طبق جدول ۴ ارائه می‌گردد.

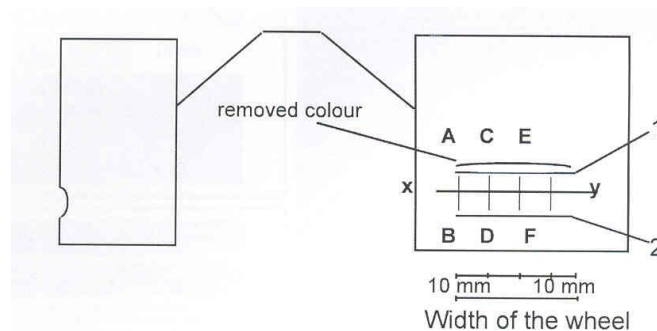
جدول ۴- نتایج میزان نفوذپذیری تحت فشار آب

رده‌بندی بتن‌ها از لحاظ مقدار نفوذپذیری تحت فشار آب	مقدار عمق نفوذ آب تحت فشار (mm)		مشخصه نمونه	
	میانگین	حداکثر		
کمتر از ۳۰ میلیمتر-----کم	۱۸	۲۲	CS	شاهد ۱ (عمل‌آوری در شرایط استاندارد)
بین ۳۰ تا ۶۰ میلیمتر-----متوسط	۲۶	۲۹	CL	شاهد ۲ (نگهداری در محیط آزمایشگاه)
بیشتر از ۶۰ میلیمتر-----زیاد	۴۱	۴۷	CA	شاهد ۳ (نگهداری در محیط آزاد)
	۲۰	۲۳	TLP	آزمایشی (با اعمال ماده عمل‌آوری ویژه)

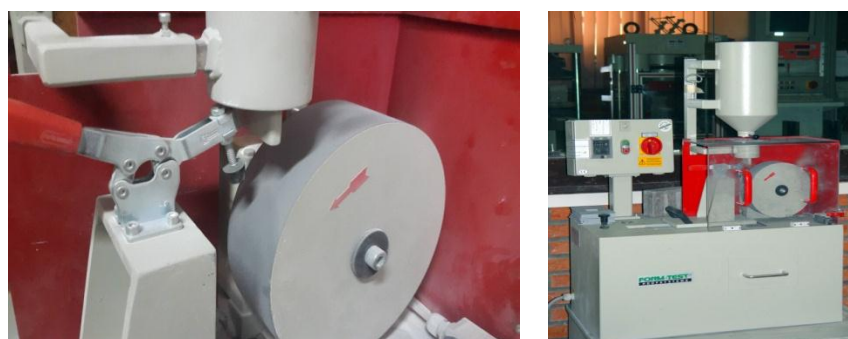
۴-۴- تعیین مقاومت سایشی طبق استاندارد EN 1338

بر اساس استاندارد EN 1338 [۱۸] نمونه‌های در نظر گرفته شده برای تعیین مقاومت سایشی، نمونه‌های بتنی مکعبی $8 \times 10 \times 15$ سانتیمتر می‌باشد. آزمایش سایش طبق استاندارد EN 1338 از طریق ساییدن سطح رویی یک قطعه بتنی توسط یک جسم زبر فولادی به همراه یک ماده ساینده، تحت شرایط استاندارد انجام می‌شود. دستگاه دارای یک چرخ فولادی (Fe 690) طبق استاندارد EN 10025 [۱۹] می‌باشد که قطر آن ۲۰ سانتیمتر و عرض آن ۷ سانتیمتر است.

دستگاه هنگامی کالیبره است که چرخ ساینده تحت اثر نیروی فشاری که توسط وزنه‌ای که به آن متصل است، بتواند در تماس با سطح نمونه مرجع (جزء ملحقات دستگاه است) ۷۵ دور در دقیقه بچرخد. نمونه مورد نظر باید کاملاً تمیز، کاملاً خشک باشد (لذا لازم است قبل از انجام آزمایش، توسط برس سطح نمونه کاملاً تمیز شود). توسط یک مداد و یا خط کش محدوده دو طرف بالا و پایین شیار ایجاد شده در اثر سایش چرخ گردنده کاملاً مشخص می‌گردد. (L1, L2). سپس سه خط بر یک محور افقی که در وسط شیار ایجاد شده رسم شده، بطور عمودی مشخص نمایند (یکی کاملاً در وسط و دو تای دیگر به فاصله ۱۰ میلیمتر از هر دو انتهای شیار). ماکزیم مقدار این خطوط (AB, CD, EF) با دقت ± 0.5 میلیمتر بعنوان میزان سایش گزارش می‌گردد (شکل ۱ و ۲). در صورتیکه شیار ایجاد شده چهار گوش نباشد (اختلافی بیش از ۱/۵ میلیمتر بین دو عرض انتهایی شیار موجود باشد) نتایج قابل قبول نیست و آزمایش باید مجدداً انجام گیرد.



شکل ۱- نحوه قرائت میزان سایش طبق استاندارد EN 1338 (Appendix A)



شکل ۲- دستگاه تعیین مقاومت سایشی طبق استاندارد EN 1338 (Appendix A) و نمایی از چرخ ساینده آن

۴-۵- تعیین مقاومت سایشی طبق استاندارد ASTM C779

برای تعیین مقاومت سایشی نمونه‌ها، از روش استاندارد ASTM C779 [۲۰]، (روش A: آزمون دیسک چرخان) استفاده شد. در این روش، مقاومت سایشی سطوح افقی بتنی اندازه‌گیری می‌شود. ابعاد نمونه‌های بتنی جهت انجام آزمون، دارای ابعاد $100 \times 300 \times 30$ میلی‌متر است. در روش آزمون مذکور، شبیه‌سازی شرایط سایش انجام شده است و برای تخمین سایش ناشی از تردد بارهای ترافیکی مناسب می‌باشد.

اساس کار دستگاه دیسک چرخان بر پایه ایجاد سایش، به کمک سه عدد دیسک به قطر ۶۰ میلی‌متر می‌باشد. هر کدام از این دیسک‌ها، توسط یک محور که عمود بر سطح دیسک است به موتور دستگاه وصل شده و در نتیجه می‌توانند به دور محور خود بچرخند. هر سه دیسک، علاوه بر حرکت دورانی به دور محور خود، حول محور دستگاه نیز دوران می‌نمایند. قطر داخلی مسیر دوران ۱۵۵ میلی‌متر و قطر خارجی آن ۲۷۵ میلی‌متر است. شیارهای روی دیسک به صورت ردیف‌های عمود بر هم بوده و عمق آنها ۵ میلی‌متر و عرض آنها ۶ میلی‌متر است. دیسک‌ها با سرعت ۱۲ دور در دقیقه، حول محور دستگاه و با سرعت ۲۸۰ دور در دقیقه، حول محور خود می‌چرخند. بار وارده بر روی هر کدام از دیسک‌ها ۲۲ نیوتن است (شکل ۳).

در حین چرخش دیسک‌ها، مواد ساینده سیلکون کارباید (Silicon Carbide) با دانه‌های شماره ۶۰، از مخزن دستگاه از یک سوراخ به قطر ۳ میلی‌متر بر روی سطح نمونه ریخته می‌شود. مواد سایشی باید با نرخ ۴ تا ۶ گرم در دقیقه بر روی سطح نمونه ریخته شود. ابتدا دستگاه دیسک چرخان، به مدت ۵ دقیقه روشن می‌شود. پس از گذشت ۵ دقیقه، به کمک میکرومتر قرائت اولیه صورت می‌گیرد و سپس بعد از مدت ۳۰ دقیقه از شروع سایش، قرائت نهایی انجام می‌شود. برای کنترل نتیجه دقیق‌تر، می‌توان در ۱۵ دقیقه نیز قرائت‌ها را انجام داد. آزمون، می‌بایستی برای ۳ نمونه از هر طرح مخلوط انجام شود.

دستگاه اندازه‌گیری عمق سایش، شامل یک میله (چهارسو) فولادی به پهنای ۲۵ میلی‌متر و به طول ۳۰۰ میلی‌متر است که توسط پایه‌هایی بر روی نمونه قرار می‌گیرد. در روی میله فولادی یک شیار وجود دارد که در آن ده عدد سوراخ به قطر ۳ میلی‌متر و به فاصله ۶ میلی‌متر از یکدیگر ایجاد شده است. برای تعیین عمق سایش، ابتدا توسط یک میکرومتر به عمق مؤثر ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر و دقت ۰/۰۲۵ میلی‌متر، قرائت اولیه صورت گرفته و سپس در پایان آزمون و بعد از سایش نمونه‌ها نیز مجدداً قرائت انجام می‌شود و از تفاضل قرائت اولیه از قرائت ثانویه، عمق سایش تعیین می‌گردد. نحوه قرائت عمق سایش بر روی نمونه‌ها بعد از عمل سایش، در شکل ۳، نشان داده شده است. نتایج آزمایش تعیین مقاومت سایشی در سن ۲۸ روز برای نمونه‌های شاهد و آزمایشی طبق جداول ۵ و ۶ ارائه می‌گردد.



شکل ۳- دستگاه آزمایش ASTM C779 (دیسک چرخان) و نحوه قرائت عمق سایش بعد از انجام آزمون مطابق ASTM C779

جدول ۵- نتایج آزمون تعیین عرض سایش مطابق استاندارد EN 1338 بر روی نمونه‌های شاهد و آزمایشی

عرض سایش (میلی‌متر)		مقدار سایش	
میانگین	حداکثر	نمونه	
۲۲	۲۴	CS	شاهد ۱ (عمل‌آوری در شرایط استاندارد)
۲۴	۲۶	CL	شاهد ۲ (نگهداری در محیط آزمایشگاه)
۲۶	۲۹	CA	شاهد ۳ (نگهداری در محیط آزاد)
۲۰	۲۲	TLP	آزمایشی (با اعمال ماده عمل‌آوری ویژه)

جدول ۶- نتایج آزمون تعیین عمق سایش مطابق استاندارد ASTM C779 بر روی نمونه‌های شاهد و آزمایشی

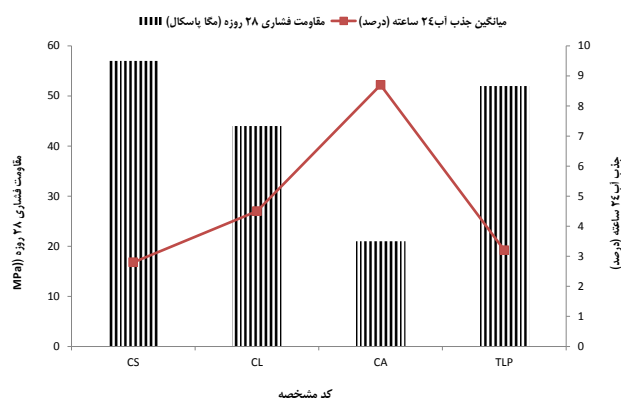
میانگین عمق سایش (میلی‌متر)		مقاومت سایشی	
بعد از ۳۰ دقیقه	بعد از ۱۵ دقیقه	نمونه	
۱/۶۶	۰/۸۲	CS	شاهد ۱ (عمل‌آوری در شرایط استاندارد)
۱/۹۵	۱/۱۷	CL	شاهد ۲ (نگهداری در محیط آزمایشگاه)
۲/۰۹	۱/۳۲	CA	شاهد ۳ (نگهداری در محیط آزاد)
۱/۲۷	۰/۶۳	TLP	آزمایشی (با اعمال ماده عمل‌آوری ویژه)

۵- تحلیل نتایج

در این تحقیق عملکرد استفاده از نوعی ماده عمل‌آوری کننده ویژه بر پایه لیتیوم پلی سیلیکات با اعمال آن بر روی نمونه بتنی ساخته شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. بر این اساس، آزمون‌های تعیین مقاومت فشاری، جذب آب، نفوذپذیری تحت فشار آب و مقاومت سایشی بر روی نمونه‌های شاهد و آزمایشی انجام گرفت. آماده‌سازی آزمون‌ها مطابق با دستورالعمل‌های اجرایی تولیدکننده صورت گرفت.

با توجه به نتایج ارائه شده مقاومت فشاری نمونه‌های نگهداری شده در محیط آزاد بیش از ۶۰٪ و در محیط آزمایشگاه بیش از ۲۰ درصد کاهش مقاومت داشته‌اند. در صورتیکه در نمونه‌های آزمایشی، با اعمال ماده عمل‌آوری مقدار کاهش مقاومت فشاری کمتر از ۱۰ درصد بوده است.

با توجه به نتایج ارائه شده، جذب آب نمونه‌های نگهداری شده در محیط آزاد، بیش از ۳ برابر افزایش یافته است و این در حالیست که در نمونه‌های با ماده عمل‌آوری، مقدار افزایش جذب آب، تنها در حدود ۱۴ درصد بوده است. در شکل ۴، ارتباط بین نتایج مقاومت فشاری و جذب آب نمونه‌ها ارائه شده است.



شکل ۴- ارتباط بین مقاومت فشاری و جذب آب

نتایج آزمون نفوذپذیری تحت فشار آب نشان داد که در صورت استفاده از مواد عمل‌آوری ویژه نسبت به شرایط عمل‌آوری استاندارد عمق نفوذ پذیری آب افت حدود ۱۰ درصد را خواهد داشت که این موضوع اگر نمونه در شرایط محیط آزمایشگاه و یا محیط آزاد نگهداری می‌شود، دچار افت نفوذپذیری به ترتیب تا حدود ۴۰٪ و حدود ۱/۳ برابر را تجربه می‌نماید. در شکل ۵، رابطه بین مقاومت فشاری و عمق نفوذپذیری تحت فشار آب نمونه‌ها نشان داده شده است.



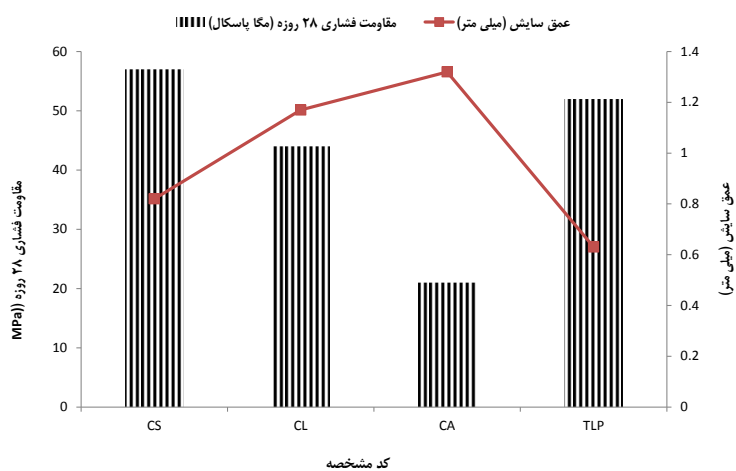
شکل ۵- ارتباط بین مقاومت فشاری و عمق نفوذ تحت فشار آب

نتایج آزمون تعیین مقاومت سایش نشان داد که در صورت استفاده از مواد عمل‌آوری ویژه نسبت به شرایط عمل‌آوری استاندارد بهبود مقاومت سایشی را در نمونه‌ها تا حدود ۸ درصد را شاهد خواهیم بود که با توجه به نتایج این شاخص در هر دو حالت شرایط نگهداری در محیط آزمایشگاه و یا محیط آزاد دچار افت می‌باشد. نگهداری در شرایط آزمایشگاهی و محیط آزاد به ترتیب موجب کاهش مقاومت سایشی به مقدار ۸ و ۲۱ درصد شده است. همچنین در خصوص مقاومت سایشی بر اساس استاندارد ASTM C779، استفاده از مواد عمل‌آوری باعث افزایش بیش از ۲۰ درصد گردیده است.

همچنین نتایج آزمون تعیین عمق سایش بعد از ۱۵ دقیقه و ۳۰ دقیقه نیز نشان داد که حدود ۲۳ بهبود در مقاومت عمق سایش را با اعمال مواد عمل‌آوری ویژه بهبود داده است. این شاخص هر دو حالت شرایط نگهداری در محیط آزمایشگاه به ترتیب افت بسیار زیادی در محدوده ۲۰ تا ۶۰ درصد را نشان داد. همچنین در شکل ۶، ارتباط نتایج مقاومت سایشی و مقاومت فشاری ارائه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد با استفاده از این مواد عمل‌آوری می‌تواند با حفظ شرایط مقاومت فشاری، شاخص‌های دوام بتن را از نظر جذب آب، نفوذپذیری، و شاخص‌های مقاومت سایشی بهبود داد. علت عملکرد این ماده، خاصیت آب‌گریزی آن و جلوگیری از نزدیک شدن آب داخل بتن به سطح و تبخیر آن می‌باشد و علاوه بر آن با واکنش با آهک آزاد در سطح بتن موجب بهبود خواص سایشی بتن نیز گردیده است.



(الف)



(ب)

شکل ۶- ارتباط بین مقاومت فشاری و الف- عرض سایدگی و ب- عمق سایش

۶- نتیجه گیری

در محدوده مشخصات فنی مواد اولیه و روش تحقیق مورد استفاده در این مطالعه، موارد ذیل قابل نتیجه گیری است:

- جذب آب نمونه‌های نگهداری شده در محیط آزاد در مقایسه با نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط استاندارد، بیش از ۳ برابر افزایش یافته است و این در حالیست که در نمونه‌های با اعمال ماده عمل‌آوری، مقدار افزایش جذب آب، تنها در حدود ۱۴ درصد می‌باشد.
- در صورت استفاده از مواد عمل‌آوری مورد بررسی در این مطالعه، نسبت به شرایط عمل‌آوری استاندارد، عمق نفوذ پذیری آب به مقدار ۱۰ درصد افزایش می‌یابد.
- در نمونه‌های نگهداری شده در شرایط محیط آزمایشگاه و محیط آزاد، نفوذپذیری به ترتیب تا حدود ۴۰ درصد و حدود ۱/۳ برابر دچار افزایش می‌یابد.
- در صورت استفاده از مواد عمل‌آوری نسبت به شرایط عمل‌آوری استاندارد بهبود مقاومت سایشی را در نمونه‌ها تا حدود ۸ درصد را شاهد خواهیم بود.
- نگهداری در شرایط آزمایشگاهی و محیط آزاد به ترتیب موجب کاهش مقاومت سایشی به مقدار ۸ و ۲۱ درصد نسبت به نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط استاندارد شده است. همچنین در خصوص مقاومت سایشی بر اساس استاندارد ASTM C779، استفاده از مواد عمل‌آوری باعث افزایش بیش از ۲۰ درصد گردیده است.

۷- قدردانی

این تحقیق در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و با حمایت مادی شرکت کلینیک ساختمانی ایران انجام گرفته است که بدین ترتیب از زحمات آنها تقدیر و قدردانی می‌شود.

۸- مراجع

- [1]. ACI 308R-01 (2001), "Guide to Curing Concrete, American Concrete Institute", ACI Manual of Concrete Practice.
- [2]. عسکری نژاد آ.، رئیس قاسمی ا. (۱۳۹۶)، "بررسی تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر مقاومت سایشی بتن غلتکی روسازی"، مهندسی ساختمان و علوم مسکن، دوره یازدهم، شماره ۲۰، ۶۹-۷۲.
- [3]. باقری ع.، محمودیان م.، فخری م (۱۳۹۵)، "تأثیر عمل‌آوری بر خواص بتن‌های غلتکی روسازی راه، با و بدون دوده سیلیس"، پژوهشنامه حمل و نقل: پاییز ۱۳۸۵، دوره ۳، شماره ۳، ۱۴۷-۱۶۲.
- [4]. استاندارد ملی ایران شماره ۸۲۸۸، (۱۳۹۴) "بتن-مواد مایع غشاء ساز جهت عمل‌آوری بتن-ویژگیها و روشهای آزمون"، سازمان ملی استاندارد ایران.
- [5]. ASTM C 1315, (2011), "Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete", United States.
- [6]. استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۲۲، (۱۳۹۳)، بتن-اتلاف آب(از یک آزمون ملات)از میان مواد مایع غشاساز عمل‌آورنده بتن-روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران.
- [7]. استاندارد ملی ایران شماره ۸۲۸۸، (۱۳۹۴)، بتن-مواد مایع غشاء ساز جهت عمل‌آوری بتن-ویژگیها و روشهای آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران.
- [8]. Kholia N. R., Vyas B. A., Tank T. G. (2013) "Effect on concrete by different curing method and efficiency of curing compounds – a review", *International Journal of Advanced Engineering Technology*, IV(II) pp. 57-60
- [9]. Kevern, J. T., Schaefer, V. R., and Wang, K., (2009) "The Effect of Curing Regime on Pervious Concrete Abrasion Resistance," *Journal of Testing and Evaluation*, 37(4), pp. 337-342,

- [10]. Gawatre , D. W., Sawant K., Mule R., Waydande, N., Randeve D., Shirsath T. (2017) "Effectiveness of Curing Compound on Concrete", *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 14(3), PP 73-76
- [11]. Nassif, H., Suksawang, N., Mohammed, (2003). M. "Effect of curing methods on early-age and drying shrinkage of high-performance concrete". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1834, 48–58
- [12]. Kropp R., Cramer S.M., (2012), "Laboratory Study of High Performance Curing Compounds for Concrete Pavement – Phase I", DOT Report, F 1700.7 (8-72).
- [۱۳]. استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹. (۱۳۷۸)، ویژگیهای سیمان پرتلند، سازمان ملی استاندارد ایران.
- [۱۴]. استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲. (۱۳۷۸)، سنگدانه های بتن - ویژگی ها، سازمان ملی استاندارد ایران.
- [15]. BS EN 12390-3, (2009), "Testing hardened concrete. Compressive strength of test specimens", British Standards, UK.
- [16]. ASTM C642 (2013), "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete ", United States.
- [17].
- [18]. BS EN 12390-8, (2009), "Testing hardened concrete. Depth of penetration of water under pressure", British Standards, UK.
- [19]. BS EN 1338, (2003), "Concrete paving blocks. Requirements and test methods", British Standards, UK.
- [20]. BS EN 10025-1, (2004), "Hot rolled products of structural steels. General technical delivery conditions", British Standards, UK.
- [21]. ASTM C779 / C779M, (2012), " Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces", United States.