10th.International Conference on Researches in Science & Engineering
& 7th.International Congress on Civil, Architecture and Urbanism in Asia
29 January. 2026, Kasem Bundit University, Bangkok, Thailand

بررسی اثر پوشش لایه ای پلی ونیل الکل و پلی‌اتیلن‌اکسید بر هیدراسیون سطحی گلوکونات سدیم بر روی بتن با کاربری نمای گرافیکی

فتاح پیرویان - مهدی پیرویان – کامبیز عالمپور
۱- رئیس هیات مدیره شرکت مهندسی سازان ، info@mohandesisazan.com
۲- مدیرعامل شرکت مهندسی سازان، info@mohandesisazan.com
۳- مدیر واحد تحقیق و توسعه شرکت شیراز اسکان ؛ alempour@yhoo.com

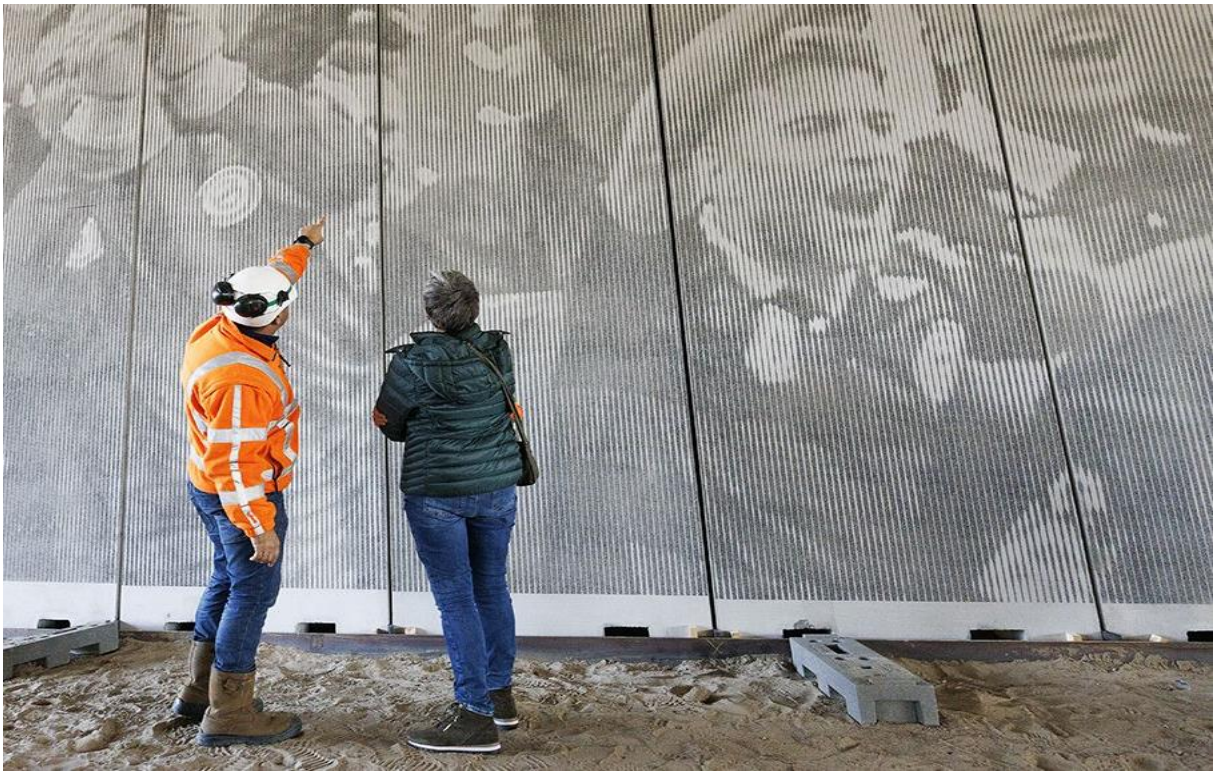
چکیده

فناوری بتن گرافیکی از فناوریهای مهم و ساده ای است که میتواند نمای بیرونی ساختمانهای بتنی را متحول ساخته و با هزینه بسیار کم سطح نقش دار ماندگاری را ایجاد نماید . اساس این فناوری بر استفاده از پوشش‌های حاوی ریتاردر (Surface Retarder) استوار است که به‌صورت لایه‌ای نازک بر سطح قالب یا فیلم مخصوص چاپ می‌شوند. ریتاردرها ترکیبات شیمیایی کندکننده هیدراسیون هستند که در نواحی تماس، فرآیند سخت شدن سطحی بتن را به تأخیر می‌اندازند و اجازه می‌دهند پس از بازکردن قالب، این لایه سطحی شسته شود و سنگدانه‌های زیرین نمایان گردند . در این مقاله به بررسی اثرات پوشش لایه ای پلی ونیل الکل و پلی‌اتیلن‌اکسید بر هیدراسیون سطحی گلوکونات سدیم بر روی بتن پرداخته شده است . نتایج حاصل این پژوهش در خصوص قناوری بتن گرافیکی و دستیابی به سطوح بتنی مناسب با طرحهای بروتال حائز اهمیت می باشد .

واژه‌های کلیدی: بتن گرافیکی ، گلوکونات ، ریتاردر، پلی ونیل الکل ، پلی‌اتیلن‌اکسید

۱- مقدمه

فناوری بتن گرافیکی (Graphic Concrete) روشی نوین برای ایجاد نماهای معماری و هنری بر سطح بتن است که در آن تصاویر، الگوها یا بافت‌های خاص به‌صورت دائمی در سطح قطعات پیش‌ساخته ایجاد می‌شوند. در سال‌های اخیر توسعه‌ی گرافیک کانکریت (Graphic Concrete) بعد تازه‌ای به این ماده‌ی سنتی بخشیده است. با این فناوری، می‌توان طرح‌ها، الگوها و حتی تصاویر را روی سطح بتن حکاکی یا چاپ کرد. این امر باعث شده است بتن نه تنها در پروژه‌های صنعتی و سازه‌ای، بلکه در طراحی‌های معماری و زیباسازی شهری نیز جایگاه ویژه‌ای پیدا کند. نمای ساختمان‌ها، دیوارهای شهری و المان‌های شهری اکنون با گرافیک کانکریت طراحی می‌شوند تا هم استحکام و دوام بالا داشته باشند و هم ارزش زیبایی‌شناختی ایجاد کنند.امروزه کشورهایی مانند فنلاند، ژاپن و امارات متحده عربی پیشگام در استفاده از گرافیک کانکریت هستند و این فناوری را برای خلق نماهای منحصربه‌فرد به کار گرفته‌اند(شکل ۱). این رویکرد، پیوندی میان هنر و مهندسی ایجاد کرده و بتن را از یک ماده‌ی ساده‌ی ساختمانی به بستری برای نوآوری‌های خلاقانه بدل کرده است.در مجموع، بتن با ترکیب سه ویژگی مقاومت بالا، قیمت اقتصادی و امکان توسعه‌ی گرافیکی، نه‌تنها جایگاه خود را در صنعت ساخت‌وساز حفظ کرده، بلکه افق‌های تازه‌ای را برای معماری پایدار، زیباسازی شهری و توسعه‌ی اقتصادی در جهان گشوده است.



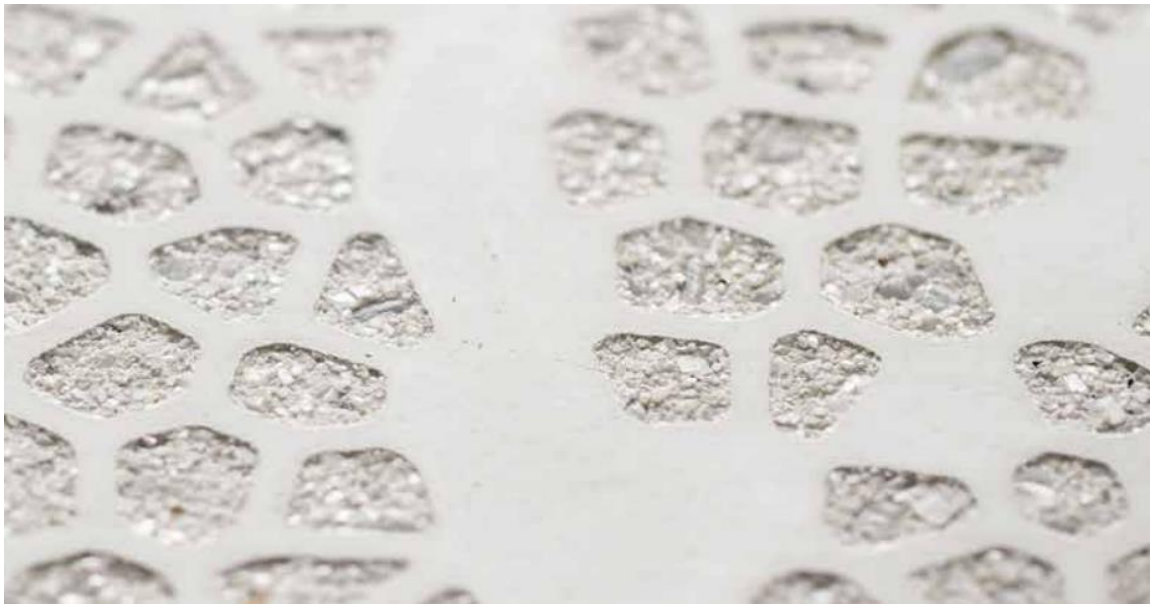
شکل ۱- استفاده از نمای بتن گرافیکی یک فناوری خاص برای ایجاد تصاویر منحصر بفرد می باشد .

اساس این فناوری بر استفاده از پوشش‌های حاوی ریتاردر (Surface Retarder) استوار است که به‌صورت لایه‌ای نازک بر سطح قالب یا فیلم مخصوص چاپ می‌شوند. ریتاردرها ترکیبات شیمیایی کندکننده هیدراسیون هستند که در نواحی تماس، فرآیند سخت شدن سطحی بتن را به تأخیر می‌اندازند و اجازه می‌دهند پس از بازکردن قالب، این لایه سطحی شسته شود و سنگدانه‌های زیرین نمایان گردند [1] .به این ترتیب، تضادی بین بخش‌های شسته‌شده و بخش‌های بدون ریتاردر شکل می‌گیرد که تصویر یا طرح موردنظر را پدیدارمی‌سازد.یکی از مزیت‌های کلیدی این روش، پایداری طرح و دوام سطح در مقایسه با پوشش‌های رنگی یا چاپی متداول است. از آن‌جا که طرح به‌صورت فیزیکی در سطح بتن حک می‌شود و به عمق چند میلی‌متر نفوذ دارد، در برابر عوامل محیطی، نور خورشید و سایش بسیار مقاوم است[2]. علاوه بر این، Graphic Concreteامکان ایجاد طیف وسیعی از نقش‌ها، از طرح‌های هندسی ساده تا تصاویر پیچیده و فوتوگرافیک را فراهم می‌کند، به‌طوری که معماران می‌توانند هویت بصری منحصر به فردی برای نماهای بتنی ایجاد نمایند.مطالعات نشان داده‌اند که کیفیت نهایی سطح تحت تأثیر عوامل متعددی است از جمله :ترکیب شیمیایی ریتاردر، روش اعمال آن، زمان تماس بتن تازه با لایه ریتاردر، و عملیات شست‌وشوی سطحی پس از گیرش اولیه [3] .استفاده صحیح از این فناوری مستلزم کنترل دقیق فرآیند عمل‌آوری بتن و انتخاب طرح اختلاط مناسب است؛ به ویژه استفاده از سنگدانه‌های رنگی یا بافت‌دار می‌تواند جلوه‌های بصری نما را تقویت نماید[۴]. کاربردهای اصلی این فناوری در قطعات پیش‌ساخته بتنی نما شامل پانل‌های ساختمانی، دیوارهای معماری، المان‌های شهری و سازه‌های عمومی است. این روش ضمن افزایش زیبایی، باعث ارتقای ارزش افزوده قطعات پیش‌ساخته نیز می‌شود. در مقایسه با پوشش‌های سطحی مانند رنگ و سرامیک، Graphic Concreteبا استفاده از ریتاردرها روشی اقتصادی، بادوام و زیست‌سازگار محسوب می‌شود، زیرا هیچ لایه خارجی جداشدنی وجود ندارد و سطح بتن

به‌طور طبیعی با محیط سازگار باقی می‌ماند. در این تحقیق وضعیت دو لایه پوششی حلال در آب که برروی گلوکونات سدیم (ریتادر اصلی) پوشش داده میشوند مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است [5] .

۲- تشریح فناوری شکل گیری گرافیک بر روی بتن

در زمانی که از گلوکونات یا سایر ریتاردرها (مواد کندگیرکننده بتن) در سطح قالب استفاده می‌شود، مکانیزم اثر آن‌ها به‌گونه‌ای است که تنها لایه‌ای بسیار سطحی از بتن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مواد معمولاً ترکیبات آلی یا نمک‌های فلزی هستند که واکنش هیدراسیون سیمان را کند کرده یا موقتاً متوقف می‌سازند [6]. اساس کار به این صورت است که در تماس اولیه بتن تازه با سطح قالب آغشته به ریتاردر، روند تشکیل هیدرات‌های سیمانی در عمق کمتر از یک میلی‌متر مختل می‌شود [7]. در این لایه‌ی نازک، سیمان به‌طور کامل با آب واکنش نمی‌دهد و در نتیجه چسبندگی معمول بین خمیر سیمان و سنگدانه‌ها شکل نمی‌گیرد، در حالی که لایه‌های عمیق‌تر بتن هیدراسیون طبیعی خود را ادامه می‌دهند و مقاومت کامل می‌گیرند[8] .این تفاوت واکنش باعث می‌شود بعد از باز کردن قالب، سطح بتن دارای بخشی نرم‌تر یا سست‌تر باشد که به‌راحتی با برس یا شست‌وشو قابل جدا شدن است. در اثر این جدایش، دانه‌های سنگدانه نمایان می‌شوند و با توجه به شدت و الگوی توزیع ریتاردر، لکه‌ها یا طرح‌هایی با رنگ و بافت متفاوت پدید می‌آید[9] . به عبارت دیگر، ریتاردر مانند یک ماسک عمل می‌کند که تنها در نواحی خاصی مانع از سخت شدن سطح بتن می‌شود و همین امر امکان ایجاد نقوش یا تصاویر را بر روی بتن فراهم می‌آورد(شکل ۲).



شکل ۲- ایجاد نقوش یا تصاویر بر روی بتن با استفاده از ماسک ریتاردر بر روی سطح

گلوکونات به‌طور خاص، به دلیل خاصیت شیمیایی خود، به یون‌های کلسیم آزاد در سطح بتن متصل می‌شود و آن‌ها را در حالت محلول نگه می‌دارد. در نتیجه، واکنش کلسیم با سیلیکات‌های سیمان به تعویق می‌افتد[10] . این فرآیند محدود به

سطح است زیرا نفوذپذیری گلوکونات در بتن تازه بسیار اندک است و مولکول‌ها نمی‌توانند به عمق بیش از چند دهم میلی‌متر حرکت کنند[11]. به همین دلیل، تنها سطح بتن متأثر شده و عمق بتن دست‌نخورده باقی می‌ماند.از نظر بصری، این نواحی کندگیرشده، پس از پاک‌سازی، حالتی متفاوت از سایر بخش‌های بتن دارند؛ گاهی تیره‌تر دیده می‌شوند زیرا سنگدانه‌ها نمایان شده‌اند و گاهی روشن‌تر به نظر می‌آیند چون خمیر سیمان کمتر حضور دارد [12]. این کنتراست رنگی و بافتی همان چیزی است که به آن «اثر گرافیک کانکریت» گفته می‌شود. با استفاده از شابلون‌ها یا الگوهای چاپی، می‌توان ریتاردر را تنها در بخش‌های مشخصی از سطح قالب اعمال کرد. پس از بتن‌ریزی و باز کردن قالب، این بخش‌ها با الگوی مورد نظر برجسته یا متمایز می‌شوند و تصویری دائمی بر روی سطح بتن شکل می‌گیرد [13].این پدیده در اصل به‌دلیل محدود بودن میدان تأثیر ریتاردرهاست؛ اگر این مواد به عمق بیشتری نفوذ می‌کردند، مقاومت کلی بتن کاهش می‌یافت و دوام آن مختل می‌شد. اما چون تنها لایه‌ای بسیار سطحی (کمتر از یک میلی‌متر) تحت تأثیر قرار می‌گیرد، نه‌تنها مقاومت کلی بتن حفظ می‌شود، بلکه کیفیت زیبایی‌شناختی آن نیز افزایش می‌یابد[14]. بنابراین، می‌توان گفت کاربرد کنترل‌شده‌ی گلوکونات و دیگر کندگیرکننده‌ها یکی از تکنیک‌های نوین در صنعت بتن معماری است که امکان خلق نماهای گرافیکی و هنری را بدون نیاز به پوشش‌های اضافی یا رنگ فراهم کرده است[15].

۳- بررسی ساختار شیمیایی پلی‌وینیل الکل و پلی‌اتیلن اکسید

پلی‌وینیل الکل و پلی‌اتیلن اکسید هر دو مواد پوششی هستند که تاثیر ریتادر بر روی بتن را به تاخیر می اندازند و همین مسئله سبب میشود تا اثر ریتاردر بر روی بتن به تدریج عمل نماید و این مسئله از پخش شدن ریتاردر بر روی سطح بتن خودداری میکند (جدول ۱) . این مسئله به شدت در زمینه عدم خرابی نقش و طرحهای بوجود آمده با ریتاردر موثر می باشد . پلی‌وینیل الکل (Polyvinyl Alcohol – PVA) یک پلیمر سنتزی محلول در آب است که از هیدرولیز پلی‌وینیل استات به دست می‌آید. وجود گروه‌های هیدروکسیل در زنجیره پلیمری آن باعث ایجاد پیوند هیدروژنی گسترده با مولکول‌های آب شده و حلالیت مناسبی را فراهم می‌سازد. میزان حلالیت PVA وابسته به درجه هیدرولیز و وزن مولکولی آن است؛ به‌طور معمول نمونه‌های با هیدرولیز جزئی در دمای محیط به‌خوبی حل می‌شوند، در حالی‌که نمونه‌های با هیدرولیز کامل نیاز به دمای بالاتر (۸۰–۹۰ درجه سانتی‌گراد) دارند [16] .این پلیمر در طیف وسیعی از صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صنایع بسته‌بندی، فیلم‌های محلول در آب بر پایه PVA برای بسته‌بندی مواد شوینده و کودها به‌کار می‌روند. در داروسازی نیز به‌عنوان پوشش خوراکی قرص‌ها و کپسول‌ها مورد استفاده است. علاوه بر این، به دلیل خاصیت فیلم‌سازی و شفافیت بالا، در تولید چسب‌ها و پوشش‌های موقت صنعتی کاربرد دارد. همچنین در نساجی و کاغذسازی به‌عنوان عامل سایزینگ و استحکام‌دهنده و در حوزه زیست‌پزشکی برای ساخت هیدروژل‌های زیست‌سازگار و ماتریس‌های دارورسانی استفاده می‌شود [17].پلی‌اتیلن اکسید (Polyethylene Oxide – PEO)نیز از جمله پلیمرهای مهم محلول در آب است که در واقع شکل با وزن مولکولی بالا از پلی‌اتیلن گلیکول محسوب می‌شود. زنجیره خطی این پلیمر قابلیت بالایی در حل شدن در آب و بسیاری از حلال‌های قطبی دارد. میزان و سرعت حلالیت PEO به جرم مولکولی آن وابسته است؛ نمونه‌های با جرم مولکولی پایین به‌سرعت در آب سرد حل می‌شوند، اما نمونه‌های با جرم مولکولی بالا نیاز به زمان طولانی‌تر دارند و در نهایت محلول‌هایی با ویسکوزیته بالا ایجاد می‌کنند .این ویژگی سبب شده است که PEO کاربردهای گسترده‌ای در صنایع مختلف داشته باشد. در داروسازی از آن برای تولید سیستم‌های کنترل‌شده رهایش دارو و قرص‌های آهسته‌رهش استفاده می‌شود. در صنایع پزشکی، این پلیمر به دلیل

زیست‌سازگاری و توانایی تشکیل ژل در ساخت پوشش‌ها و حامل‌های دارویی به‌کار می‌رود. همچنین در صنایع نفت و حفاری به‌عنوان افزودنی افزایش‌دهنده ویسکوزیته سیالات و در صنایع غذایی و بسته‌بندی برای تهیه پوشش‌های محلول در آب کاربرد دارد. در سال‌های اخیر، PEOبه دلیل خواص رئولوژیکی و زیست‌سازگاری بالا در فناوری‌های نوینی مانند چاپ سه‌بعدی و مهندسی بافت نیز مورد توجه قرار گرفته است . به‌طور کلی می‌توان گفت هر دو پلیمر PVA و PEO از مهم‌ترین مواد در دسته پوشش‌های لایه‌ای محلول در آب هستند .PVA بیشتر در حوزه‌های صنعتی و بسته‌بندی و نیز در داروسازی به‌عنوان فیلم‌ساز و پوشش موقت استفاده می‌شود، در حالی‌که PEO به دلیل توانایی در ایجاد ویسکوزیته بالا، زیست‌سازگاری و قابلیت تشکیل ژل، در داروسازی، پزشکی و صنایع انرژی کاربردهای گسترده‌تری دارد.

جدول ۱- مقایسه خواص شیمیایی پلی‌وینیل الکل و پلی‌اتیلن اکسید

ویژگی‌ها	پلی‌اتیلن اکسید (PEO)	پلی‌وینیل الکل (PVA)
فرمول شیمیایی تکرارشونده	–[CH₂–CH₂–O]–	–[CH₂–CH(OH)]–
شکل ظاهری	پودر سفید یا پودر مومی	پودر یا گرانول سفید تا کرم
وزن مولکولی رایج	(خیلی بالا) g/mol تا ۵,۰۰۰,۰۰۰ 100,000	(قابل تنظیم) g/mol تا ۲۰۰,۰۰۰ 20,000
وضعیت فیزیکی در دمای اتاق	جامد، محلول شونده در آب	جامد، بی‌بو، محلول شونده در آب
حلالیت در آب	بسیار بالا (محلولیت عالی در آب سرد و گرم)	بالا (کاملاً محلول در آب داغ، محلولیت در آب سرد بسته به درجه هیدرولیز)
میزان حلالیت	آب (بسته به وزن مولکولی) g/100 mL تا حدود ۱۰–۲۰	آب (بسته به دما و درجه هیدرولیز) g/100 mL در حدود ۵–۴۰
نقطه ذوب / تخریب	°C (نرم شدن) و تجزیه بالای ۲۰۰ °C حدود ۶۵–۷۰	(تجزیه پیش از ذوب کامل) °C حدود ۲۰۰–۲۳۰
ویسکوزیته محلول آبی	بسیار بالا به دلیل وزن مولکولی زیاد	از کم تا بسیار بالا (قابل تنظیم با وزن مولکولی)
پایداری شیمیایی	پایدار، ولی در برابر اکسیدکننده‌ها حساس	نسبتاً پایدار، ولی حساس به اسید و قلیا قوی
کاربردهای اصلی	داروسازی، رهایش دارو، پوشش، ژل‌های بیولوژیکی، غلیظ‌کننده‌ها	چسب‌ها، فیلم‌های محلول در آب، داروسازی، پوشش‌های خوراکی
ویژگی خاص	توانایی ایجاد ویسکوزیته بالا حتی در غلظت کم	زیست‌تخریب‌پذیر و غیرسمی، قابلیت تشکیل فیلم

۴- روش آزمون

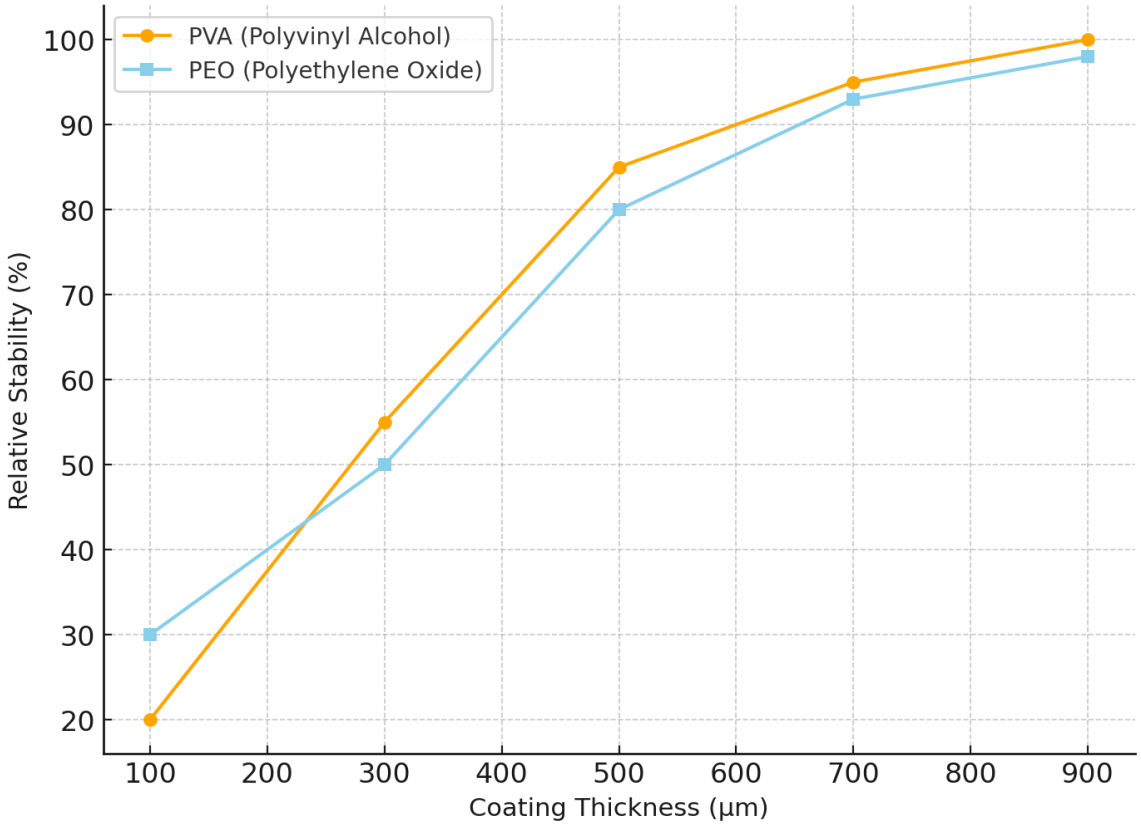
در این آزمایش اثر میزان پوشش سطحی پلی‌وینیل‌الکل (PVA) و پلی‌اتیلن‌اکسید (PEO) بر هیدراسیون سطحی گلوکونات سدیم در محیط قلیایی بتن با کاربری نمای گرافیکی مورد بررسی قرار گرفت(شکل ۳) . هدف اصلی پژوهش، ارزیابی پایداری و نقش ضخامت پوشش در کنترل آزادسازی تدریجی گلوکونات و اثر آن بر فرآیند هیدراسیون سیمان بود. بدین منظور، لایه‌های بسیار نازک از هر دو پلیمر با ضخامت کمتر از ۱۰۰ میکرون و نیز لایه‌های ضخیم‌تر تا حدود ۹۰۰ میکرون بر سطح نمونه‌ها اعمال گردید. کاغذ کرافت به عنوان لایه اصلی در نظر گرفته شد. کاغذ کرافت (Kraft Paper) یکی از پرکاربردترین انواع کاغذ در صنایع مختلف است.این کاغذ از sulfate pulp تولید می‌شود و به خاطر فرایند ویژه‌اش، مقاومت بسیار بالایی دارد.

رنگ اصلی کرافت معمولاً قهوه‌ای یا Natural Kraft است. ویژگی مهم آن استحکام بالا و مقاومت در برابر Tear و فشار است.گرماژ کاغذ تست ۱۵۰ GSM اندازه گیری گردید . کاغذ کرافت (Kraft Paper) به طور طبیعی خاصیت Water Absorptionدارد و می‌تواند رطوبت را به خود جذب کند.میزان جذب آب آن به گرماژ (GSM) و نوع فرآوری بستگی دارد و به علت ویژگیهای خاص در این آزمون از این کاغذها استفاده شده است .

شکل ۳- نمونه طرحها و نتایج طرح بتنی با استفاده از ریتاردر گلوکونات که با پوشش لایه ای از پلی‌وینیل‌الکل و پلی‌اتیلن‌اکسید پوشانده شدند .

۵- نتیجه گیری

نتایج اولیه نشان داد که در ضخامت‌های کمتر از ۱۰۰ میکرون، فیلم پوششی پلی‌وینیل‌الکل در محیط قلیایی بتن به سرعت تخریب می‌شود و عملاً نقش حفاظتی قابل توجهی بر روی گلوکونات ایفا نمی‌کند. این موضوع به دلیل حلالیت بالای PVA در محیط قلیایی و سرعت نفوذ یون‌های هیدروکسید به ساختار فیلم توجیه می‌شود. در حالی‌که پلی‌اتیلن‌اکسید در همین ضخامت‌ها اندکی مقاوم‌تر عمل نمود، اما همچنان مقاومت کافی در برابر قلیا از خود نشان نداد و در زمان کوتاهی دچار زوال سطحی گردید. با افزایش ضخامت پوشش‌ها، تفاوت عملکرد دو ماده آشکارتر شد. در ضخامت‌های حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میکرون، فیلم‌های PVA توانستند تا حدی پایداری بیشتری ایجاد کنند و سرعت آزادسازی گلوکونات را کاهش دهند.



شکل ۴- نمودار مقایسه ای پایداری پوشش پلی‌وینیل‌الکل (PVA) و پلی‌اتیلن‌اکسید (PEO) با ضخامت های مختلف در محیط قلیایی بتن

در این شرایط، واکنش‌های هیدراسیون در سطوح اولیه بتن با تأخیر کنترل‌شده‌تری صورت گرفت که می‌تواند برای تنظیم گیرش بتن در کاربردهای معماری مفید واقع شود. در مقابل، فیلم‌های PEO در همین ضخامت‌ها همچنان رفتار ضعیف‌تری نشان داده و پس از مدت کوتاهی تخریب شدند. بررسی‌های میکروسکوپی سطح نمونه‌ها نشان داد که در پوشش‌های با ضخامت بالاتر (۴۰۰ تا ۵۰۰ میکرون)، هر دو ماده پلیمری توانستند یک لایه نسبتاً پایدار ایجاد نمایند و به صورت مشابه عمل کنند(شکل ۴) . در این حالت، سرعت نفوذ قلیا به لایه زیرین کاهش یافته و آزادسازی گلوکونات به شکل تدریجی‌تر انجام

شد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در ضخامت‌های پایین، پلی‌وینیل‌الکل و پلی‌اتیلن‌اکسید رفتار متفاوتی دارند و PVA عملکرد ضعیف‌تری دارد، اما با افزایش ضخامت، تفاوت‌های عملکردی کاهش یافته و هر دو پلیمر در نهایت کارایی تقریباً مشابهی پیدا می‌کنند. جمع‌بندی نتایج نشان می‌دهد که انتخاب ضخامت پوشش سطحی نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری گلوکونات سدیم و کنترل فرآیند هیدراسیون دارد و برای کاربری نمای گرافیکی بتن، استفاده از پوشش‌های بالاتر از ۴۰۰ میکرون توصیه می‌شود تا هم اثر تنظیم‌کنندگی گلوکونات حفظ گردد و هم پایداری فیلم پلیمری تضمین شود. تایج این پژوهش نشان داد که انتخاب نوع پلیمر و ضخامت لایه‌ی پوششی نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل هیدراسیون سطحی بتن و پایداری ریتاردر گلوکونات سدیم دارد. پلی‌وینیل‌الکل (PVA) به دلیل خاصیت حلالیت بالا در محیط قلیایی، در ضخامت‌های کم (زیر ۱۰۰ میکرون) به‌سرعت دچار تخریب شد و نتوانست نقش حفاظتی موثری ایفا کند. این رفتار را می‌توان ناشی از ساختار شیمیایی PVA دانست که در برابر یون‌های هیدروکسید محیط بتن مقاومت کافی ندارد.با افزایش ضخامت پوشش PVAبه محدوده ۲۰۰ تا ۳۰۰ میکرون، کارایی آن بهبود یافت و توانست تا حدی آزادسازی گلوکونات را کندتر کند. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از PVA نیازمند اعمال لایه‌ای ضخیم‌تر است تا بتواند دوام و کارایی لازم را در محیط قلیایی بتن حفظ نماید. در عین حال، مزیت PVA قابلیت فیلم‌سازی یکنواخت و زیست‌تخریب‌پذیری آن است که می‌تواند در کاربردهای پایدار (Sustainable Applications) اهمیت ویژه‌ای داشته باشد.در مقابل، پلی‌اتیلن‌اکسید (PEO) هرچند در ضخامت‌های کم عملکرد بهتری نسبت به PVA داشت، اما همچنان در محیط قلیایی پایداری محدودی نشان داد و پس از مدت کوتاهی دچار زوال شد. با این حال، در ضخامت‌های بالاتر (۴۰۰ تا ۵۰۰ میکرون)، PEOتوانست لایه‌ای نسبتاً پایدار ایجاد کند و روند آزادسازی گلوکونات را به‌صورت تدریجی کنترل نماید. مزیت اصلی PEO توانایی ایجاد ویسکوزیته بالا و تشکیل ژل است که باعث می‌شود در لایه‌های ضخیم‌تر مقاومت بیشتری در برابر نفوذ قلیا داشته باشد.مقایسه نهایی دو پلیمر نشان داد که در ضخامت‌های پایین، تفاوت عملکردی قابل توجهی میان آن‌ها وجود دارد و PEO اندکی مقاوم‌تر است. اما در ضخامت‌های بالاتر، هر دو ماده به سطحی از کارایی مشابه نزدیک می‌شوند و می‌توانند پوششی مؤثر برای کنترل هیدراسیون باشند. این یافته نشان می‌دهد که انتخاب ضخامت مناسب اهمیت بیشتری از انتخاب نوع پلیمر دارد، هرچند خواص خاص هر پلیمر می‌تواند در شرایط خاص تعیین‌کننده باشد.به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که برای کاربردهای نمای گرافیکی بتن، استفاده از پوشش‌های با ضخامت بالاتر از ۴۰۰ میکرون ضروری است تا هم اثر کندگیرکنندگی گلوکونات حفظ شود و هم پایداری لایه‌ی پلیمری تضمین گردد. همچنین توصیه می‌شود در کارهای آینده، ترکیب دو پلیمر به‌صورت Hybrid Coatingsبررسی شود تا شاید بتوان نقاط قوت هر دو ماده) فیلم‌سازی یکنواخت PVA و ویسکوزیته بالای (PEO را در یک سیستم تلفیق کرد.این نتایج علاوه بر ارزش علمی، از نظر کاربردی نیز حائز اهمیت هستند؛ زیرا نشان می‌دهند که می‌توان با انتخاب پوشش‌های مناسب، دوام، کیفیت و زیبایی بتن گرافیکی را ارتقا داد. چنین دستاوردی می‌تواند در توسعه‌ی Architectural Concrete، Precast Panels و سایر کاربردهای نوین بتن نقش‌آفرین باشد.

۶- قدردانی

در زمینه تهیه این مقاله از زحمات و همکاریهای آقایان مهندس بیژن بصیری – مهندس ایرج سلطانی – دکتر امیر حسین محرر و مهندس محمد جهانی در آزمایشگاه کارخانه شیراز اسکان وابسته به شرکت مهندسی سازان تشکر و قدردانی میشود.

مراجع

[1] Koski, J., & Kallio, H. (2004). *Graphic Concrete Technology for Decorative Surfaces.* Proceedings of International Congress on Concrete Precasting.

[2]Häkkinen, T. (2005). *Durability and Aesthetics of Exposed Concrete Surfaces.* VTT Publications.

[3]Brite Euram Project Report (2002). *Surface Retarders in Architectural Concrete Applications.* European Commission Research Programme.

[4]Lempiäinen, T. (2010). *Innovations in Precast Concrete Facades.* Concrete Structures Journal, 45(3), 22–29

[5]Chiellini, E., Corti, A., D'Antone, S., & Solaro, R. (2003). Biodegradation of poly(vinyl alcohol) based materials. *Progress in Polymer Science*, 28(6), 963–1014.

[6]Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete*. 5th Edition. Pearson.

[7]Hewlett, P. C. & Liska, M. (2019). *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. 5th Edition. Elsevier.

[8]Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill.

[9]Kosmatka, S. H., & Wilson, M. L. (2016). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Portland Cement Association.

[10]Taylor, H. F. W. (1997). *Cement Chemistry*. Thomas Telford.

[11]Justnes, H., & Nygaard, E. C. (2008). "Retardation Mechanisms of Concrete Set Control Admixtures." *Cement and Concrete Research*, 38(1), 93–101.

[12]BS EN 934-2:2009. *Admixtures for Concrete, Mortar and Grout – Concrete Admixtures – Definitions, Requirements, Conformity, Marking and Labelling*.

[13] Graphic Concrete Ltd. (2020). *Design Guide: Graphic Concrete Technology*. Helsinki, Finland.

[14] Collepardi, M. (2010). *Modern Concrete Admixtures*. International Congress on Concrete.

[15]Aïtcin, P.-C. (1998). *High-Performance Concrete*. E & FN Spon.

[16]Finch, C. A. (1992). *Polyvinyl Alcohol: Properties and Applications.* Wiley.

[17]Peppas, N. A., Bures, P., Leobandung, W., & Ichikawa, H. (2000). Hydrogels in pharmaceutical formulations. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 50(1), 27–46.