

## بررسی مشخصات بتن اصلاح شده با پلیمر (نمونه موردی: ترمیم اپرون های بتنی فرودگاه مهرآباد)

نیما جمشیدی<sup>۱</sup>، پیام کاظمی آشتیانی<sup>۲</sup>، سهیل رضاپور<sup>۳</sup>

(کد B)

۱- کارشناس ارشد عمران، کارشناس فنی شرکت Fiteon

۲- کارشناس ارشد عمران، کارشناس فنی شرکت Fiteon

۳- دکتری عمران، کارشناس فنی شرکت Fiteon

Email: kazemi.ashtiani@fiteon.ir

### چکیده

بتن اصلاح شده با پلیمر<sup>۱</sup> (PMC) از افزودن پلیمر به سیمان و سنگدانه به دست می آید که مشخصات بهبود یافته ای نسبت به بتن معمولی دارد. افزودن پلیمر در بتن باعث افزایش کارایی، استحکام کششی و مقاومت خمشی می شود. پلیمر در بتن، لایه ای روی ملات سیمان و سنگدانه ایجاد کرده و منافذ حفره های موبین را پر می کند که منجر به کاهش قابل ملاحظه نفوذپذیری بتن می شود. به علت کاهش نگهداشت آب در بتن، مقدار رطوبت کاهش یافته و به موجب آن تاثیر عوامل خوردگی و محیطی تاثیرگذار بر بتن همانند یخ زدن و آب شدن به حداقل می رسد. در این مقاله پس از مرور خواص بتن اصلاح شده پلیمری، نتایج موفقیت آمیز استفاده از بتن PMC به صورت روکش ترمیمی در پروژه ترمیم اپرون های بتنی فرودگاه مهرآباد مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: بتن اصلاح شده با پلیمر، PMC، ترمیم، اپرون فرودگاه

### ۱. مقدمه

رزین های مایع و پودرهای پلیمری با خاصیت پخش شونده در آب، سال های زیادی است که به عنوان افزودنی ملات ها و بتن های سیمان هیدرولیکی استفاده می شوند. این افزودنی ها، پلیمرهای اصلاح کننده نامیده می شوند. بتن اصلاح شده با پلیمر (PMC) با نام های مختلفی همچون بتن پلیمری با سیمان پرتلند (PPCC) و بتن اصلاح شده با لاتکس (LMC) خوانده می شود. این بتن ترکیبی است از سیمان با رزین های آلی که خاصیت پخش شونده در آب را دارند. مزایای اضافه کردن پلیمر به بتن، افزایش استحکام، مقاومت در برابر سیکل یخ زدن و آب شدن، مقاومت در برابر فرسایش، افزایش مقاومت خمشی و کششی و کاهش نفوذپذیری و مدول الاستیسیته است.

استفاده از ملات های اصلاح شده با رزین های طبیعی لاتکس در طول دهه های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ توسعه یافت. در سال ۱۹۳۲ باند استفاده از رزین های مصنوعی لاتکس را پیشنهاد داد [۱]. رادول در سال ۱۹۳۹ برای اولین بار ادعا کرد که از رزین های مصنوعی لاتکس همچون پلی وینیل استات برای تولید بتن اصلاح شده با پلیمر می توانند مورد استفاده قرار گیرند [۲]. از اواخر دهه ۱۹۴۰ مخلوط اصلاح شده با پلیمر در پروژه های مختلفی همچون پوشش عرشه های پل ها و کشتی، سنگ فرش ها و کف پوش های ضد فرسایش و ضد خوردگی استفاده شد. گیسست و همکاران در سال ۱۹۵۳ مطالعه مفصلی درباره اصلاح ملات با پلی وینیل استات انجام دادند و گزارشی در این مورد ارائه کردند [۳]. والترز در سال ۱۹۹۲ نشان داد که لاتکس استایرن بوتادین مقاومت خمشی و مقاومت در برابر نفوذپذیری را با افزایش نسبت پلیمر به سیمان بهبود می بخشد [۴]. در سال ۱۹۹۹، ASTM

استانداردی به نام ASTM C 1438 منتشر کرد که مشخصات لاتکس و پلیمرهای اصلاح کننده برای مخلوط سیمان هیدرولیکی و روش تست ملات‌های اصلاح شده با پلیمر را ارائه کرده است [۵].

## ۲. پلیمرهای اصلاح کننده

امروزه انواع مختلفی از پلیمرها وجود دارند که برای اصلاح بتن استفاده می‌شوند و هر کدام از آن‌ها می‌توانند باعث ایجاد خصوصیات مختلفی در بتن یا ملات سخت شده می‌شوند. پلیمرهای عمده و اصلی که برای استفاده در مخلوط سیمانی اصلاح شده کاربرد دارند عبارتند از: پلیمرها و کopolymerهای اکریلیک (PAE)، کopolymerهای استایرن-اکریلیک (S-A)، کopolymerهای استایرن بوتادین (S-B)، کopolymerهای وینیل استات (VAC) و هوموپلیمرهای وینیل استات (PVA). انتخاب یک پلیمر برای بتن PMC به خواص ویژه آن پلیمر برای نوع کاربرد مورد نیاز وابسته است و انتخاب یک پلیمر بهینه کمترین هزینه را برای رسیدن به عملکرد مورد نیاز فراهم می‌کند.

ترکیبات پلیمرهای اصلاح کننده، تاثیرات مشخصی بر خواص مخلوط PMC در هر دو حالت تازه و سخت شده دارد [۴] و اصلی‌ترین مولفه‌های تشکیل دهنده یک پلیمر اصلاح کننده، مونومرهایی هستند که حجم عمده‌ای از مواد پلیمری را تشکیل می‌دهند. این اجزاء تاثیرات زیادی بر سختی پلیمرها و مقاومت آن‌ها در برابر هیدرولیز و اشعه ماوراء بنفش دارند. همچنین مهم‌ترین ویژگی آن‌ها، تاثیر قابل توجهشان بر مقاومت در برابر نفوذ آب و پایداری در بتن اصلاح شده پلیمری است. پلیمرهای اصلاح کننده دارای اجزای جزیبی نیز می‌باشند که این اجزا می‌توانند در بهبود پیوند میان سیمان و سنگدانه‌ها، ایجاد خاصیت کاهندگی آب، کاهش حباب هوای ایجاد شده در بتن و تاخیر در هیدراتاسیون سیمان موثر باشند. همچنین در ارتباط با تاثیر pH پلیمر بر خواص بتن، والترز در سال ۱۹۹۲ نشان داد که لاتکس استایرن بوتادین هنگامی که مقدار pH آن بین ۴ تا ۱۰ است، تغییرات قابل توجهی در روانی، وزن مخصوص حالت مرطوبت و خشک و خواص نفوذپذیری بتن PMC ایجاد نمی‌کند [۷].

از دیگر نکاتی که در استفاده از پلیمرها باید در نظر گرفت، حداقل دمای تشکیل فیلم است. حداقل دمای تشکیل فیلم پلیمر MFFT، پایین‌ترین درجه حرارتی است که در آن ذرات پلیمری لاتکس، تحرک و انعطاف پذیری لازم را نداشته و در دماهای پایین‌تر از آن تشکیل فیلم اتفاق نمی‌افتد. برای کاربرد بهتر مخلوط سیمانی اصلاح شده با لاتکس، بهتر است حداقل دمای تشکیل فیلم کمتر از دمای محیط باشد.

در شرایطی که مقاومت بتن در برابر نفوذپذیری و استحکام بالای آن مورد نیاز و پایداری رنگ اهمیت زیادی نداشته باشد استفاده از لاتکس‌های استایرن بوتادین با توجه به ویژگی و هزینه آن‌ها توصیه می‌شود [۸]. برای شرایطی که هر سه ویژگی پایداری رنگ، مقاومت در برابر نفوذپذیری و استحکام بتن لازم باشد، می‌بایست از پلیمرهای اکریلیک یا استایرن-اکریلیک استفاده شود. در صورتی که فقط مقاومت مورد نیاز باشد، می‌توان از پلیمر وینیل استات استفاده نمود [۷]. مقدار مطلوب مصرف پلیمر اصلاح کننده در مخلوط سیمانی به طور معمول بین ۵ تا ۱۵ درصد وزن سیمان است. استفاده پلیمر بیش از این مقدار اقتصادی نیست و حتی معایبی چون افزایش بیش از حد هوای مخلوط را به همراه دارد. استفاده کمتر از پلیمر باعث کاهش ویژگی‌های مخلوط سخت شده می‌شود.

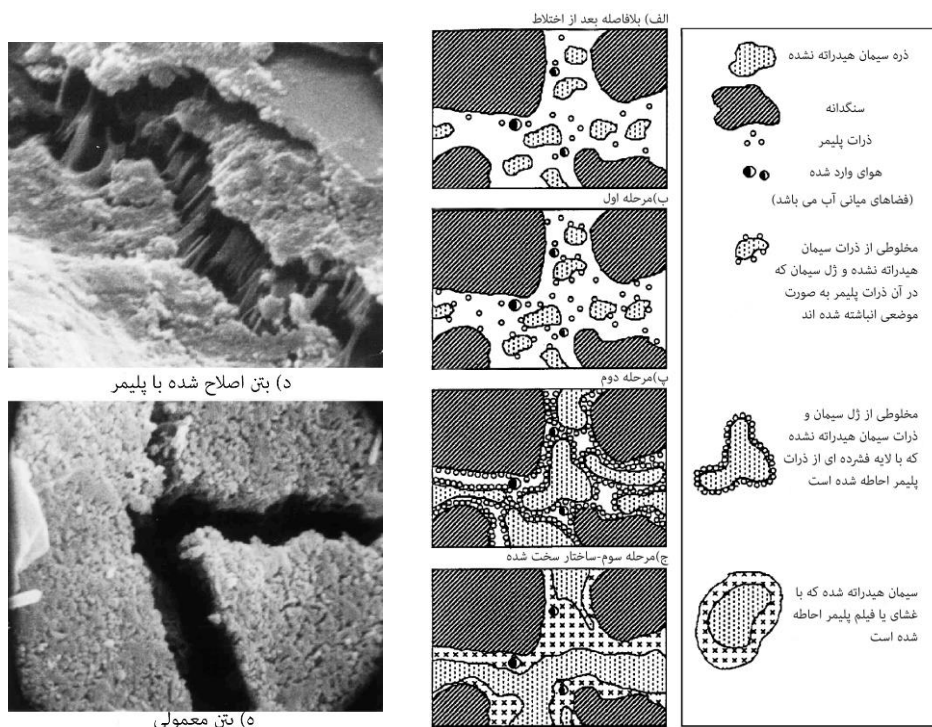
## ۳. فرآیند هیدراته شدن سیمان و انعقاد پلیمر

پلیمرهای اصلاح کننده در مخلوط سیمان تابع دو فرآیند هیدراته شدن سیمان و انعقاد پلیمر می‌باشند. معمولاً در ابتدا هیدراته شدن سیمان است که رخ می‌دهد. زمانی که ذرات سیمان هیدراته شده و گیرش اتفاق می‌افتد و بتن سخت می‌شود،

ذرات پلیمر در فضاهای خالی ایجاد شده متمرکز می‌شوند. شکل ۱- الف الی ج، به صورت شماتیک تغییراتی که در طول واکنش توسط پلیمر اصلاح کننده رخ می‌دهد را نشان می‌دهد [۹-۱۴].

ذرات پلیمر با کم شدن پیوسته آب در اثر هیدراتاسیون سیمان، تبخیر و یا هردوی آن‌ها منعقد شده و به صورت فیلمی از پلیمر در می‌آیند که سیمان هیدراته شده را احاطه می‌کنند. در نتیجه مخلوطی پلیمری سنگدانه‌ها را پوشش داده و حفرات و فضاهای خالی را پر می‌کند. برخلاف مخلوط‌های سیمانی معمولی، بتن PMC تمایلی به آب انداختگی ندارد و حساسیت بیشتری در برابر ترک‌های ناشی از انقباض و پلاستیک دارد. به همین دلیل می‌بایست با استفاده از سیستم‌های پوششی مختلف، تبخیر سطحی را محدود نمود. ذرات پلیمری ممکن است قبل از آنکه قسمت قابل توجهی از هیدراته شدن سیمان رخ دهد، منعقد شده و تشکیل فیلم دهند. در این حالت ملات سیمان قبل از این که به مقاومت کششی کافی دست یابد، دچار جمع شدگی شده و مستعد ترک خوردگی است.

ملات سخت شده سیمانی دارای ترک‌های مویینه است که ناشی از تبخیر آب آزاد مخلوط می‌باشد. در بتن اصلاح شده با پلیمر، ذرات لاتکس که عموماً بزرگتر از ۱۰۰ نانومتر بوده، در این لوله‌های مویینه نفوذ می‌کنند. پلیمرها نه تنها سرعت و میزان تبخیر رطوبت را با مسدود کردن لوله‌های مویینه کاهش می‌دهند، بلکه علاوه بر آن هنگامی که ترک‌های بسیار ریز ایجاد می‌شود، فیلم پلیمری تشکیل شده مانند پلی بر روی ترک‌ها عمل کرده و توسعه آن‌ها را محدود می‌کند. شکل ۱- د و ه، بتن اصلاح شده با پلیمر و بتن معمولی را زیر میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد. وجود این رشته‌ها باعث افزایش مقاومت کششی و خمشی می‌شود و مقاومت در برابر حملات شیمیایی و نمک‌ها را افزایش می‌دهد.



شکل ۱- (الف، ب، پ، ج) روند هیدراته شدن و انعقاد پلیمر به صورت شماتیک؛ (د، ه) مقایسه عملکرد پلیمر در ترک‌های مویینه بتن اصلاح شده با پلیمر و بتن بدون پلیمر [۹-۱۴]

#### ۴. خواص بتن تازه و سخت شده PMC

مقدار هوا- استفاده از پلیمرها به علت داشتن مواد فعال سطحی باعث حباب زایی مضاعف در بتن اصلاح شده پلیمری می‌گردد. با استفاده از یک آنتی فوم مناسب که معمولاً بر پایه سیلیکون‌ها هستند، این حباب زایی در بتن باید کنترل گردد. بنابراین برخلاف بتن‌های معمول، برای مقاومت در برابر ذوب و یخبندان نیازی به استفاده از افزودنی‌های حباب هواساز در بتن PMC نمی‌باشد. بر اساس آیین نامه ACI 548.4 حداکثر مقدار هوا ۶٫۵٪ تعیین شده است و بتن PMC لزوماً نیازی به رعایت استاندارد ASTM C 666 ندارد [۱۵]. بیش از ۳۰ سال تجربه در استفاده از بتن PMC نشان داده است که ذوب و یخبندان به دلایلی که بحث خواهد شد، مشکلی برای بتن ایجاد نمی‌کند.

کارایی- ملات‌ها و بتن‌های اصلاح شده با پلیمر دارای کارایی بهتری نسبت به ملات‌ها و بتن‌های معمول هستند. این کارایی بهتر به دلیل استفاده از اثر پخش‌کنندگی اجزای پلیمر می‌باشد. اوهاما در سال ۱۹۹۵ نشان داد که با استفاده از لاتکس در مقادیر مختلف در بتن، بدون کاهش اسلامپ، می‌توان نسبت آب به سیمان را به مقدار زیادی کاهش داد [۱۶]. کلیور و همکاران در سال ۱۹۷۸ نشان دادند که افت اسلامپ بتن اصلاح شده پلیمری با بتن‌های معمول تفاوت چندانی ندارد [۸]. آن‌ها این آزمایشات را در نسبت آب به سیمان‌های متفاوت و در نسبت لاتکس به سیمان ۱۵ درصد انجام دادند.

گیرش و مدت زمان عملکرد- زمان گیرش بتن اصلاح شده با پلیمر کمی بیشتر از بتن معمولی است. بر اساس مطالعاتی که اوهاما و همکاران در سال ۱۹۸۰ و اسمتزر و همکاران در سال ۱۹۸۱ انجام دادند، زمان گیرش بتن تا نسبت لاتکس به سیمان حدودی ۱۰٪ افزایش می‌یابد [۱۷ و ۱۸]. با این وجود تفاوتی اساسی بین زمان گیرش بتن PMC با مدت زمان عملکرد آن وجود دارد و این دو با یکدیگر ارتباطی ندارند. زمان گیرش تابعی از هیدراتاسیون سیمان است و مدت زمان عملکرد بتن تحت تاثیر خشک شدن سطح می‌باشد. اگر که سطح یک مخلوط اصلاح شده با پلیمر قبل از این که عملیات پرداخت به اتمام برسد، بیش از حد خشک شود، در سطح بتن، پوسته‌ای شکل گرفته و سطح بتن ترک می‌خورد. به طور کلی زمان موجود برای کار با بتن PMC و پرداخت آن بعد از اختلاط و قرارگیری در معرض هوا، بین ۱۵ تا ۳۰ دقیقه است.

مقاومت فشاری- به طور کلی بتن PMC مقاومت فشاری کمتری نسبت به بتن معمولی با مقدار سیمان، سنگدانه و آب مشابه دارد. بتن PMC برای رسیدن به مقاومت فشاری مطلوب، نیاز است که عمل‌آوری شود. عمل‌آوری مورد قبول برای بتن PMC تا ۱۰۰ درصدی برای ۲۴ تا ۴۸ ساعت اول است که با عمل‌آوری هوای آزاد ادامه پیدا می‌کند. در طول عمل‌آوری با هوا، آب اضافه تبخیر شده و اجازه داده می‌شود تا فیلم پلیمر در ساختار داخلی بتن به طور کامل شکل بگیرد.

انقباض- بر اساس تحقیقی که اوهاما و همکاران در سال ۱۹۸۲ انجام دادند، اضافه کردن لاتکس به بتن باعث افزایش انقباض نمی‌گردد [۱۹]. همچنین واکر و همکاران در سال ۱۹۸۲ نشان دادند که استفاده از پلیمر در بتن باعث افزایش انقباض نمی‌گردد، بلکه انقباض ناشی از خشک شدن یافته ولی پتانسیل ترک‌های ناشی از انقباض پلاستیک افزایش می‌یابد [۲۰].

چسبندگی- چسبندگی مطلوب ملات‌ها و بتن‌های اصلاح شده با پلیمر سال‌هاست که در کاربرد به عنوان روکش میلگرد و فلزات و رویه دال‌های پل به اثبات رسیده است. مطالعات زیادی در ارتباط با افزایش چسبندگی ملات‌ها و بتن‌های PMC (همانند [۲۱ و ۲۲])، افزایش مقاومت چسبندگی در کشش (همانند [۲۳]) و افزایش مقاومت چسبندگی در برش (همانند [۲۴]) انجام پذیرفته است. برای استفاده از تمامی ظرفیت چسبندگی مخلوط‌های اصلاح شده با پلیمر، سطح کار بایستی به خوبی آماده سازی شده باشد.

نفوذپذیری- ساختار بتن PMC به گونه‌ای است که لوله‌های مویینه و حفراتی که معمولاً در خمیر سیمان و یا ماتریس سیمان رخ می‌دهند، به صورت نسبی در طول دوره عمل‌آوری با فیلم پلیمر پر می‌شوند. این فیلم دلیل اصلی کاهش نفوذپذیری و جذب آب در بتن PMC نسبت به بتن معمولی است. این خواص در مطالعات بسیاری با استفاده از آزمایشات نفوذ بخار آب،



جذب آب، مقاومت در برابر کربناتاسیون و نفوذ یون کلر مورد بررسی قرار گرفته اند و نشان داده شده است که نفوذپذیری PMC به طور قابل ملاحظه‌ای بعد از ۲۸ روز کاهش می‌یابد [۲۵].

مقاومت در برابر ذوب و یخبندان- در بتن PMC به علت محدود شدن حرکت آب در داخل مخلوط به وسیله پلیمر، آب آزاد داخل مخلوط یا کم است یا اصلاً وجود ندارد. بنابراین مقاومت در برابر سیکل یخ زدن و آب شدن در بتن PMC نسبت به بتن معمولی بیشتر است [۱۴]. همچنین بتن PMC بعلت وجود پلیمر اصلاح کننده در طرح مخلوط به افزودنی حساب ساز نیازی ندارد زیرا معمولاً به طور تقریبی ۶ درصد هوا در بتن ایجاد می‌کند [۱۶].

##### ۵. مطالعه موردی - پروژه ترمیم پرون‌های بتنی فرودگاه مهرآباد با بتن PMC

پرونها بتنی فرودگاه مهرآباد با عمری بالغ بر هفتاد سال، با انواع خرابی‌ها و ترک‌ها روبه‌رو هستند که بخش اعظم آن ناشی از کربناته شدن و چرخه‌های یخ زدن و آب شدن است. در سال ۱۳۹۴ کارشناسان شرکت با آنالیز دقیق خرابی‌ها، اقدام به استفاده از ملات اصلاح شده با پلیمر به صورت اجرای رویه ترمیمی به ضخامت ۴ سانتی‌متر بر سطوح بتنی پرون‌های فرودگاه مهرآباد بخش لشگری به مساحت تقریبی ۲۰,۰۰۰ مترمربع نمودند. بررسی عوامل ترک‌های عمیق و سطحی و هوازدگی سطوح در دال‌ها، آماده‌سازی سطح و برداشت نواحی سست و پوک، کنترل درزهای انبساطی، اصلاح داوول‌ها، اجرای رویه ترمیمی با استفاده از پلیمر اصلاح کننده در طرح مخلوط جهت بتن‌ریزی، عمل آوری مناسب، اجرای درزها از خصوصیات این پروژه می‌باشد. در ادامه مشخصات اجرای ترمیم و مراحل کار مطابق با شکل شماره ۲ به صورت خلاصه شرح داده شده است.



(۲) آماده سازی سطح برای اجرای رویه



(۱) برداشت سطح هوازده دال بتنی



(۴) پرداخت سطح رویه ترمیمی



(۳) اجرای رویه ترمیمی با ملات اصلاح شده پلیمری



(۶) سطح نهایی رویه ترمیمی



(۵) عمل آوری مرطوب بلافاصله بعد از پرداخت نهایی

شکل ۲- مراحل اجرای ترمیم پرون‌های بتنی فرودگاه مهرآباد با استفاده از ملات اصلاح شده با پلیمر (PMC)

طرح مخلوط- طرح نسبت بندی بتن و ملات اصلاح شده با پلیمر همانند بتن و ملات معمولی می‌باشد. در جدول ۱ طرح مخلوط ملاتی که برای ترمیم رویه‌های بتنی مورد استفاده قرار گرفته، ارائه شده است. همچنین در جدول ۲ مشخصات پلیمر اصلاح کننده آمده است. در این طرح به علت قرارگیری رویه ترمیمی در معرض نور آفتاب و همچنین نیاز به نفوذپذیری پایین و مقاومت بالا از پلیمری با پایه مونومرهای استایرن-اکریلک استفاده گردید. همچنین این پلیمر دارای حداقل دمای تشکیل فیلم صفر درجه سانتیگراد می‌باشد تا الزامات شرایط محیطی در اجرا تامین گردد.

جدول ۱- طرح مخلوط ملات اصلاح شده با پلیمر مورد استفاده برای ترمیم اپرون فرودگاه مهرآباد

سیمان (تیپ ۲)	۴۰۰ کیلوگرم
ماسه	۱۸۲۰ کیلوگرم
آب	۱۲۰ کیلوگرم
فوق روان کننده Fiteon® Super Plast	۱ کیلوگرم
رزین پلیمری اصلاح کننده	۲۰ کیلوگرم
نسبت آب به سیمان	۰,۴

جدول ۲- مشخصات پلیمر مورد استفاده برای ترمیم اپرون فرودگاه مهرآباد

پلیمر اصلاح کننده	Fiteon® Fitstick
مونومرها	استایرن-اکریلک
حداقل دمای تشکیل فیلم	۰ °C
چگالی	۱,۰۲

روش اختلاط- معمولاً در تولید بتن‌های PMC از میکسرهای سیار استفاده می‌گردد. این تجهیزات می‌توانند دارای سیستم توزین بوده و نرخ تولیدی بین ۵ تا ۴۰ متر مکعب در ساعت را دارا باشند. تولید بتن PMC در کارگاه بسیاری از مشکلات زمان عملکرد بتن را از بین می‌برد، چرا که بتن به اندازه مورد نیاز و در زمان مورد نیاز تولید می‌شود. برای پروژه‌های کوچک، استفاده از درام میکسرهای کوچک می‌تواند گزینه‌ای قابل قبول باشد. در این پروژه ملات بدون اضافه نمودن پلیمر اصلاح کننده، در کارخانه بتن تولید شده و پس از حمل به محل پروژه و اضافه نمودن پلیمر توزین شده، مورد استفاده قرار گرفت.

آماده سازی سطح- آماده سازی سطح به منظور ایجاد چسبندگی مناسب رویه ترمیمی به دال بتنی از اهمیت بالایی برخوردار است، به طوری که دال‌های بتنی باید تمیز شوند و دانه‌های درشت آن در معرض قرار گیرند. در این پروژه به منظور اجرای رویه ترمیمی، لایه‌ای به ضخامت ۳ الی ۵ سانتیمتر از دال بتنی هوازده با استفاده از خراش دهنده مکانیکی برداشت گردید. تمام بخش‌های سست سطح، غبار و آلاینده‌هایی مانند روغن می‌بایست برداشته شوند که بدین منظور پاکسازی سطح با استفاده از تخریبگر هیدرولیک، واتر بلاست و لقه‌گیری با ابزارهای دستی انجام گرفته و در پایان این مرحله، پاکسازی با شستشو با آب و دمیدن هوا تکمیل گردید. پیش از اعمال رویه ترمیمی PMC بایستی سطح بتن به مدت یک ساعت خشک شود و تمام چاله‌های آب تخلیه گردند. برای آماده‌سازی سطح بتن، انجمن بین المللی ترمیم بتن (ICRI 1997) دستنامه‌ای را منتشر نموده است.

بتن ریزی- ملات PMC به عامل چسباننده دیگری به عنوان پرایمر نیاز ندارد و در صورت لزوم می‌توان مقداری از دوغاب پلیمر و سیمان را به صورت دستی با برس بر سطح اعمال نمود. بتن PMC قابلیت پمپاژ نیز دارد ولی در این پروژه با استفاده از شوت بتن‌ریزی انجام گرفت.

پرداخت- معمولا برای اجرای رویه‌ها، فینیش‌های غلطکی خودران محبوب‌ترین روش برای بتن ریزی و تسطیح PMC می‌باشند و در پایان به منظور ایجاد زبری مورد نظر می‌توان با گونی‌کشی و یا جاروکشی کار را به اتمام رساند. در این پروژه از شمشه ویبره دستی و ماله پروانه به منظور پرداخت کار استفاده شد. با استفاده از فوق روان کننده و دستیابی به بتنی با اسلامپ بالا و تقریبا خودتراز عملیات بتن‌ریزی و پرداخت در کمترین زمان انجام گرفت. به هر حال فاکتور محدود کننده در انتخاب تجهیزات و روش بتن‌ریزی و تسطیح، اتمام کار پیش از تشکیل لایه غشایی روی سطح PMC است.

عمل‌آوری- دوره اجرای عمل‌آوری در بتن PMC به این صورت است که ابتدا نیازمند عمل‌آوری مرطوب به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت می‌باشد تا از تشکیل ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک پیشگیری گردد و به دنبال آن عمل‌آوری با هوا است که انعقاد و تشکیل فیلم پلیمر را به همراه دارد و موجب توسعه مقاومت کششی و خمشی بتن می‌گردد. بر همین اساس در این پروژه بلافاصله پس اتمام پرداخت، گونی خیس روی سطح کشیده و در نهایت روی آن یک لایه پوشش شفاف پلی اتیلنی کشیده شد. پس از گذشت ۴۸ ساعت، تمام پوشش‌های عمل‌آوری برچیده شده تا عمل‌آوری با هوا صورت پذیرد.

مشخصات بتن سخت شده- در جدول‌های ۳ الی ۷ نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی و خمشی، آزمایش تعیین شاخص دوام و همچنین مقاومت چسبندگی ملات ترمیمی به بتن آمده است.

جدول ۳- نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری بتن بر اساس BS 1881

عمر نمونه (روز)	سطح نمونه (cm <sup>2</sup> )	حجم نمونه (cm <sup>3</sup> )	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	بار نهایی (kg)	مقاومت فشاری نمونه مکعبی (kg/cm <sup>2</sup> )
۷	۲۲۵	۳۳۷۵	۲,۳۰	۶۸۴۰۰	۳۰۴
۲۸	۲۲۵	۳۳۷۵	۲,۳۱	۹۱۶۰۰	۴۰۷

جدول ۴- نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه استوانه‌ای بر اساس ASTM C496

ارتفاع نمونه (mm)	قطر دهانه (mm)	حداکثر بار گسیختگی (kg)	مقاومت کششی غیرمستقیم (kg/cm <sup>2</sup> )
۳۰۵	۱۵۴	۳۷۴۲۳	۵۰,۷

جدول ۵- نتایج آزمایش مقاومت خمشی تیر بر اساس ASTM C293

عرض نمونه (mm)	ارتفاع نمونه (mm)	طول دهانه (mm)	حداکثر بار گسیختگی (kg)	مقاومت خمشی (kg/cm <sup>2</sup> )
۱۵۰	۱۵۰	۴۵۰	۲۵۸۷	۵۱,۷

جدول ۶- نتایج آزمایش تعیین شاخص دوام بتن در برابر یخ زدن و آب شدن بر اساس ASTM C666

فرکانس اولیه	شماره سیکل	فرکانس طولی اصلی بعد از N سیکل	مدول الاستیسیته دینامیکی نسبی	شاخص دوام
۵۰۵۰	۲۷۰	۴۵۲۰	۸۰	۷۲
۵۰۵۰	۳۰۷	۴۴۷۰	۷۸	۸۰

جدول ۷- نتایج آزمایش تعیین مقاومت چسبندگی ملات به بتن پایه روی نمونه استوانه‌ای بر اساس ASTM C882

نسبت مقاومت فشاری بتن پایه به بتن اصلاح شده (%)	مقاومت فشاری بتن پایه اصلاح شده ( $\text{kg/cm}^2$ )	مقاومت فشاری بتن پایه ( $\text{kg/cm}^2$ )	قطر دهانه (mm)	ارتفاع نمونه (mm)
۷۷	۲۹۴	۳۸۲	۱۵۱	۳۰۳

## ۶. مراجع

- [1] Bond, A.E. 1932, British Patent 369, 561, Mar. 17.
- [2] Rodwell, A. G., 1939, German Patent 680, 312, Aug. 29.
- [3] Geist, J. M.; Amagna, S. V.; and Mellor, B. B., 1953, "Improved Portland Cement Mortars with Polyvinyl Acetate Emulsions," Industrial and Engineering Chemistry, V. 45, No. 4, pp. 759-767.
- [4] Walters, D. G., 1992b, "The Effect of Polymer Variables and Other Parameters on the Properties of Polymer-Modified Cement Mixtures," Polymer-Modified Hydraulic-Cement Mixtures, ASTM STP 1176, L. A. Kuhlmann and D. G. Walters, eds., ASTM International, West Conshohocken, Pa., Dec.
- [5] ASTM C1438-13, Standard Specification for Latex and Powder Polymer Modifiers for use in Hydraulic Cement Concrete and Mortar, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [6] Ohama, Y., Chapter 7, 1995, "Polymer-Modified Mortars and Concretes," Concrete Admixtures Handbook, V. S. Ramachandran, ed., Noyes Publications, Park Ridge, N.J.
- [7] Walters, D. G., 1990, "A Comparison of Latex-Modified Portland Cement Mortars," ACI Materials Journal, V. 87, No. 4, July-Aug., pp. 371-377.
- [8] Clear, K. C., and Chollar, B. H., 1978, "Styrene-Butadiene Latex Modifiers for Bridge Deck Overlay Concrete," FHWA-RD-78-35, Apr. (National Technical Information Service, PB 283945).
- [9] Ohama, Y., 1973, "Study on Properties and Mix Proportioning of Polymer-Modified Mortars for Buildings," Report of the Building Research Institute, No. 65, Tokyo, Japan, Building Research Institute. (in Japanese)
- [10] Schwiete, H. E.; Ludwig, V.; and Aachen, G. S., 1969, "The Influence of Plastics Dispersions on the Properties of Cement Mortars," Betonstein Zeitung, V. 35, No. 1, pp. 7-16.
- [11] Wagner, H. B., and Grenley, D. G., 1978, "Interphase Effects in Polymer-Modified Hydraulic Cements," Journal of Applied Polymer Science, V. 22, No. 3, pp. 813-822.
- [12] Wagner, H. B., 1965, "Polymer-Modified Hydraulic Cements," Industrial and Engineering Chemistry, Product Research and Development, V. 4, No. 3, pp. 191-196.
- [13] Maultzsch, M., 1989, "Studies on the Durability of Polymer Modified Cement Concrete for the Repair of Concrete Structures," Materials Engineering Journal, V. 1, No. 1, pp. 77-84.
- [14] Ohama, Y.; Moriwaki, T.; and Shiroishida, K., 1984, "Weatherability of Polymer-Modified Mortars through Ten-Year Outdoor Exposure," 4th International Congress of Polymers in Concrete, Darmstadt, West Germany, Sept.



- [15] ACI 548.4-11 - Specification for Latex-Modified Concrete Overlays, ACI (2012)
- [16] Ohama, Y., Chapter 7, 1995, "Polymer-Modified Mortars and Concretes," Concrete Admixtures Handbook, V. S. Ramachandran, ed., Noyes Publications, Park Ridge, N.J.
- [17] Ohama, Y.; Miyake, T.; and Nishimura, M., 1980, "Properties of SBR-Modified Concrete," Nihon-Kenchiku-Gakkai Kantoshibu Kenkyu-Hokokushu, pp. 289-292. (in Japanese)
- [18] Smutzer, R. K., and Hockett, R. B., 1981, Latex Modified Portland Cement Concrete—A Laboratory Investigation of Plastic and Hardened Properties of Concrete Mixtures Containing Three Formulations Used in Bridge Deck Overlays, Indiana State Highway Commission, Feb.
- [19] Ohama, Y., and Kan, S., 1982, "Effects of Specimen Size on Strength and Drying Shrinkage of Polymer-Modified Concrete," International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, V. 4, No. 4, Nov.
- [20] Carl Walker and Associates, 1982, Bond Pullout Test Program Report, Kalamazoo, Mich., June.
- [21] Knab, L. I., and Spring, C. B., 1989, "Evaluation of Test Methods for Measuring the Bond Strength of Portland Cement Based Repair Materials to Concrete," Cement, Concrete, and Aggregates, CCAGDP, V. 11, No. 1.
- [22] Kuhlmann, L. A., 1990, "Test Method for Measuring the Bond Strength of Latex-Modified Concrete and Mortar," ACI Materials Journal, V. 87, No. 4, July-Aug., pp. 387-394.
- [23] Pfeifer, D. W., 1978, Utilization of Latex-Modified Concrete for Restoration of Seats in Soldier Field for Chicago Park District, Wiss, Janney, Elstner and Associates, Inc., Northbrook, Ill., Sept.
- [24] Dow Chemical Co., 1985, A Handbook on Portland Cement Concrete and Mortar Containing Styrene/Butadiene Latex, Midland, Mich.
- [25] Kuhlmann, L. A., 1984, The Effect of Cure Time on Chloride Permeability of Latex-Modified Concrete, Dow Chemical Co., Midland, Mich.