

# Latex Modified Concrete (LMC) Overlays and Their Applications

Reza Ghaemi  
CEO at Chimisazeh Armani

Alireza Rahmati  
Invited lecturer at Shahid Beheshti University

Alireza Maghsadi\*  
Technical manager at Chimisazeh Armani  
a.maghsadi@gmail.com

## Abstract

Polymer modified concrete (PMC) have been called by various names, such as latex modified concrete (LMC). LMC is defined as hydraulic cement combined at the time of mixing with organic polymers that are dispersed in water with aggregates. The improvements from adding polymer modifiers to concrete include increased bond strength, freezing-and-thawing resistance, abrasion resistance, flexural and tensile strengths, and reduced permeability and elastic modulus. A reduced elastic modulus might be useful considering the application of LMC as a bridge-deck overlay or repair surface. Concrete overlays have higher durability and lifetime compare to asphalt overlays. In this article the applications of concrete pavements and LMC overlays are discussed.

Due to the fact that LMC overlays have not been used in any road construction projects in Iran, research needed to be done in order to produce the styrene butadiene latex used in LMC. The research and development group at Chimisazeh Armani successfully produced the SBR latex and placed a sample in Tehran-North Highway project by following the guidelines given by ACI and FHWA. The result proved that LMC is a great choice as a bridge deck overlay.

**Key Words:** Latex modified Concrete, LMC, Concrete pavement, Roller Compacted Concrete, Durability

# روکش بتنی اصلاح شده با لاتکس (LMC) و کاربردهای آن

## (نمونه آزمایشی در قطعه یک آزاد راه تهران - شمال)

دریافت مقاله: ۱۳۹۸-۱۱-۲۶

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹-۰۱-۲۵

رضا قائمی

مدیر عامل شیمی سازه آرمانی

علیرضا رحمتی

رئیس کمیته فنی کانون سراسری انجمن های صنفی بتن کشور و مدرس دانشگاه شهید بهشتی

علیرضا مقصودی\*

مدیر فنی شیمی سازه آرمانی

[a.maghsadi@gmail.com](mailto:a.maghsadi@gmail.com)

### چکیده

بتن اصلاح شده با پلیمر (PMC) که به آن بتن اصلاح شده با لاتکس (LMC) نیز گفته می شود، از افزودن پلیمر در طرح مخلوط بتن بدست می آید. این نوع بتن به دلیل بهره مندی از ویژگی های منحصر به فرد از جمله بهبود کارایی، مقاومت کششی و کاهش نفوذپذیری، در مصارف مختلفی مانند راهسازی، کفسازی های صنعتی و غیر صنعتی و همچنین ملات های ترمیمی بکار می رود. امروزه در کشور های پیشرفته نظیر آمریکا و کانادا بتن اصلاح شده با لاتکس به عنوان مناسب ترین گزینه برای روکش پل ها محسوب می شود. رویه های بتنی به دلیل کاهش نفوذپذیری و دوام بیشتر نسبت به رویه های آسفالتی عمر سازه را بین ۲ تا ۳ برابر افزایش داده و علاوه بر جنبه اقتصادی به دلایل دیگری از جمله افزایش ایمنی و کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری، از روسازی های آسفالتی پیشی گرفته اند. [۱] در این مقاله پس از اشاره به انواع روسازی های بتنی، استفاده از روکش بتنی اصلاح شده با لاتکس (LMC) بررسی شده است.

با توجه به عدم وجود تجربه جدی در تولید و اجرای این نوع بتن در پروژه های راهسازی کشور، پس از انجام تحقیقات گسترده و استفاده از تجربیات کشور های پیشرفته در این زمینه و همچنین بهره گیری از آیین نامه های معتبر بین المللی، در اولین مرحله اصلاح ساختاری و تولید لاتکس SBR (مورد استفاده در بتن LMC) صورت گرفت و پس از تولید آزمایشی بتن LMC مطابق با مشخصات وزارت راه آمریکا FHWA نمونه آزمایشی را بر روی دال بتنی در قطعه یک آزاد راه تهران - شمال به صورت موفقیت آمیز اجرا نمود.

کلمات کلیدی: روکش بتنی اصلاح شده با لاتکس، LMC، روسازی بتنی، SBR، دوام

هدف از روسازی راه ایجاد یک سطح صاف و هموار و در عین حال مقاوم، با دوام و ایمن است. با گذشت زمان و پیشرفت علم، روش ها، مصالح و فرایندهای جدیدی برای طراحی، اجرا و نگهداری روسازی ها پیشنهاد شده است. در کشور ایران به دلایلی از جمله فراوانی قیر، آشنایی بیشتر دست اندرکاران عملیات راه سازی با روسازی آسفالتی و همچنین وجود ضوابط فنی رایج در کشور، غالب روسازی راه ها از نوع آسفالتی است. افزایش قیمت قیر طی چند سال گذشته و در نتیجه افزایش قیمت تمام شده روسازی آسفالتی، مازاد تولید سیمان و همچنین طول عمر بیشتر روسازی بتنی نسبت به روسازی آسفالتی (بر اساس تجارب کشورهای مختلف)، سبب شده است متولیان امور راه سازی استفاده از روسازی بتنی را به عنوان گزینه ای مناسب در کنار روسازی آسفالتی مطرح نمایند.

روسازی راه سازه ای است که روی آخرین لایه متراکم شده خاک زمین طبیعی موجود یا اصلاح شده، خاکریزی ها و ... که به طور کلی بستر روسازی نامیده می شوند، قرار می گیرد. روسازی ها، از نظر نوع مصالح مصرفی، به سه دسته روسازی انعطاف پذیر (پایه قیری)، روسازی صلب و نیمه صلب (پایه سیمانی) و یا ترکیبی تقسیم می شوند. روسازی ها اغلب با توجه به نوع کاربری راه با یک روکش (Overlay) پوشانده می شوند. روکش ها به دو دسته چسبنده و غیر چسبنده که عمده تفاوت آن ها در ضخامت می باشد تقسیم می شوند. روکش ها می توانند پایه سیمانی، قیری و همچنین رزینی داشته باشند. روکش های بتنی (پایه سیمانی) به دلایل مختلفی همچون چسبندگی، دوام و استحکام، بسیار رایج و دارای هزینه تعمیرات و نگهداری پایینی بوده و در صنایع راهسازی مورد استفاده قرار می گیرند. در این مقاله به بررسی روکش های بتن اصلاح شده با لاتکس (LMC) که از انواع روکش بتنی چسبنده می باشد، می پردازیم. روکش های LMC در ایالات متحده آمریکا به عنوان یکی از روکش های رایج برای عرشه پل ها که در معرض خوردگی توسط نمک های یخ زدا و چرخه های متناوب یخبندان و آب شدن و غیره قرار دارد و دوام مکانیکی بالایی مد نظر باشد به کار می رود.

در روسازی های صلب (بتنی)، روسازی راه با بتن ساخته می شود. مقاومت فشاری و کششی روسازی بتنی زیاد است (در مقایسه با آسفالت) و بار ترافیک را بدون تغییر شکل زیاد صفحه بتنی، در سطح گسترده تری نسبت به روسازی آسفالتی به خاک بستر منتقل می سازد. روسازی بتنی اغلب بر روی لایه زیر اساس اجرا می شود. در شرایطی که خاک بستر روسازی از کیفیت مقاومتی مطلوبی برخوردار بوده و ترافیک، سنگین و یا خیلی سنگین نباشد، بر اساس تشخیص مراجع ذیصلاح، روسازی بتنی می تواند روی لایه بستر اجرا شود.

انواع اصلی روسازیهای بتنی عبارتند از روسازی های بتنی ساده درزدار (JPCP)<sup>1</sup>، روسازی های بتنی مسلح درزدار (JRCP)<sup>2</sup>، روسازی های بتنی مسلح پیوسته (CRCP)<sup>3</sup> و روسازی های بتنی از نوع پیش تنیده (PCP)<sup>4</sup>. انواع دیگری از روسازی بتنی نیز وجود دارند که به علت محدودیت کاربرد، مانند روسازی بتن غلتکی که در صورت استفاده نکردن از یک رویه محافظتی نظیر روکش بتنی چسبنده یا آسفالت بشکل مرکب فقط برای راه های با ترافیک سبک و متوسط با سرعت کم وسایل نقلیه کاربرد دارد یا روسازی بتنی نفوذپذیر که برای زهکشی سطحی روسازی کاربرد دارد، روش ساخت (مانند روسازی های بتنی پیش ساخته و بلوکی بتنی) یا نوع مواد افزودنی (مانند روسازیهای بتنی حاوی گوگرد یا الیاف) به عنوان انواع فرعی روسازی بتنی محسوب می شوند.

لازم به ذکر است که روسازی های JPCP و RCCP در زمره رایج ترین روسازی های بتنی در کشور بوده و روسازی های JPCP بشرط اجرای صحیح بافت سطحی به عنوان سطح نهایی راه (بدون نیاز به هرگونه روکش

<sup>1</sup> Jointed Plain Concrete Pavement

<sup>2</sup> Jointed Reinforced Concrete Pavement

<sup>3</sup> Continuous Reinforced Concrete Pavement

<sup>4</sup> Prestressed Concrete Pavement

دیگری) قابل استفاده می باشند. لازم به ذکر است که روسازی های RCCP را نمی توان در راه های با سرعت بیش از ۵۰ کیلومتر در ساعت به تنهایی مورد استفاده قرار داد و نیاز به روکش تکمیل کننده مقطع راه برای ایجاد اصطکاک کافی دارند. این روکش های تکمیل کننده می تواند پایه قیری (آسفالت) و یا پایه سیمانی (روکش بتنی) باشد. انتخاب یک روکش نهایی مناسب امری است حیاتی که با توجه به شرایط مختلف پروژه بایستی مورد بررسی قرار گیرد. در آمریکای شمالی انواع روکش های بتنی اصلاح شده با دوده سیلیسی (SFC یا MSC)<sup>۵</sup> و یا اصلاح شده با لاتکس (LMC) مورد استفاده قرار می گیرد. این دو نوع روکش دارای مقاومت مکانیکی بالا، نفوذ پذیری بسیار کم و در نتیجه دوام بالا بوده که در ضخامت های کم (کمتر از ۱۰ سانتی متر) بر روی دال بتنی اجرا می گردند. در شرایط فعلی کشور با توجه به افزایش قیمت قیر، روکش های مذکور می تواند گزینه مناسبی به عنوان جایگزین روکش های آسفالتی باشد.

بهره گیری از افزودنی های بتن مناسب بر اساس طرح مخلوط و ویژگی های مصالح موجود در کشور از جمله سیمان و سنگدانه ها، مهم ترین عوامل در کیفیت و دوام روکش های فوق الذکر می باشند. استفاده از مواد شیمیایی غیر استاندارد و یا افزودنی های نامناسب (بدون در نظر گرفتن تطابق با مشخصات روکش) می تواند منجر به افت کیفیت در خواص بتن تازه یا سخت شده و بروز عواملی همچون ترک خوردگی خمیری، نفوذپذیری آب و املاح و کاهش دوام روکش ها شود.

روکش های اصلاح شده با لاتکس (LMC) در ایالات متحده آمریکا نسبت به روکش های اصلاح شده با دوده سیلیسی (SFC) رایج تر می باشند [۲]. در این مقاله روکش های اصلاح شده با لاتکس مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۲- تاریخچه LMC

استفاده از ملات های اصلاح شده با رزین های طبیعی لاتکس (صمغ درختان کائوچو) در طول دهه های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ توسعه یافت. در سال ۱۹۳۲ باند استفاده از رزین های مصنوعی لاتکس را پیشنهاد داد [۳]. رادول در سال ۱۹۳۹ برای اولین بار ادعا کرد که رزین های مصنوعی لاتکس همچون پلی وینیل استات برای تولید بتن اصلاح شده با پلیمر می توانند مورد استفاده قرار گیرند [۴]. 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 کفپوش 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 [۵]. وزارت راه ایالات متحده آمریکا (FHWA) در سال ۱۹۷۸ برای اولین بار آیین نامه ای جهت روکش بتنی اصلاح شده با لاتکس ارائه کرد که تا به امروز مورد استفاده قرار می گیرد. والترز در سال ۱۹۹۲ نشان داد که لاتکس استایرن بوتادین (SBR) مقاومت خمشی و مقاومت در برابر نفوذپذیری را متناسب با افزایش نسبت پلیمر به سیمان بهبود می بخشد [۶]. در سال ۱۹۹۹، ASTM استاندارد به نام ASTM C1438 منتشر کرد که مشخصات لاتکس و پلیمرهای اصلاح کننده برای مخلوط سیمان هیدرولیکی و روش آزمایش ملات های اصلاح شده با پلیمر را ارائه کرده است [۷].

## ۳- پلیمر های مورد استفاده در بتن LMC

بتن های اصلاح شده با پلیمر (PMC) که با نام های PPCC<sup>۶</sup> و LMC شناخته شده است، ترکیبی از سیمان هیدرولیکی به همراه پلیمر های آلی محلول در آب می باشد. پلیمر آلی مولکول بزرگی است که از اتصال هزاران مولکول کوچکتر (مونومر) در واکنش پلیمریزاسیون به وجود آمده است که بر حسب نوع پلیمر می تواند قابلیت پراکندگی<sup>۷</sup> و یا انحلال<sup>۸</sup> در آب داشته باشد. پلیمر هایی که در فاز پراکندگی برای اصلاح خواص بتن مورد استفاده

<sup>۵</sup> Silica Fume Concrete – Microsilica Concrete

<sup>۶</sup> Polymer Portland Cement Concrete

<sup>۷</sup> Dispersible

قرار می گیرند، در صنعت به لاتکس موسوم بوده و خواص آن بسته به نوع پلیمر مصرفی، در کاربرد های مختلف متفاوت می باشد.

از جمله مزایای اضافه کردن پلیمر به بتن می توان به افزایش مقاومت، دوام در برابر چرخه های متناوب یخبندان و آب شدن، مقاومت در برابر فرسایش، افزایش مقاومت های خمشی و کششی، کاهش نفوذپذیری و مدول الاستیسیته اشاره کرد. کاهش مدول الاستیسیته در بتن اصلاح شده با لاتکس (LMC) نقش مهمی در کاربری این بتن به عنوان روکش پل ها و موارد ترمیمی خواهد داشت. چرا که باعث کاهش تنش های وارده ناشی از جمع شدگی<sup>9</sup> و کرنش های حرارتی<sup>10</sup> و در نتیجه کاهش ترک خوردگی می گردد. [۸]

امروزه انواع مختلفی از پلیمرها از جمله کوپلیمرهای اکریلیک (PAE)، کوپلیمرهای استایرن اکریلیک (S-A)، کوپلیمرهای استایرن بوتادین (S-B)، کوپلیمرهای وینیل استات (VAC) و هموپلیمرهای وینیل استات (PVA) برای اصلاح بتن استفاده می شوند و هر کدام از آنها می توانند باعث ایجاد خصوصیات مختلفی در بتن یا ملات سخت شده شوند.

به طور کلی فرایندی به نام پلیمره شدن امولسیون<sup>11</sup> لاتکس های مورد استفاده در بتن را به وجود می آورند. پس از طی شدن فرایند های پی در پی در چرخه تولید لاتکس، سرانجام این ماده با مشخصات شیمیایی مشخص تولید و عرضه می گردد.

لاتکس ها بر حسب نوع بار الکتریکی روی مونومرها، به سه دسته تقسیم می شوند. نوع فعال کننده سطحی که برای پراکنده کردن مونومر استفاده می شود، مبنای این تقسیم بندی است. گروه ها به کاتیونی (بار مثبت)، آنیونی (بار منفی) و غیر یونی (بدون بار) تقسیم می شوند. لاتکس های کاتیونی یا آنیونی پس از استفاده در مخلوط های سیمانی پایداری لازم را ندارند. بنابراین لاتکس های غیر یونی باید استفاده شوند. جدول ۱ توسط وزارت راه آمریکا (FHWA RD-78-35) [۹] در خصوص الزامات لاتکس مصرفی در بتن ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات شیمیایی لاتکس استایرن بوتادین ارائه شده توسط FHWA

| ویژگی لاتکس                                           | FHWA الزامات  |
|-------------------------------------------------------|---------------|
| درصد جامد % (استاندارد ASTM D 1417)                   | ۴۶ الی ۵۳     |
| pH (استاندارد ASTM D 1417)                            | ۸/۵ الی ۱۲    |
| میانگین اندازه مولکولی Å                              | ۲۵۰۰ الی ۱۴۰۰ |
| درصد وزنی بوتادین %                                   | ۳۰ الی ۴۰     |
| Dynes/cm کشش سطحی                                     | حداکثر ۵۰     |
| درصد لختگی % (استاندارد ASTM D 1417)                  | حداکثر ۰/۱    |
| پایداری در چرخه یخبندان و آب شدن بر حسب درصد          | حداکثر ۰/۱    |
| وزن مخصوص gr/cm <sup>3</sup>                          | ۱/۰۵ الی ۱/۰۱ |
| گرانروی بروک فیلد @20rpm mPas (استاندارد ASTM D 1417) | ۲۰ الی ۶۰     |
| فعال کننده پراکندگی                                   | غیر یونی      |
| رنگ                                                   | سفید          |

<sup>8</sup> Soluble

<sup>9</sup> Shrinkage

<sup>10</sup> Thermal Strain

<sup>11</sup> Emulsion Polymerization

لاتکس ها دارای انواع گوناگونی هستند که برحسب نوع کاربری، دمای انتقال شیشه ( $T_g$ )<sup>12</sup>، گروه های فعال، دمای تشکیل فیلم و قابلیت امتزاج با مصالح مختلف تولید می گردد. افزودنی لاتکس جهت تولید بتن روکش می بایستی با مصالح و مواد اولیه جهت ساخت بتن سازگاری داشته باشد. این سازگاری به معنای سازش پذیری با نوع سیمان، ریزدانه و درشت دانه موجود در طرح مخلوط به منظور دستیابی به مقاومت های مکانیکی (فشاری، کششی و خمشی)، کنترل میزان هوا و تامین کارپذیری مناسب است. علاوه بر موارد فوق، سازگاری با شرایط محیطی، مناسبات اجرایی و شرایط جوی نیز باید در ساختار لاتکس مصرفی لحاظ شود. به عنوان مثال نسل قدیمی لاتکس ها که در گذشته به منظور تولید چسب های بتن و رزین های واترپروف استفاده می شد را نمی توان در طرح مخلوط بتن LMC بکار گرفت. به دلایل فوق امروزه در کشورهای پیشرفته، افزودنی لاتکس جهت هر پروژه با توجه به ویژگی های طرح مخلوط بتن و نیازمندی های پروژه بصورت انحصاری فرآوری و ساخته می شود.

انتخاب نوع پلیمر به عنوان اصلاح کننده بتن به ویژگی های خاص آن پلیمر برای کاربری مشخص بستگی دارد. پلیمر های استایرن بوتادین نسبت به پلیمر های اکریلیک و یا استایرن اکریک دارای نفوذپذیری کمتر و چسبندگی بیشتر به سطح زیر کار می باشند. کوپلیمرهای وینیل استات نیز اگر چه از لحاظ نفوذ پذیری و چسبندگی به سطح مناسب و قابل استفاده می باشند، ولی امروزه در صنعت راهسازی بتن های اصلاح شده با پلیمر مورد استفاده در روسازی ها از پلیمر استایرن بوتادین استفاده می کنند. لازم به توضیح است که لاتکس های SBR قبل از استفاده در طرح مخلوط بتن نیاز به اصلاح ساختاری و فراوری دارند و در غیر اینصورت پایداری لازم جهت تشکیل فیلم در ساختار بتن را نخواهند داشت. از آنجا که مصالح و مواد اولیه موجود در ایران (از جمله مدول نرمی سنگدانه ها و ...) با مصالح مورد استفاده در FHWA تفاوت هایی دارد، در طراحی و تولید لاتکس مورد استفاده در روکش بتنی LMC پارامترهایی نظیر دمای انتقال شیشه ( $T_g$ )، حداقل دمای تشکیل فیلم (MFFT)، ساختار کلئیدی پلیمر، میزان هوای تولید شده توسط لاتکس، گروه های فعال و ... باید با توجه به مصالح مورد استفاده در کشور اصلاح گردد.

امروزه بیشترین میزان مصرف سیستم روکش LMC در کشور آمریکا است که برای پوشش عرشه پل ها به عنوان سیستمی با نفوذ پذیری کم و همچنین با سرعت بهره برداری بسیار بالا نسبت به سیستم های مرسوم مورد استفاده قرار می گیرد. نسل جدید روکش های LMC می تواند پس از ۳ ساعت مورد بهره برداری قرار گیرد.

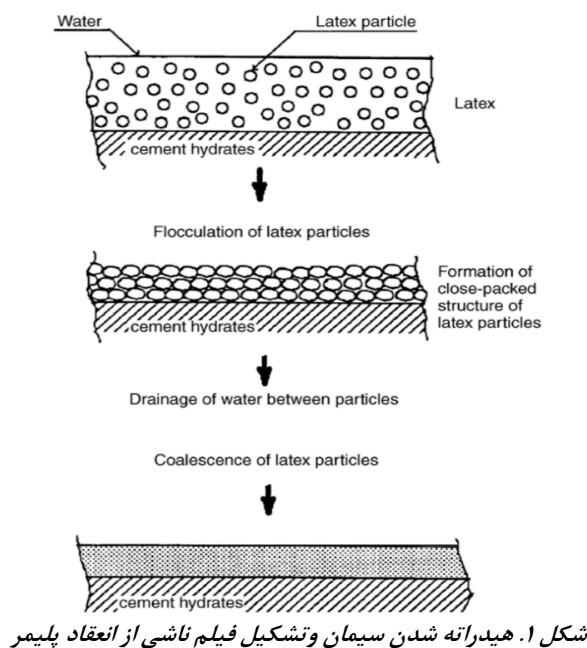
#### ۴- ساختار بتن LMC

بتن اصلاح شده با لاتکس ترکیبی است از سیمان، ریزدانه و درشت دانه و لاتکس که خاصیت پخش شوندگی در آب را دارند. ترکیب لاتکس در بتن، سبب تشکیل فیلم های پلیمری بر روی خمیر سیمان و سنگدانه شده که حفره ها و منافذ مویین را پر می کند و منجر به کاهش قابل ملاحظه نفوذ پذیری بتن در برابر آب و یون های خورنده مانند یون کلر می شود. به علت جایگزینی بخش قابل ملاحظه ای از آب مورد نیاز بتن با لاتکس، نسبت آب به سیمان کاهش یافته و به موجب آن، پتانسیل خوردگی و آسیب های ناشی از چرخه های متناوب ذوب و یخبندان کاهش می یابد. علاوه بر آن اضافه کردن لاتکس به بتن، سبب افزایش مقاومت های فشاری، کششی و خمشی، افزایش مقاومت سایشی و کاهش نفوذپذیری و مدول الاستیسیته خواهد شد [۸].

ترکیبات پلیمرهای اصلاح کننده تاثیرات مشخصی بر خواص مخلوط LMC در هر دو حالت تازه و سخت شده دارد. اصلی ترین مولفه های تشکیل دهنده ی یک پلیمر اصلاح کننده، مونومرهایی هستند که حجم عمده ای از مواد پلیمری را تشکیل می دهند. این اجزا تاثیرات زیادی بر سختی پلیمرها و مقاومت آن ها در برابر هیدرولیز

<sup>12</sup> Glass Transition Temperature

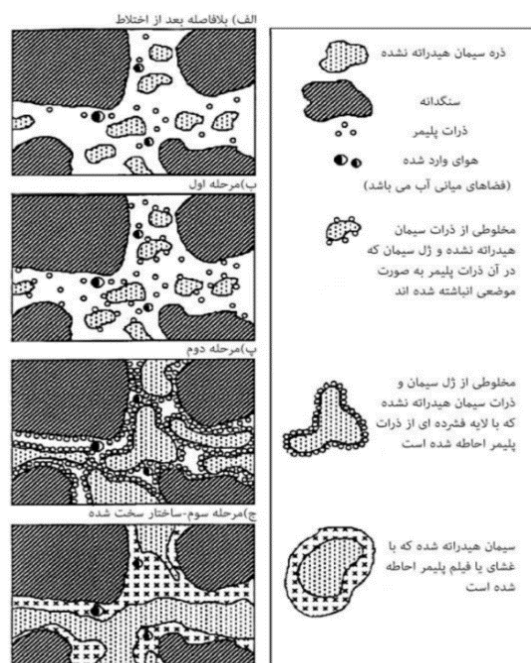
(تجزیه در برابر آب) و اشعه ماورای بنفش (UV)<sup>13</sup> دارند. همچنین مهم ترین ویژگی آن ها تاثیر قابل توجهشان بر مقاومت در برابر نفوذ آب و پایداری در بتن اصلاح شده پلیمری است که موجب دوام و طول عمر بالای روکش های بتنی خواهد شد. پلیمرهای اصلاح کننده دارای اجزای جزئی دیگری نیز می باشند که این اجزا می توانند در بهبود پیوند میان سیمان و سنگدانه ها، ایجاد خاصیت کاهندگی آب و کاهش حباب هوای درشت ایجاد شده در بتن موثر باشند. همچنین در ارتباط با تاثیر PH پلیمر بر خواص بتن "والترز" در سال ۱۹۹۲ نشان داد که لاتکس استایرن بوتادین هنگامی که عدد PH آن بین ۴ تا ۱۰ باشد، تغییرات مطلوبی در روانی، وزن مخصوص حالت مرطوب و خشک و خواص نفوذپذیری بتن LMC ایجاد نمی کند [۵]. از دیگر نکاتی که در استفاده از پلیمرها باید در نظر گرفت، حداقل دمای تشکیل فیلم (MFFT)<sup>14</sup> است. حداقل دمای تشکیل فیلم پلیمر، پایین ترین دمای است که در آن ذرات پلیمری لاتکس، تحرک و انعطاف پذیری لازم را نداشته و در دمای پایین تر از آن تشکیل فیلم اتفاق نمی افتد. به همین علت MFFT تعیین شده برای افزودنی لاتکس SBR تولید شده جهت شرایط اجرایی پروژه مورد نظر باید با توجه به محدوده دمایی، رطوبت هوا و سرعت باد محیط مناسب باشد. مقدار مطلوب مصرف پلیمر (با در نظر گرفتن درصد جامد لاتکس) در مخلوط سیمانی به طور معمول بین ۸ تا ۱۵ درصد وزن سیمان است. استفاده پلیمر بیش از این مقدار معایبی چون افزایش بیش از حد هوای بتن، جمع شدگی و ترک خوردگی بتن را به همراه خواهد داشت. استفاده کمتر از پلیمر باعث کاهش ویژگی های مطلوب از جمله نفوذناپذیری در مخلوط سخت شده می شود. ویژگی های بتن اصلاح شده با لاتکس در مخلوط سیمان معطوف دو فرایند هیدراته شدن سیمان و انعقاد پلیمر می باشند (شکل ۱).



در این فرآیند ابتدا هیدراته شدن سیمان رخ می دهد و پس از تکمیل آن گیرش اتفاق می افتد و بتن سخت می شود. سپس پلیمرها در فضاهای خالی ایجاد شده متمرکز می شوند (شکل ۲). ذرات پلیمر با کم شدن پیوسته آب در اثر هیدراته شدن سیمان، تبخیر و یا هر دوی آن ها، منعقد شده و به صورت فیلم هایی از پلیمر در می آیند که سیمان هیدراته شده را احاطه می کنند.

<sup>13</sup> Ultra Violet

<sup>14</sup> Minimum Film Formation Temperature



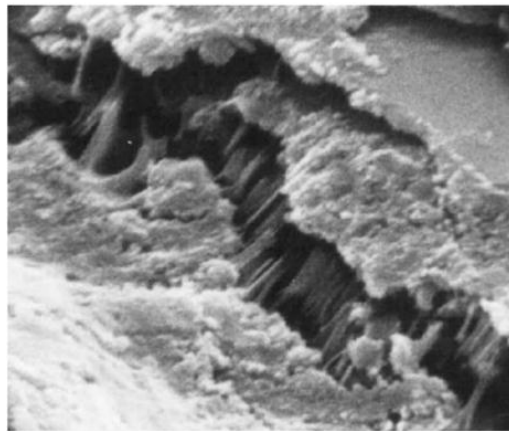
شکل ۲. مراحل الف، ب، ج، روند ترکیب سیمان و لاتکس

بر خلاف مخلوط های سیمان معمولی، بتن LMC تمایلی به آب انداختگی<sup>15</sup> ندارد و بنابراین پتانسیل بیشتری برای ایجاد ترک های ناشی از جمع شدگی خمیری<sup>16</sup> خواهد داشت. به همین دلیل باید با استفاده از سیستم های پوششی مختلف، نرخ تبخیر سطحی را کنترل و 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 سیمان قبل از آنکه به مقاومت کششی لازم دست یابد، دچار جمع شدگی ناشی از خشک شدگی شده و مستعد ترک خوردگی است. شایان ذکر است که عملیات عمل آوری بتن LMC در فاصله زمانی ۲۴ الی ۴۸ ساعت پس از اجرا بایستی به روش تر و بصورت پیوسته و پس از آن تا روز چهارم بصورت خشک صورت پذیرد. ملات سخت شده ی سیمانی دارای ترک های مویینی است که ناشی از تبخیر آب آزاد مخلوط می باشد. در بتن اصلاح شده با لاتکس، ذرات پلیمری که عموماً بزرگ تر از ۱۰۰ نانومتر می باشد، در این لوله های مویین نفوذ می کنند. پلیمرها نه تنها سرعت و میزان تبخیر رطوبت را با مسدود کردن لوله های مویین کاهش می دهند، بلکه هنگامی که ترک های بسیار ریز ایجاد می شود، فیلم پلیمری تشکیل شده مانند پلی بر روی ترک ها عمل کرده و توسعه آن ها را محدود می کند. به این خاصیت پل زدن<sup>17</sup> اطلاق می شود. وجود این رشته ها باعث افزایش مقاومت کششی و خمشی شده و مقاومت در برابر حملات شیمیایی و نفوذ نمک ها را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد (شکل ۳).

<sup>15</sup> Bleeding Water

<sup>16</sup> Bleeding Water

<sup>17</sup> Crack Bridging



(د) بتن اصلاح شده با پلیمر



(ه) بتن معمولی

شکل ۳. تفاوت بتن اصلاح شده با پلیمر و بتن معمولی

## ۵- خواص بتن تازه و سخت شده LMC

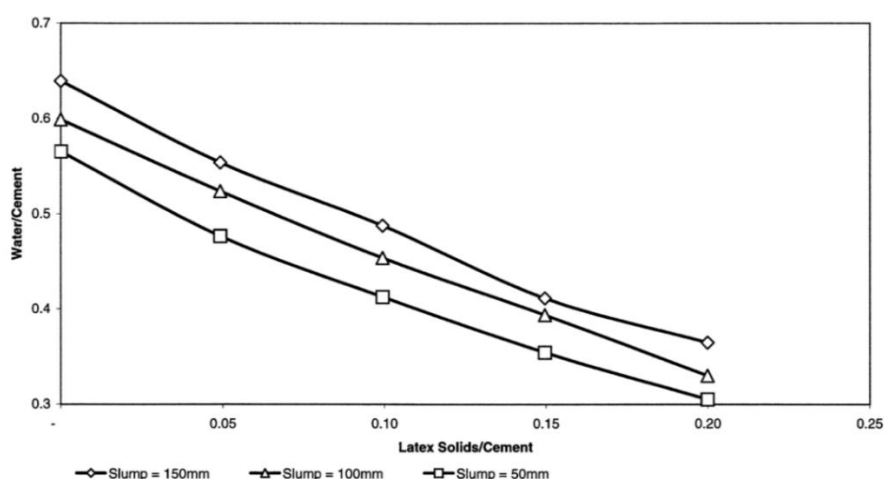
### مقدار هوا

استفاده از لاتکس استایرن بوتادین به علت دارا بودن مواد فعال امولسیون<sup>18</sup> باعث هوا زایی مضاعف در بتن اصلاح شده می گردد. لذا تولید کننده لاتکس بایستی هوا زایی محصول خود را طبق استانداردها و آیین نامه ها کنترل و در دامنه مناسب نگه دارد. بر اساس گزارش وزارت راه آمریکا بتن LMC نیازی به افزودن ماده حباب هوا ساز برای تامین شرایط مندرج در استاندارد ASTM C666 ندارد چرا که بیش از ۳۰ سال تجربه در استفاده از بتن LMC نشان داده است این بتن در برابر چرخه های متناوب یخبندان و آب شدن مشکلی نخواهد داشت. همچنین بر اساس آیین نامه ی ACI 548.4 حداکثر مقدار هوا در بتن اصلاح شده با لاتکس استایرن بوتادین ۶/۵ درصد گزارش شده است، اما حداقلی گزارش نشده است [۸]. با توجه به اینکه لاتکس های SBR فراوری نشده جهت مصرف در بتن می توانند به طور پیوسته تولید هوا کنند و مقدار هوای بتن را به بیش از حد مجاز افزایش دهند، لذا بایستی در محصول لاتکس تولید شده مقدار هوا کنترل گردد.

<sup>18</sup> Emulsifier

## کارایی

بتن های اصلاح شده با لاتکس دارای کارایی بهتری نسبت به بتن های معمول هستند. بتن های اصلاح شده با لاتکس دارای خواص ویژه ای از جمله اثر پخش شونده<sup>۱۹</sup> اجزاء پلیمر در ساختار بتن می باشند و این بتن ها دارای کارایی بهتری نسبت به بتن های معمول هستند. "اوهاما" در سال ۱۹۹۵ نشان داد که با استفاده از لاتکس در مقادیر مختلف، بدون کاهش اسلامپ می توان نسبت آب به سیمان را به مقدار زیادی کاهش داد. [۱۰] نکته قابل توجه در هنگام اجرای بتن LMC دستیابی به اسلامپ مورد نیاز و مناسب با توجه به خواص پلیمر اصلاح شده و گرانی آن می باشد. آیین نامه ACI 548.4 اسلامپ طرح بتن اصلاح شده با لاتکس را در محدوده ۰۰ الی ۲۰۰ میلیمتر مجاز می داند (شکل ۴).



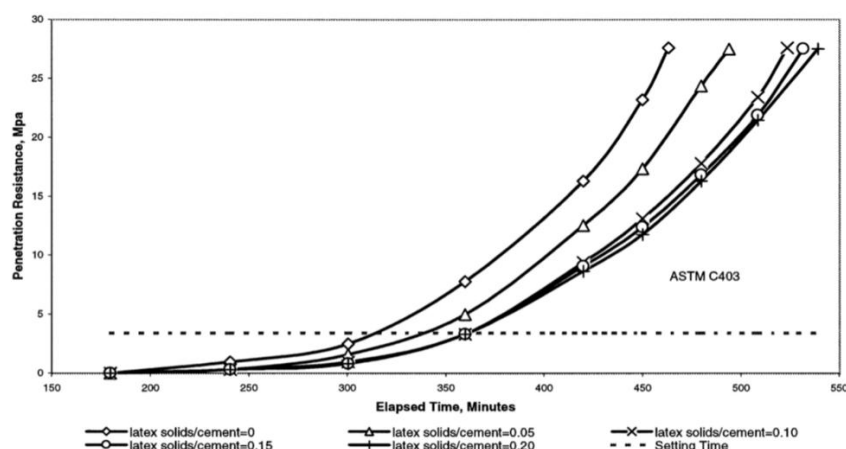
شکل ۴. تاثیر میزان لاتکس بر روی نسبت آب به سیمان در اسلامپ ثابت

## زمان گیرش

زمان گیرش بتن LMC کمی بیشتر از بتن معمولی است. بر اساس مطالعاتی که "اوهاما" و همکاران در سال ۱۹۸۰ انجام دادند، زمان گیرش بتن با نسبت درصد جامد لاتکس به سیمان ۱۵ درصد در مقایسه با بتن بدون پلیمر، به میزان ۱۰ درصد افزایش یافت (شکل ۵) [۱۱]. اگر فاصله زمانی بین تولید بتن تا اتمام عملیات مضرس کردن را مدت زمان عملکرد<sup>۲۰</sup> بنامیم، تفاوتی اساسی بین زمان گیرش با مدت زمان عملکرد بتن وجود دارد. زمان گیرش تابعی از هیدراته شدن سیمان است و مدت زمان عملکرد بتن تحت تاثیر خشک شدگی سطح (به دلیل تشکیل فیلم سطحی پلیمر) می باشد. حداکثر زمان مخلوط کردن بتن ۳ تا ۵ دقیقه می باشد. اگر بتن LMC قبل از اینکه عملیات پرداخت سطح به اتمام برسد، بیش از حد خشک شود، در سطح بتن پوسته ای شکل گرفته و سطح بتن ترک می خورد. به طور کلی زمان عملکرد بتن LMC و قرارگیری در معرض هوا، بین ۱۵ تا ۲۰ دقیقه است. به دلیل وجود تثبیت کننده های کربوکسیلاتی برای ساخت امولسیون لاتکس (که بطور ذاتی حباب زا هستند)، استفاده از بچینگ و تراک میکسر برای اجرای LMC مقدور نمی باشد. لذا در آیین نامه ACI 548.4 استفاده از موبیل میکسر (نوعی مخلوط کن سیار) الزامی می باشد.

<sup>۱۹</sup> dispersion

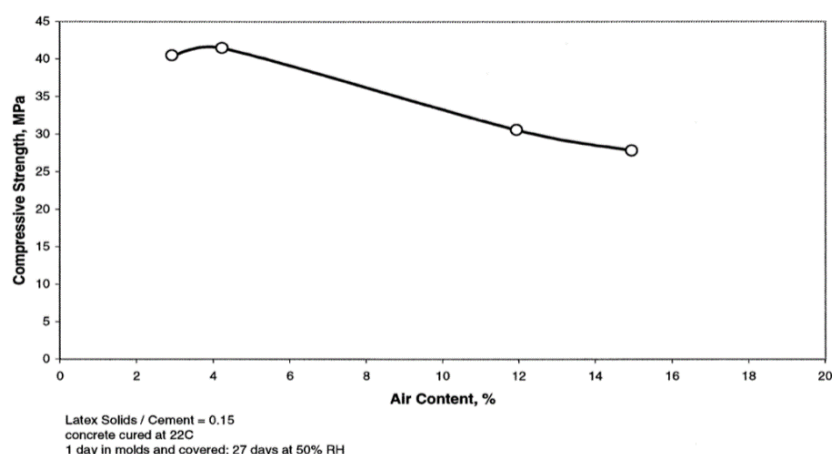
<sup>۲۰</sup> Working time



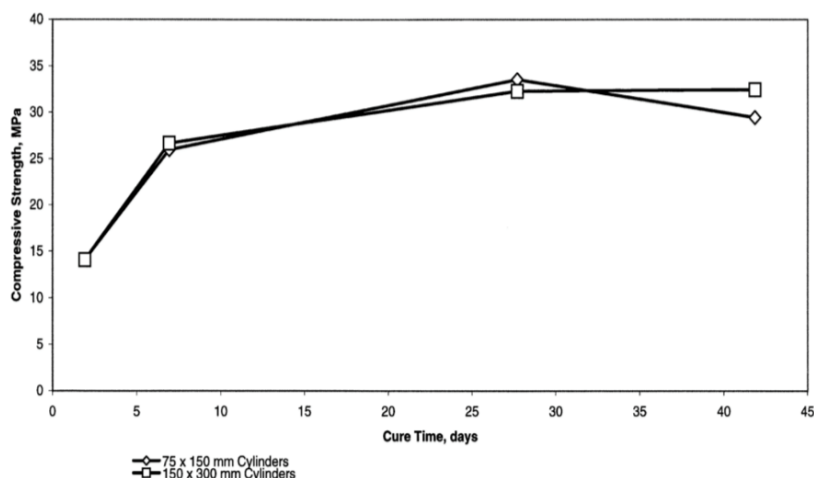
شکل ۵. زمان گیرش بتن لاتکسی با درصد های لاتکس متفاوت (لاتکس صفر درصد همان بتن معمولی است)

### مقاومت فشاری

به طور کلی بتن LMC مقاومت فشاری کمتری نسبت به بتن معمولی با عیار سیمان، سنگدانه و میزان آب مشابه دارد. چرا که خاصیت انعطاف پذیری این نوع بتن نسبت به سختی (چقرمگی) آن بیشتر است. با این وجود میزان جذب انرژی در بتن LMC به مراتب بیشتر از بتن معمولی می باشد. دستیابی به مقاومت فشاری مطلوب در بتن LMC، نیازمند عمل آوری بیشتر و دقیق تری خواهد بود. عمل آوری مطلوب و مورد قبول، مستلزم تامین کامل رطوبت طی مدت زمان ۲۴ الی ۴۸ ساعت پس از اجرای بتن است که با عمل آوری خشک در هوای آزاد تا مدت زمان حداکثر ۹۶ ساعت ادامه می یابد. در طول زمان عمل آوری با هوا، آب اضافی تبخیر شده و اجازه داده می شود تا فیلم پلیمر در ساختار داخلی بتن به طور کامل شکل بگیرد و منعقد شود. برای بتن هایی که به عنوان روکش با ضخامت کمتر از ۵۰ میلی متر اجرا میگردند، استفاده از دانه بندی ریزتر به همراه افزودنی لاتکس مناسب (با هوازایی کنترل شده) سبب افزایش مقاومت فشاری خواهد شد (شکل ۶ و ۷)



شکل ۶. میزان هوای بتن و تاثیر آن بر مقاومت فشاری



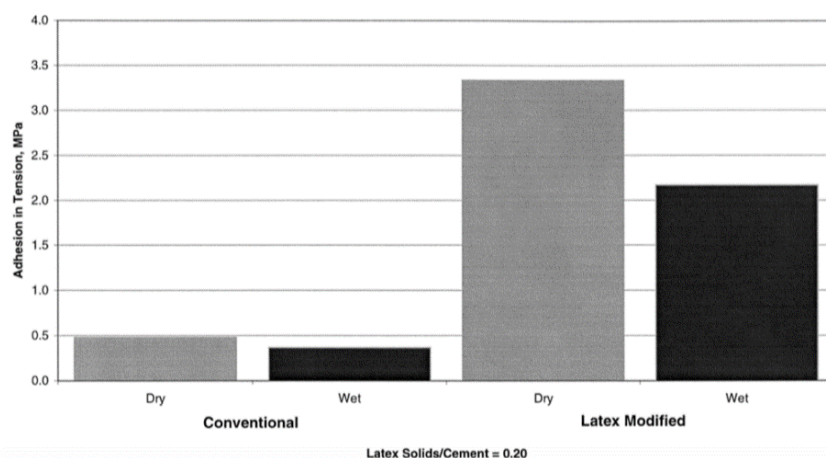
شکل ۷. مقاومت فشاری بتن لاتکسی در ۲ اندازه مختلف آزمون‌های استوانه‌ای

### جمع شدگی

بر اساس تحقیقات "اوهاما" و همکاران در سال ۱۹۸۲ اضافه کردن لاتکس به بتن باعث تشدید اثر جمع شدگی کل نمی‌گردد بلکه جمع شدگی ناشی از خشک شدگی<sup>۲۱</sup> کاهش می‌یابد [۱۲]. با این وجود پتانسیل بروز ترک‌های ناشی از جمع شدگی خمیری<sup>۲۲</sup> به دلیل تشکیل فیلم سطحی زودهنگام افزایش می‌یابد. به طور کلی تحقیقات نشان می‌دهد که جمع شدگی تحت تاثیر میزان آب بتن بوده و به میزان لاتکس در بتن مرتبط نمی‌باشد. به همین دلیل بهترین روش کنترل جمع شدگی، کاهش نسبت آب به سیمان با توجه به تامین حداقل کارپذیری مورد نیاز خواهد بود.

### چسبندگی

چسبندگی مطلوب بتن LMC به عنوان روکش پل سال‌ها پیش به اثبات رسیده و مورد تایید قرار گرفته است. مطالعات و آزمایشات فراوانی در این زمینه توسط ACI صورت گرفته است. این آزمایش‌ها نشان دادند که با گذشت زمان میزان چسبندگی افزایش می‌یابد. همچنین در سال ۱۹۸۶ "اوهاما" و همکاران میزان چسبندگی نمونه بتن اصلاح شده با لاتکس استایرن بوتادین را اندازه‌گیری کردند (شکل ۸) [۱۳].



شکل ۸. تفاوت چسبندگی بتن LMC و معمولی

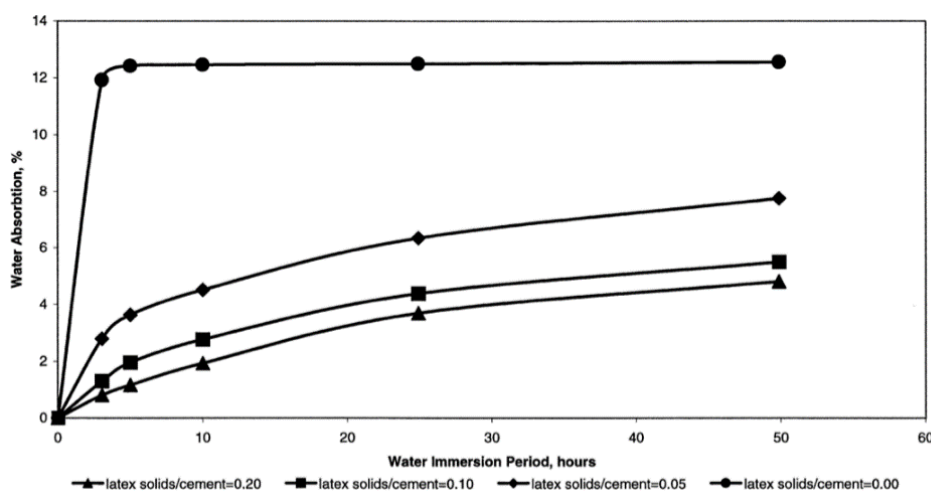
<sup>۲۱</sup> Drying shrinkage

<sup>۲۲</sup> Plastic Shrinkage

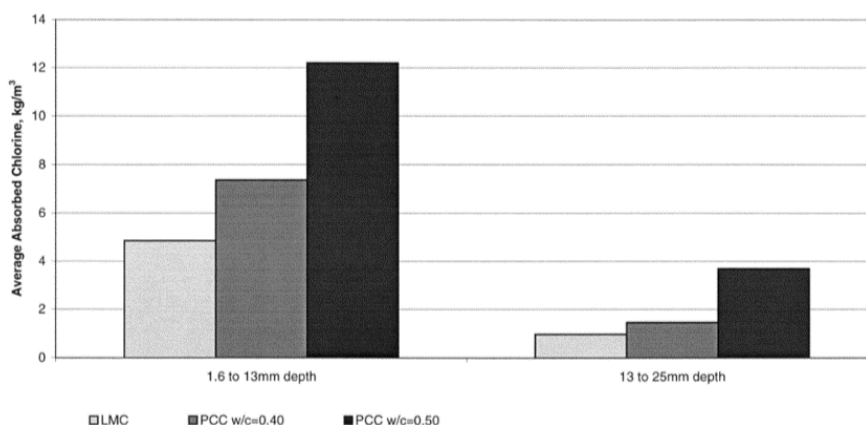
## نفوذپذیری

ساختار بتن LMC به گونه ای است که لوله های مویینه و حفراتی که معمولاً در خمیر سیمان و یا در خمیره بتن وجود دارند، به صورت نسبی در طول دوره عمل آوری با فیلم پلیمری پر می شوند. تشکیل این لایه ها در عمق و سطح بتن، دلیل اصلی کاهش نفوذپذیری و جذب آب در بتن LMC نسبت به بتن معمولی است. این خواص در مطالعات بسیاری با استفاده از آزمایش های نفوذ بخار آب، جذب آب، مقاومت در برابر کربناته شدن و نفوذپذیری یون کلر مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج حاکی از آن بوده که نفوذپذیری LMC به طور قابل ملاحظه ای بعد از ۲۸ روز کاهش می یابد. طبق آزمایش های استاندارد که توسط ACI در خصوص رابطه ی هوای بتن با میزان نفوذپذیری در بتن LMC انجام گرفت، ثابت شد که میزان هوای بالا، به دلیل کوچک بودن اندازه حباب های هوا، تاثیری در نفوذپذیری بتن ندارد (شکل ۹ و ۱۰).

همچنین نتایج نفوذپذیری در برابر یون کلر که توسط وزارت راه آمریکا ارائه شده است، در جدول ۲ آمده است.



شکل ۹. جذب آب بتن LMC با درصد های لاتکس متفاوت



شکل ۱۰. تفاوت نفوذپذیری بتن معمولی و LMC در مقابل یون کلر در ۹۰ روز روش آزمون ASTM C1543

جدول ۲. آزمایش نفوذ پذیری در مقابل یون کلر  
بر اساس آزمایش تدوینی توسط FHWA (RD-81/119) مشابه آزمون استاندارد ملی ۲۰۷۹۳ (ASTM C1202)

| نوع بتن                           | مقدار جریان عبوری (کولمب) |
|-----------------------------------|---------------------------|
| بتن شاهد (نسبت آب به سیمان = ۰/۴) | ۱۲۱۰                      |
| بتن شاهد (نسبت آب به سیمان = ۰/۵) | ۲۵۶۰                      |
| بتن LMC                           | ۸۷۶                       |

توضیح: میزان عبور جریان الکتریکی با قابلیت نفوذ یون کلر در بتن رابطه مستقیم دارد.

### مقاومت در برابر چرخه های متناوب ذوب و یخبندان

در بتن LMC 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 چرخه های متناوب یخ زدگی و ذوب شدن در بتن LMC نسبت به بتن معمولی بیشتر است. همچنین بتن LMC به علت وجود پلیمر اصلاح کننده در طرح مخلوط به افزودنی حباب ساز نیازی ندارد، زیرا لاتکس Arma SBL-MIX تولید شده با شرایط استاندارد مشخص شده در FHWA، به طور تقریبی ۵ الی ۷ درصد هوا در بتن ایجاد کند.

### ۶- مطالعه موردی - اجرای نمونه آزمایشی در قطعه یک آزاد راه تهران - شمال

قطعه یک آزاد راه تهران - شمال از تقاطع بزرگراه آزادگان و بزرگراه شهید همت شروع و با عبور از مناطق کن، سولقان و امام زاده عقیل و تونل تالون و دره لانیز به سه راهی شهرستانک می رسد. طول این قطعه در حدود ۳۲ کیلومتر و دارای دو خط رفت و برگشت و در قسمت های فراز یک خط کندرو به مسیر اضافه میگردد. این قطعه دارای ۲۵ دستگاه پل در مسیر رفت و برگشت می باشد. طول این پل ها در مجموع ۳۱۳۷ متر بوده که بلندترین پل این منطقه، پل شماره ۶ با طول عرشه حدود ۳۲۰ متر و با ارتفاع ۸۰ متر از بستر رودخانه می باشد. قطعه شماره یک آزاد راه تهران - شمال از روسازی بتنی بهره می برد. این روسازی بتنی ساده درز دار (JPCP) با فینیشر اجرا شده است. از آنجایی که این قطعه در منطقه ای کوهستانی واقع شده است، حفاظت از سازه بتنی عرشه پل های این منطقه بسیار حائز اهمیت می باشد. از آنجایی که روکش های بتنی اصلاح شده با لاتکس (LMC) به عنوان مناسب ترین گزینه جهت روکش پل در دنیا شناخته شده اند، استفاده از بتن LMC برای روکش پل های آزاد راه به پیشنهاد شرکت مشاور ایمن راه تحت نظارت عالییه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهر سازی در دستور کار قرار گرفت.

با توجه به اینکه روکش بتنی LMC با لاتکس استاندارد با ملزومات FHWA تاکنون در کشور در صنعت راهسازی تولید و اجرا نشده بود، پروژه تولید لاتکس SBR مطابق با الزامات FHWA و تحقیقات ساخت و اجرای بتن LMC در دستور کار قرار گرفت و پس از انطباق محصول آزمایشی تولید شده در واحد تحقیق و توسعه شرکت تولید کننده لاتکس، دو نمونه آزمایشی از بتن LMC توسط تیم اجرایی تحت نظارت عالییه مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در قطعه شماره یک آزاد راه اجرا گردید.

## طرح مخلوط

از آنجا که ویژگی های مصالح موجود و مورد استفاده در پروژه (نمودار دانه بندی، مدول نرمی سنگدانه، بلین و نوع سیمان، زمان گیرش و ...) با طرح بتن لاتکس مندرج در ACI و FHWA تفاوت دارد، طرح مخلوط مورد استفاده در این پروژه بر مبنای اصول روش ملی طرح مخلوط و با توجه به ضوابط مندرج در ACI 548.4 و با در نظر گرفتن انطباق افزودنی لاتکس SBR با مصالح موجود در پروژه و شرایط آب و هوایی محل، مشخص و اجرا شد.

جدول ۳. مشخصات فنی مصالح مورد نیاز برای ساخت بتن اصلاح شده با لاتکس (LMC) مطابق با آیین نامه ACI 548.4

| ردیف | ویژگی                                | مشخصات ACI | مشخصات پروژه |
|------|--------------------------------------|------------|--------------|
| ۱    | مدول نرمی سنگدانه ریز                | ۲/۳ تا ۳/۱ | ۳/۴          |
| ۲    | سلامت سنگدانه ریزدانه (افت وزنی %)   | حداکثر ۱۲  | ۲            |
| ۳    | سلامت سنگدانه درشت دانه (افت وزنی %) | حداکثر ۱۲  | ۱            |
| ۴    | حداکثر اندازه سنگدانه درشت mm        | ۱۲/۵       | ۱۲/۵         |
| ۵    | جذب آب ریزدانه ( % )                 | حداکثر ۲   | ۲/۹          |
| ۶    | جذب آب درشت دانه ( % )               | حداکثر ۲   | ۱/۳          |

## ۷- نحوه اجرای LMC

نحوه اجرای نمونه بتن LMC بر پایه استاین بوتادین مطابق با آیین نامه ACI 548.4 مشخص شده است و طی مراحل ذیل به انجام رسید:

## روش مخلوط

امروزه در کشور آمریکا جهت تولید بتن های LMC از مخلوط کن سیار (شکل ۱۱) استفاده می گردد. این تجهیزات دارای سیستم توزین است و نرخ تولیدی بین ۵ تا ۴۰ متر مکعب در ساعت را دارا می باشند. تولید بتن LMC در محل اجرا بسیاری از مشکلات در خصوص زمان عملکرد کوتاه بتن را از بین می برد، چرا که بتن به اندازه و در زمان مورد نیاز متناسب با پیشرفت عملیات اجرایی تولید می شود. برای پروژه های کوچک، استفاده از مخلوط کن های کوچک می تواند گزینه ای قابل قبول باشد.



شکل ۱۱. مخلوط کن سیار

به منظور مدیریت زمان و منابع انسانی با توجه به زمان گیرش و زمان عملکرد محدود بتن LMC در پروژه آزاد راه تهران - شمال، مخلوط کن سیار (شکل ۱۲) به عنوان دستگاه تولید بتن انتخاب گردید که در هر پیمانته تولید بتن امکان تامین حدود ۴۰۰ لیتر را بصورت پی در پی فراهم می ساخت تا از ایجاد وقفه و نهایتاً بروز درز سرد<sup>۲۳</sup> حین عملیات جلوگیری گردد.



شکل ۱۲. خلاطه استفاده شده در پروژه

مصلح مورد نیاز در کنار مخلوط کن سیار (خلاطه) و نزدیک به محل اجرای کار تامین شده بود. سیمان بصورت پاکتی و شن و ماسه با استفاده از پیمانته حجمی (که از قبل وزن معادل آن تعیین شده بود) اندازه گیری و بر حسب نسبت طرح مخلوط به درون میکسر ریخته و مخلوط شدند. لاتکس SBR شرکت تولید کننده ایرانی در مخازن ۱۰۰۰ لیتری و همچنین گالن به محل پروژه ارسال گردید و با استفاده از کنتور حجمی به میزان مورد نیاز استفاده گردید. ترتیب مخلوط کردن اجزا از آیین نامه ACI 548.4 اقتباس و اجرا گردید. زمان کلی مخلوط کردن در مخلوط کن سیار در حدود ۳ الی ۴ دقیقه و اسلامپ پیمانته های تولیدی در محدوده ۱۱۰ الی ۱۴۰ میلی متر تعیین شد و توسط ناظر ویژه تولید بتن، کنترل گردید. دما، اسلامپ و میزان هوای بتن در هر بخش تولیدی توسط مسئول مربوطه نمونه برداری و اندازه گیری شد. همچنین از چهار پیمانته تولیدی به منظور اندازه گیری مقاومت های فشاری و خمشی در سنین مختلف، آزمون های مکعبی نمونه برداری و به آزمایشگاه همکار اداره استاندارد ارسال گردید. (شکل ۱۳)



شکل ۱۳. آزمون های مکعبی گرفته شده در حین پروژه

<sup>23</sup> Cold joint

## آماده سازی سطوح

آماده سازی سطوح<sup>24</sup> به کلیه ی عملیاتی اطلاق می شود که به منظور مهیا کردن بستر کار<sup>25</sup> جهت ایجاد چسبندگی مناسب و اتصال مکانیکی بین پوشش جدید روکش و دال بتنی انجام می پذیرد. بطور کلی هیچ نوع پوششی بدون انجام آماده سازی صحیح سطح، دوام مناسب و چسبندگی ماندگار به سطح زیر کار را نخواهد داشت. الزامات آماده سازی سطوح در آیین نامه ACI548.4 جهت بتن LMC و بطور کلی در استانداردهای DIN 1045 و DIN 28052 به صورت کامل توضیح داده شده است. همچنین، انجمن بین المللی ترمیم بتن دستنامه ICRI 1997 را در این خصوص منتشر کرده است. در این استانداردها تاکید شده که دال های بتنی باید تمیز و عاری از هرگونه آلودگی، غبار، پوشش های قبلی، رنگ و .. باشد و دانه های درشت آن بیرون زده باشد. تمام اجزای سست و لق باید به روش مکانیکی یا شیمیایی (شستشو با دترجنت مربوطه) برداشته شوند. بدین منظور پاکسازی سطح معمولا با استفاده از یک یا چند دستگاه ساب، ماسه پاشی، آب پاشی با فشار، پاشش یخ با فشار و یا ابزارهای دستی انجام گرفته و سپس، شستشو با آب و دمیدن باد انجام می گیرد. در این پروژه، روش ساب با استفاده از فرز مکانیکی و صفحه ساب الماسه و سپس شستشوی سطوح انتخاب و اجرا گردید. پیش از اعمال روکش LMC بایستی سطح زیر کار به مدت چند ساعت آب دهی شده و پس از اشباع شدن به مدت یک ساعت قبل از اجرا خشک شود و تمام چاله های آب تخلیه گردند.

## اجرای بتن LMC

جهت قالب بندی، سطوح مورد نظر به سه بخش طولی تقسیم بندی شد، و قالب ها تثبیت گردید و تراز ارتفاعی هر نقطه با استفاده از تراز لیزری کنترل شد. قالب ها با روغن قالب چرب شده تا زمان برداشت قالب به بتن آسیب وارد نکند. بتن تولید شده توسط مخلوط کن سیار در محل ریخته شده و توسط فینیشر دستی اتوماتیک (شمشه لرزان جای دهی) پرداخت گردید. دستگاه مذکور امکان اجرای بتن و پرداخت تا عرض ۶ متر را فراهم می آورد. معمولا برای اجرای روکش ها به ویژه بتن LMC، فینیشرهای غلتکی خودران<sup>26</sup> (شکل ۱۴) و شمشه لرزان (شکل ۱۵) مناسب ترین روش برای بتن ریزی و تسطیح می باشد. با توجه به گرانروی بالای بتن اصلاح شده با لاتکس SBR، نیروی مورد نیاز جهت پرداخت و ایجاد تراکم مورد نظر توسط لرزاننده و همچنین مدت لرزاندن دستگاه بایستی مدنظر قرار گیرد. در پایان به منظور ایجاد زبری مورد نظر با وسیله مخصوص مضرس کردن روکش پل، کار به اتمام می رسد.

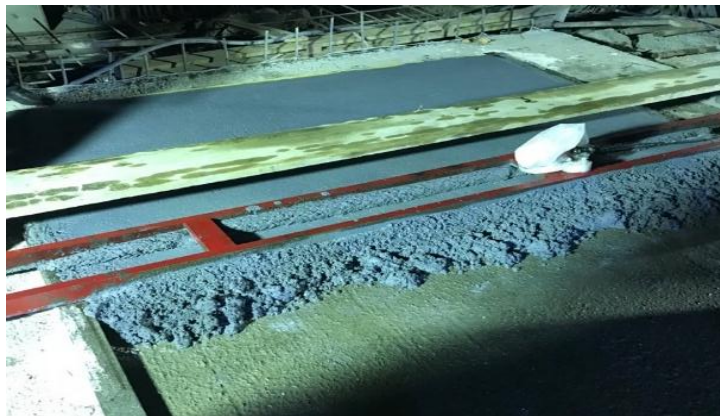


شکل ۱۴. فینیشر غلتکی خودران

<sup>24</sup> Surface Preparation

<sup>25</sup> substrate

<sup>26</sup> Roller Finishers



شکل ۱۵. شمشه لرزان استفاده شده در پروژه

بتن LMC به عامل چسباننده دیگری به سطح زیرین به عنوان پرایمر نیاز ندارد و در صورت لزوم می توان مقداری از دوغاب پلیمر و سیمان را به منظور تسطیح و زیرسازی به صورت دستی با برس بر روی سطح اعمال نمود. قبل از خشک شدن این دوغاب، بتن بر روی سطح اعمال می گردد. به دلیل زمان کار کوتاه در سیستم LMC بتن ریزی روکش توسط افزودنی لاتکس SBR بایستی بصورت پیوسته صورت پذیرد تا بتن روکش دچار درز سرد نگردد. در هنگام بتن ریزی توجه به شرایط جوی بسیار اهمیت داشته و میزان تبخیر بایستی حداکثر  $0/50 \text{ kg/m}^2/\text{h}$  باشد. اگر نرخ تبخیر بیش از مقدار اشاره شده باشد بایستی از سیستم مه پاشی جهت بالا بردن رطوبت محیط یا کاهش دما یا جبران تبخیر استفاده گردد و در صورتی که هوا بارانی و یا بسیار مرطوب باشد، محیط اجرا باید با ساخت تونل محافظ کنترل شود. همچنین دمای محیط در هنگام بتن ریزی LMC باید بین ۷ الی ۳۵ درجه سانتیگراد باشد.

برای رسیدن به سطح دلخواه که دارای مقاومت قابل قبولی در مقابل سر خوردن باشد، با استفاده از ماله T سطح روکش پرداخت شده سپس با استفاده از ماله دستی و ماله L سطح کار اصلاح می گردد به دنبال آن با استفاده از جارو، بافت سطحی با عمق کم (اولیه) را ایجاد کرده، سپس بافت سطحی نهایی با استفاده از شانه مخصوص ایجاد می گردد (شکل ۱۶). حداکثر مدت زمان لازم از تولید بتن LMC تا اجرای آن و مسطح کردن و ایجاد بافت مناسب حدود ۱۰ دقیقه میباشد. بعد از ایجاد بافت، سطح کار بایستی حدود ۵ الی ۱۰ دقیقه با مه پاشی کنترل شود سپس با چتایی مرطوب پوشانده شود تا بافت آسیبی نبیند.

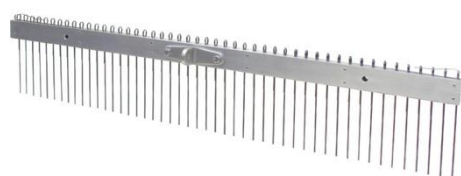
وسیله مخصوص مضرس کردن (شانه بافت) روکش پل بایستی بین ۳ تا ۵ میلیمتر عمق ایجاد کند و فاصله بین شیارها ۱۳ الی ۱۹ میلیمتر باشد (شکل ۱۷). به طور کل ویژگی بافت ها می بایستی بر اساس مطالعات انجام شده توسط مهندسین پروژه بر مبنای پارامترهای گوناگونی همچون عبور و مرور وسایل نقلیه، میانگین سرعت عبور و مرور، میزان بارندگی، میزان صدا و ... به دست آید. بافت ها به دو نوع ریز و درشت برای روسازی ها تقسیم می شوند. هر کدام قابلیت های منحصر بفردی را در روکش ایجاد می کنند. استانداردهای ASTM E965 برای نحوه اندازه گیری عمق درشت بافت و ASTM E1845 برای محاسبه عمق مورد نیاز درشت بافت مورد استفاده قرار می گیرد. وزارت راه آمریکا (FHWA) آیین نامه هایی در این زمینه در دسترس قرار داده است.



شکل ۱۶. سطح نهایی پس از ایجاد بافت



شکل ۱۷. شانه بافت



## عمل آوری

دوره اجرای عمل آوری در بتن LMC به این صورت است که ابتدا نیازمند عمل آوری مرطوب به مدت ۲۴ الی ۴۸ ساعت می باشد تا از تشکیل ترک های ناشی از جمع شدگی خمیری پیشگیری گردد و به دنبال آن عمل آوری خشک صورت پذیرد که سطح بتن در مجاورت با هوا قرار گرفته و انعقاد و تشکیل فیلم پلیمری را به همراه دارد و موجب توسعه مقاومت کششی و خمشی بتن می گردد. بر همین اساس بعد از اتمام اجرای بافت باید روی بتن با چتایی مرطوب پوشانده شود. چتایی ها باید شب قبل در حوضچه آب خیسانده شده و نیم ساعت قبل از پهن کردن روی بتن، از حوضچه آب خارج شود تا آب اضافه آن گرفته شده و چتایی فقط مرطوب باشد. (شکل ۱۸ و ۱۹)



شکل ۱۸. عملیات پرداخت بتن لاتکسی



شکل ۱۹. عملیات پرداخت در پروژه

### تعبیه درزهای اجرایی و اتصالات

یکی از نکات مهم در اجرای روسازی پل ها، در نظر گرفتن نقاط اتصال روکش بتنی پل با بتن ادامه جاده به ویژه نقاط انتهایی پل ها می باشد. معمولاً محل اتصال روکش پل با ادامه جاده توسط قطعات مخصوص<sup>۲۷</sup> مرتبط می شود. این اتصالات دارای تنوع در شکل و کاربری می باشد. لذا جهت انتخاب آنها بایستی با سیستم نظارتی و واحدهای تصمیم گیری مشورت و تبادل نظر گردد. همچنین استفاده از دال بتنی روکش با طول چند متر پس از درز انتهایی پل<sup>۲۸</sup> به دلیل ضریب انبساطی متفاوت بتن LMC و سپس تغییر روسازی جاده توسط بتن مورد استفاده جهت روسازی، پیشنهاد می گردد.

از سوی دیگر، با توجه به امکان ایجاد تنش های دمایی و انبساط و انقباض مکرر بتن روکش، تعبیه درزهای انقباضی<sup>۲۹</sup> چه در هنگام عملیات اجرایی و چه در نقاط اتصال بتن و فلز و پرکردن درزها توسط ماستیک مناسب به منظور جلوگیری از ترک خوردگی های سطحی ضروری به نظر می رسد.

<sup>۲۷</sup> Finger Joint

<sup>۲۸</sup> Approach Slab

<sup>۲۹</sup> Contraction Joint

بر اساس استاندارد ASTM D8139 و BS-8204 تعبیه درزهای اجرایی به طرق مختلف از جمله بتن ریزی بصورت اسلب های بتنی با فواصل مشخص، استفاده از قالب چوبی یا فلزی در درزها و همچنین برش و ایجاد درز با اره برشی (Saw cut) امکان پذیر است. همچنین با توجه به عرض پل ها و مساحت قابل اجرا در هر روز، امکان بروز یک الی دو درز طولی (Cold Joint) وجود خواهد داشت. این درزها در عرض با توجه به طول پل متفاوت است و احتمالا یک یا دو درز اجرایی در عرض نیز به وجود خواهد آمد که استفاده از اره به منظور برش نقاط اتصال تا عمق ۲ سانتی متر و سپس پرکردن آنها با مواد آبرولاستیک مناسب توصیه می گردد.

## ارائه نتایج

اهم مشخصات فنی مورد نظر طی آزمایش های انجام شده در یکی از آزمایشگاه های همکار سازمان ملی استاندارد بر روی بتن اصلاح شده با لاتکس SBR تولید شده توسط شرکت ایرانی بصورت مقایسه ای با الزامات وزارت راه آمریکا (FHWA) بر روی بتن LMC به شرح ذیل در جدول ۴ ارائه می گردد: (FHWA RD-78-35)

جدول ۴. مقایسه ویژگی های فیزیکی و شیمیایی بتن های شاهد و لاتکسی FHWA و بتن لاتکسی شیمی سازه آرمانی

| ویژگی های فیزیکی و شیمیایی                                    | بتن شاهد | الزامات FHWA | بتن لاتکسی با لاتکس SBR ایرانی | ارزیابی |
|---------------------------------------------------------------|----------|--------------|--------------------------------|---------|
| w/c                                                           | 0/4      | حداکثر ۰/۴   | ۰/۳۸                           | ✓       |
| نسبت درشت دانه به ریز دانه                                    | 60/40    | ۵۰-۶۰/۴۰-۵۰  | ۵۵/۴۵                          | ✓       |
| اسلامپ mm                                                     | 20-40    | ۱۰۰-۱۵۰      | ۱۱۰-۱۴۰                        | ✓       |
| آزمایش تعیین منافذ میکروسکوپی هوا در بتن سخت شده<br>ASTM C457 | 2/1      | کمتر از ۶/۵  | ۶                              | ✓       |
| آزمایش مقاومت فشاری (Mpa)<br>ASTM C39                         | ۲۸ روزه  | بند ۴.B.۶.۳  | ۲۲                             | ✓       |
|                                                               | ۲۸ روزه  |              | ۳۰                             | ✓       |
| آزمایش مقاومت خمشی (Mpa)<br>ASTM C78                          | ۷ روزه   | بند ۴.B.۴.۶  | 5                              | ✓       |
|                                                               | ۲۸ روزه  |              | ۶/۲                            | ✓       |

جدول ۵. مقاومت در برابر پوسته پوسته شدن سطحی بتن در مقابل مواد شیمیایی یخ زدا - بر اساس استاندارد ملی ۱۷۰۴۱ (ASTM C672)

| نوع بتن                        | ۲۵ چرخه | ۵۰ چرخه | ۷۵ چرخه | ۹۰ چرخه |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| بتن شاهد با ۷ درصد هوا         | ۱       | ۱       | ۲       | ۲       |
| بتن شاهد با ۲ درصد هوا         | ۵       | ۵       | ۵       | ۵       |
| بتن لاتکسی با لاتکس SBR ایرانی | ۰       | ۰       | ۰       | ۱       |

توضیح: (۰) بدون پوسته شدگی - (۵) پوسته شدگی شدید

## ۸- جمع بندی

با توجه به نتایج تحقیقات این پروژه و همچنین مطالعات انجام شده بر روی تجربیات کشورهای خارجی به ویژه ایالات متحده، استفاده از بتن اصلاح شده با لاتکس (LMC) به عنوان روکش بتنی پل ها در جاده ها و راه هایی که در سایر سطوح دارای روکش بتنی یا آسفالت هستند یکی از بهترین گزینه ها جهت دستیابی به دوام و ایمنی زیاد خواهد بود. زیرا بتن LMC علاوه بر عایق سازی عرشه پل و کاهش نفوذپذیری آب و یون های خورنده، امکان فراهم ساختن روکشی بادوام در برابر چرخه های متناوب یخبندان و ذوب با مقاومت سایشی، خمشی و فشاری زیاد را در یک لایه نازک (در حدود 3 الی 5 سانتی متر) با چسبندگی فوق العاده به لایه زیر کار فراهم می آورد.

از آنجا که طی سال های اخیر قیمت قیر با افزایش قابل ملاحظه ای روبرو بوده است و به دلیل ضعف های ساختاری روسازی های پایه قیری و در نتیجه هزینه های تعمیرات و نگهداری بالای این نوع روسازی و عدم وجود روش موثر در عایق کاری عرشه پل ها، انتظار می رود بکارگیری روکش بتنی LMC جهت روکش پل ها در پروژه های راه سازی کشور با توجه به بی بدیل بودن آن از منظر افزایش کیفیت و دوام و حفاظت کامل از سازه عرشه پل ها در برابر نفوذ آب و املاح شیمیایی مهاجم، در دستور کار وزارت محترم راه و شهرسازی و سیاست گذاری های کلان کشور قرار گیرد.

با توجه به اصلاحاتی که در طرح مخلوط مندرج در آیین نامه ACI به دلایل محدودیت های تامین ریزدانه موجود در کشور (از نظر دانه بندی و مدول نرمی) و تولید لاتکس مورد نیاز جهت پروژه آزادراه تهران - شمال انجام گرفته است و همچنین تجاربی که در پیاده سازی الزامات اجرایی با توجه به شرایط دمایی و آب و هوایی پروژه، ایجاد بافت مطلوب سطحی و تجهیزات مورد نیاز در این پروژه به دست آمد، می توان اذعان نمود که این تکنولوژی در کشور کاملاً بومی سازی گردیده است و در پروژه های کوچک (از ۲۰۰ متر مربع در هر نوبت کاری) یا بزرگ (به طول نامحدود با استفاده از بکارگیری تجهیزات ساخت و پرداخت مکانیزه) قابل اجرا خواهد بود.

## ۹- تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از شرکت دانش بنیان صنعت بام گلستان (با نام تجاری شیمی سازه آرمانی) به دلیل در اختیار گذاشتن نمونه محصول لاتکس بر پایه SBR با نام تجاری ARMA LATEX SBL-MIX که برای اولین بار در کشور به منظور استفاده در روکش بتنی LMC ساخته و تهیه شده بود تشکر و قدردانی می نمایند.

همچنین از آقایان دکتر فریدون مقدس نژاد، مشاور محترم پروژه آزادراه تهران - شمال (از طرف شرکت ایمن راه)، دکتر مهدی چینی، مدیر دستگاه نظارت عالیه پروژه آزاد راه تهران - شمال (از طرف مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) و دکتر تدین، ریاست محترم انجمن بتن ایران به دلیل ارائه پیشنهادات و راهنمایی های ارزنده در حین انجام این پروژه قدردانی می شود.

- [1] *The Benefits of Concrete Highways*, Cement Association of Canada, Thecnical Report, cement.ca
- [2] Lane, S., 2017 "FHWA LTBP Summary – Current Information on the use of Overlays and Sealers" FHWA-HRT-16-079.
- [3] Bond, A.E. 1932, British Patent 369, 561, Mar. 17.
- [4] Rodwell, A. G., 1939, German Patent 680, 312, Aug. 29.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] ACI 548.4-11 - *Specification for Latex-Modified Concrete Overlays*, ACI (2012)
- [9] 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).
- [10] Ohama, Y., Chapter 7, 1995, "Polymer-Modified Mortars and Concretes," *Concrete Admixtures Handbook*, V. S. Ramachandran, ed., Noyes Publications, Park Ridge, N.J.
- [11] Ohama, Y.; Miyake, T.; and Nishimura, M., 1980, "Properties of SBR-Modified Concrete," *Nihon-Kenchiku-Gakkai Kantoshibu Kenkyu-Hokokushu*, pp. 289-292. (in Japanese) [9]  
Walters, D.G., 1990, "A Comparison of Latex-Modified Portland Cement Mortars," *ACI Materials Journal*, V. 87, No. 4, July-Aug., pp. 371-377.
- [12] 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.
- [13] 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. [14] 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)
- [15] 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.
- [16] 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.