کاربردهای بتن پلیمری

بتن تهیه شده از سیمان، آب و سنگدانه رایج ترین ماده برای ساخت سازه های مختلف به شمار می رود. این ترکیب غالباً خواص مکانیکی خوبی دارد و در ساختمان ها، پل ها، سدها و سازه های دریایی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. متاسفانه به خاطر خواص ضعیف بتن های سیمانی نظیر مقاومت سایشی کم، نفوذ پذیری بالا، زمان گیرایش زیاد، مقاومت پایین در برابر مواد شیمیایی و پدیده هایی مانند کاویتاسیون (ایجاد حفره) و خوردگی ناشی از نفوذ کلر و همچنین مقاومت کم در برابر یخبندان استفاده از آنها در سدها و سازه های دریایی با مشکلات عدیده ای همراه است. خروج آب ایجاد شده در واکنش هیدراتاسیون باعث می شود که ساختمان بتن حفره دار باشد به همین علت بتن در مقابل آب، یون های کلر و گازها (مانند دی اکسید کربن) نفوذپذیر است که هر کدام از این عوامل به نوعی باعث خوردگی میل گردها و ایجاد تنش و در نتیجه ترک برداشتن و از هم پاشیدن بتن می گردد. از طرف دیگر تهیه سازه های بتنی به صورت ساخت در محل، در جاهای غیر مسطح مانند کانال ها و دریاچه های سدی و شیپوره ها، مشکل و بسیار زمان بر است. ضمن اینکه در محل های مذکور برای کاهش اصطکاک و سایش، ایجاد سطوح صاف و با حداقل زبری امکان پذیر نیست. مشکل مهم دیگری که در مورد استفاده از بتن مطرح است، مسئله تعمیرات و ترمیم خرابی هایی می باشد که ممکن است در نواحی مختلف سازه های دریایی پیش آید. در چنین مواردی باید تعمیر هرچه سریعتر انجام گیرد و در موارد بسیاری که باید تعمیر در زیر آب انجام بگیرد، کار دشوارتر می شود. یک راه برای رفع مشکلات ناشی از ضعف بتن در مناطقی که در معرض جریان شدید آب هستند (مانند دریاچه ها، شیپورها و کانال ها) استفاده از ورق های فولادی است که این مورد نیز علاوه بر هزینه بسیار بالای ورقه های فولادی و نصب و جوشکاری قطعات، از نظر اجرایی نیز مشکلات زیادی به همراه دارد.

راه حل دیگری که در سال های اخیر مطرح شده است استفاده از کامپوزیت های پلیمر- بتن است. کامپوزیت های پلیمر- بتن ترکیباتی هستند که با جایگزینی کامل سیمان در بتن با مواد پلیمری یا استفاده از ترکیب سیمان و پلیمر به دست می آید. اگر حامل (چسباننده) سیمانی، به طور کامل با یک پلیمر جایگزین گردد، ترکیب حاصل را بتن پلیمری می نامند. بتن های پلیمری ترکیب نسبتا جدیدی هستند که از حدود سال ۱۹۵۰ میلادی وارد بازار شده اند و در زمینه طراحی و استفاده از آنها برای کاربردهای خاص تحقیقات گسترده ای در حال انجام است. به خاطر مزایایی که این مواد دارند، پیش بینی می گردد طی دهه اخیر استفاده از آنها ۱۰ برابر افزایش یابد. بتن های پلیمری بر پایه پلیمرهای آلی گرماسخت هستند که پس از اختلاط با مصالح سنگی در دمای اتاق پلیمره می شود. پلیمرهایی که عموما مورد استفاده قرار می گیرند و از ویژگی مذکور برخوردار می باشند، عبارتند از: اپوکسی ها، فوران ها، اکریلیک ها، پلی استر های غیر اشباع و وینیل استر ها، اکثر مصالح سنگی که مقررات استاندارد ASTM C33 برای مصالح سنگی بتن در آنها رعایت شده است، در بتن پلیمری نیز از خود عملکرد خوبی نشان می دهند.

میلگردها و الیاف، تقویت کننده بتن های پلیمری هستند. ممکن است بتن پلیمری با میلگردهای فولادی تقویت شود که در این صورت میلگردهای مذکور در ناحیه تمرکز تنش نصب می گردند. از این میلگردها برای انتقال تنش برشی بالا نیز استفاده می شود. برای افزایش استحکام خمشی بتن های پلیمری، الیاف شیشه مورد استفاده قرار گیرند. بتن های پلیمری خیلی مستحکم تر و با دوام تر از بتن های سیمانی هستند و استحکام خمشی، فشاری و کششی بسیار بالاتری دارند. همین امر باعث می شود که در سازه های حاصل از بتن های پلیمری مواد کمتری مصرف می گردد و در نتیجه این سازه ها در مقایسه با سازه های بتنی (سیمانی) مشابه سبک تر باشند. به علاوه زمان گیرایی کم در دمای محیط و حتی پایین تر از دمای محیط، مقاومت سایشی بسیار بالا، نفوذ پذیری بسیار کم در برابر چرخه های یخ زدن-ذوب شدن، مقاومت در برابر شستشوی دائم، کاویتاسیون (حفره دار شدن)، سایش، ترک بر داشتن، آسان بودن کنترل فنی و سهولت اجرا از دیگر مزایای بتن های پلیمری می باشند. بتن های پلیمری در سازه های ئیدرولیکی نظیر سدها، تونل ها، کانال ها و سازه های دریایی کاربردهای گسترده ای پیدا کرده اند.

در آمریکا، شوروی سابق، ژاپن، اروپای غربی، چین و در چند کشور دیگر از این مواد برای جلوگیری از فرسایش و کاویتاسیون در شیپوره های تخلیه مجرای آب و آبگیرهای سد استفاده شده است.

کاربردهای دیگر بتن های پلیمری عبارتند از : تعمیرات جاده ها، تعمیر عرشه پل ها، روکش پل ها، سازه های زیر زمینی، قطعات پیش ساخته ساختمانی نظیر درپوش های فاضلاب و دریچه های بازدید (برای بازدید شیر فلکه آب، شیر گاز و کلید و فیوز برق) تونل های خطوط کابل مخابرات، برق، گاز و فاضلاب، پایه ماشین ابزار (ماشین ابزار نام کلی است برای تمام دستگاه هایی که کار صنعتی انجام می دهند)، پوشش ضد اسیدی برای کنترل فرسایش در سدهای آب اسیدی، مخازن نگهداری اسید و محفظه های دفن زباله های اتمی و رادیواکتیو، در این بخش رفتار بتن پلیمری مورد استفاده در روسازی پل های فلزی تحت اثر چرخه های حرارتی گرمایش-سرمایش بررسی می شود.

کاربردها

*روسازی راه

افزایش روز افزون تردد وسایل نقلیه موتوری در معابر و جاده های درون شهری و برون شهری، مسائل و مشکلات عدیده ای را به همراه داشته است. از جمله این مسائل می توان به افزایش سفر، کاهش ایمنی جاده و افزایش آلودگی محیط زیست اشاره نمود. تقاطع ها از جمله نقاطی هستند که حجم ترافیک در معابر شهری را به شدت افزایش داده اند. یکی از روش های موثر برای جلوگیری از تراکم ترافیک و افزایش ایمنی در تقاطع های شهری و برون شهری، احداث تقاطع های غیر همسطح است. احداث تقاطع های غیر همسطح در دهه های اخیر موجب بهبود وضعیت ترافیک و عبور و مرور وسائط نقلیه موتوری و غیر موتوری گشته است. روگذرها و پل ها از ملزومات اصلی تقاطع های غیر همسطح هستند که متناسب با شرایط و خصوصیات منطقه ای، طراحی و اجرا می شوند. از میان سیستم های مختلف پل سازی، سیستم پل های فلزی نسبت به پل های بتنی دارای مزایای غیر قابل انکاری می باشند. از مزایای مذکور می توان به سبکی وزن، سهولت و سرعت زیاد مراحل اجرا اشاره نمود. به دلیل فرم سازه ای خاصی که در مراحل طراحی و اجرای این پل ها در نظر گرفته می شود، پل های مذکور قابلیت تحمل بارهای سنگین را داشته و برای اجرای پل های با دهانه بزرگ راه حل مناسبی به نظر می رسند. از طرف دیگر به منظور صرفه جویی اقتصادی، از سیستم فلزی استفاده می گردد به همین دلیل در تقاطع ها از پل های فلزی به عنوان رایج ترین سازه های مهندسی استفاده می شود. عرشه این پل ها معمولا متشکل از صفحات فولادی به ضخامت ۱۰ الی ۱۲ میلیمتر است که در یک جهت (معمولا جهت طولی) تقویت شده اند و استحکام خمشی آنها افزایش یافته است. سازه های فولادی به دلیل دارا بودن نسبت مقاومت به وزن بیشتر، برای احداث پل های با دهانه بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند و در پل های بتنی کاربرد چندانی ندارند.

سبکی سازه های فلزی نسبت به سازه های بتنی، ارزانتر بودن آنها و بالاتر بودن سرعت اجرای اینگونه سازه ها باعث شده است تا در ساخت پل های بزرگ فلزی ساده، پل های معلق، متحرک و باسکول ها، از فولاد استفاده شود. از جمله مشکلات اینگونه سازه ها این است که پس از مدت کوتاهی روکش آسفالتی عرشه فلزی آنها دچار خرابی می شود.

هدف از روسازی راه، احداث یک سطح صاف و هموار و در عین حال ایمن است. روسازی باید طوری طراحی و اجرا شود که بتواند وزن وسایط نقلیه را تحمل کند و در هر شرایط جوی قابل استفاده باشد و بارگذاری سازه ها موجب شکست برشی خاک نگردد، ضمن اینکه در آن بیشتر از اندازه تغییر شکل ایجاد نشود.

برای دستیابی به این اهداف باید از شدت تنش های منتقل شده به زیرسازی فلزی کاسته شود. این عمل با قرار دادن لایه ای از مصالح مرغوب و با مقاومت زیاد بر روی فلز انجام می شود. جنس و ضخامت این لایه که به روسازی موسوم است باید طوری باشد که ضمن کاهش شدت تنش های

وارده به بستر روسازی، خود نیز بتواند بارهای وارده را تحمل کند. روسازی یکی از با صرفه ترین روش های محافظت از پل های فلزی است.

خواص روسازی

روسازی های موثر دارای خواص زیر هستند:

۱- **انعطاف پذیری**

سیستم های روسازی مخصوصاً بر روی پل های فلزی باید دارای انعطاف پذیری قابل توجهی باشند. به علت بارگذاری دینامیکی انجام شده بر روی پل ها و در اثر عبور وسایل نقلیه، معمولاً ارتعاشات پل ها بسیار زیاد است و سیستم روسازی بر روی پل ها برای تحمل چنین ارتعاشاتی باید از قابلیت انعطاف پذیری زیادی برخوردار باشد. روسازی باید با استحکام بالایی به به لایه زیرین خود چسبیده باشد. در غیر اینصورت امکان جدا شدن این دولایه از هم بسیار زیاد است. این موضوع به خصوص در سراشیبی ابتدا و انتهای پل ها به خوبی نمایان است. در صورت وجود نداشتن چنین پیوند مستحکمی، لایه های روسازی در اثر عبور وسائط نقلیه و شیب جاده شروع به راه افتادن می کند و پدیده عریان شدن سطح جاده اتفاق می افتد.

۲- محافظت در برابر سایش

حین عبور وسایل نقلیه از روی جاده در هر نقطه بین لاستیک و سطح روسازی، نیروی برشی به وجود می آید. روسازی مناسب باید توانایی تحمل چنین تنش برشی را داشته باشد تا این میزان از تنش باعث جدا شدن سطوح روسازی از سطوح پایین تر خود نگردد و با این سطوح روی هم نلغزند.

۳- ایجاد مقاومت لرزشی بالا

روسازی مناسب باید در همه شرایط آب و هوایی توانایی درگیر شدن با چرخ اتومبیل را داشته باشد در غیر اینصورت هنگام ترمز کردن در یخبندان شاهد سر خوردن اتومبیل خواهیم بود .

۴- ضریب انبساط گرمایی مناسب

روسازی راه باید دارای ضریب انبساط گرمایی تقریباً نزدیک به لایه زیرین خود)فلز، بتن و ...) باشد. در غیر اینصورت در انبساط و انقباض هایی که به علت تغییر دما حاصل می شود، روسازی و لایه زیرین از هم جدا می شوند و روسازی تخریب می گردد.

۵- مقاومت در برابر عوامل محیطی

روسازی مناسب باید در برابر عوامل محیطی از قبیل رطوبت، تغییر دمای ناگهانی و سرد و گرم شدن متوالی، محیط های اسیدی و بازی و مقاوم باشد و برای لایه های زیرین لایه ای محافظ ایجاد کند.

انواع روسازی پل های فلزی

در حال حاضر برای ساخت روسازی پل ها از محصولات مختلفی استفاده می شود که از آن جمله می توان به آسفالت ماستیک، بتن تقویت شده با لاتکس، بتن با افت کم و بتن پلیمری اشاره کرد.

آسفالت ماستیک

آسفالت ماستیک، مخلوطی از قیر، پر کننده و سنگدانه های ریز و درشت می باشد .این مخلوط با استفاده از روش های خاصی تهیه می شود و برخلاف سایر مخلوط های آسفالتی، بدون نیاز به غلتک و سایر دستگاه های متراکم کننده پخش و اجرا می شوند. ماستیک در دمای حدود ۲۰۰ درجه سانتیگراد به صورت مایع است و در دماهای پایین و معمولی از خود خاصیت یک جسم جامد یا نیمه جامد را نشان می دهد و به علت اینکه تخلخل آن کم می باشد مخلوط آسفالتی تهیه شده از آن، هنگام اجرا به سیستم های تراکمی نیاز ندارد و در عین حال روسازی هیچگونه تخلخلی نخواهد داشت. طرز تهیه مخلوط ماستیک نیز با طرز تهیه سایر مخلوط های آسفالتی تفاوت دارد. مخلوط ماستیک با استفاده از یک دستگاه مخصوص تهیه می شود. به این صورت که در این دستگاه، مخلوط به مدت ۱ الی ۴ ساعت در محدوده دمای ۱۵۵ تا ۲۲۰ درجه سانتی گراد گرم شده و پخت می گردد در حالیکه سایر مخلوط های آسفالتی را حدوداً به مدت ۱ دقیقه در دمای ۱۵۵ تا ۱۷۰ درجه سانتی گراد گرما داده و هم می زندد. مقاومت مکانیکی آسفالت ماستیک به طور تقریبی از روی مقاومت نمونه تحت کرنش تعیین می گردد. نمونه های آزمایشی نیز بدون توجه به نوع دانه بندی مصالح سنگی مخلوط شده و بر اساس مقدار پر کننده، مقدار دانه های سنگی و قیر مصرفی طبقه بندی می شوند. در سایر مخلوط های آسفالتی، میزان مقاومت به دانه بندی مصالح سنگی بستگی دارد. بدین ترتیب برای دستیابی به آسفالت ماستیک با مقاومت بالا، باید از قیری با درجه سختی بیشتر استفاده نمود. افزایش درصد پر کننده مصرفی نیز باعث افزایش سختی قیر شده و مقاومت مخلوط را افزایش می دهد. مخلوط آسقالت ماستیک که با روش فوق به دست می آید نسبت به سایر مخلوط های آسفالتی سخت تر و نفوذ ناپذیر تر بوده و در مقابل تغییر شکل از خود دوام و مقاومت زیادی نشان می دهد. با توجه به خصوصیات مکانیکی ویژه ای که مخلوط های آسفالت ماستیک از خود نشان می دهند ملاحظه می شود که استفاده از سیستم آسفالت ماستیک برای روکش سطوحی که بارهای سنگین را تحمل می کنند مناسب می باشند. مثلا کف کارخانجات، پایانه های وسائط نقلیه تجاری، معابر شهری و سایر مکان هایی که توسط ترافیک عبوری (مبدا و مقصد ترافیک هر دو خارج از شهر است) بارهای فوق العاده سنگین به آنها وارد می شود را می توان با این سیستم روکش کرد. با توجه به توانایی ذاتی آسفالت ماستیک در جذب تکان ها و لرزه های مداوم و نیز به علت خاصیت خود ترمیم کنندگی این ماده، سیستم مذکور برای مناطقی که دائماً در حال ارتعاش و لرزش هستند روکش مناسبی به نظر می رسد .

بتن سیمانی تقویت شده با لاتکس

این سیستم روسازی، شامل مخلوط لاتکس استایرین بوتادین یا بتن سیمانی معمولی است. دلیل اضافه کردن لاتکس به این بتن ایجاد یک لایه نازک داخل بتن سیمانی است. این لایه به طور موثر از طریق ریز تَرَک های موجود در روسازی بتن سیمانی، جلوی نفوذ آب و مواد شیمیایی دیگر را می گیرد. قبل از اجرای این روسازی، روسازی قبلی به میزان ۶ میلیمتر کنده می شود تا هر گونه ریز تَرَک، روغن و یا هر ماده شیمیایی دیگر از بین برود. سپس سطح به وسیله جت باد تمیز می شود و یک ساعت قبل از اجرای روسازی خیس می گردد. آنگاه بتن توسط باد یا آب، بر روی سطح پخش می شود و به وسیله دستگاه لرزاننده برای پر کردن همه نقاط لرزانده می شود. ضخامت این بتن برای استفاده معمولی حدود ۳۲ میلیمتر است، اگرچه با ضخامت ۷۵ میلیمتر نیز از ان استفاده می شود. مزیت استفاده از این بتن، آب بندی شدن منافذ به وسیله لاتکس تقویت کننده بتن سیمانی است. استفاده از این بتن دو ایراد دارد. ایراد اصلی این است که این بتن باید ۲۴ ساعت به صورت خیس پخته شود و بعد از آن نیز ۷۲ ساعت طول می کشد تا خشک شود .ایراد دیگر این است که باید عمل پخش کردن روی سطح حتماً در دمای بین ۷ الی 30درجه سانتیگراد صورت بگیرد.

بتن سیمانی کم افت

این نوع بتن سیمانی از نوع بسیار مرغوب سیمان پرتلند ساخته شده است. این مخلوط معمولاً از سیمان با چگالی ۴۸۸/۲ کیلوگرم بر متر مکعب، نسبت آب سیمان حدود ۳۵% ، دانه های با اندازه کوچکتر از ۱۳ میلیمتر، سیلیکافوم)میکروسیلیس) و مواد هوازا (برای ایجاد ۸% هوا در سیمان) ساخته شده است .برای اطمینان از چگالی بالا و قابلیت نفوذ پایین محصول، به آن سیلیکا فوم اضافه می شود. نتیجه این اختلاط، بتنی با چگالی بالا و بدون منفذ می باشد که مقدار افت (خزش و انقباض) در آن کمتر از ۱ اینچ است. زیر سازی این بتن نیز باید عاری از روغن، گریس و دیگر حلال ها باشد. این عمل با برداشتن ۶ میلیمتر از لایه زیرین و توسط ماشین های مخصوص انجام می شود. سپس برای ایجاد پیوند مناسب، سطح به وسیله ملات سیمان یا ترکیب اپوکسی آغشته می شود . ضخامت نهایی این بتن حداقل ۵۱ میلیمتر است.

مزیت استفاده از این نوع بتن چگالی بالا و کم بودن منافذ در آن است. همانند بتن تقویت شده با لاتکس این بتن نیز معایبی دارد. مثلاً به دلیل کم بودن نسبت آب به سیمان، بتن سریع خود را می گیرد و سطح آن قابل تمیزکاری نمیباشد. به علاوه برای ایجاد اصطکاک مناسب، در سطح زیرین آن حتماً باید از پارچه های مخصوص استفاده شود. به دلیل ترد بودن مواد، احتمال ایجاد ترک سطحی نیز زیاد است.

بتن پلیمری

بتن پلیمیر شامل رزین پلیمری (به عنوان چسب) و مصالح با مقاومت سایشی بالا می باشد. به علت استفاده از پلیمرها، این نوع روسازی نسبت به بتن معمولی از خواص مکانیکی بالاتری برخوردار است. روسازی بتن پلیمری یک روسازی بسیار نازک است. این بتن ها در مقابل محیط های اسیدی و

بازی و نمک مقاوم هستند در ضمن مقدار نفوذ مواد خوردنده در روسازی بتن پلیمری بسیار پایین و قابل صرف نظر کردن است.

آزمایش نفوذ یون کلرید که بر روی انواع بتن های پلیمری صورت گرفته است، نشان می دهد که بتن پلیمری از برخورد یون های کلرید با سطح فلزی زیرین جلوگیری می کند و به این ترتیب باعث کاهش خوردگی پل و افزایش عمر آن می شود.

از دیگر مزیت های بتن پلیمری این است که زمان پخت در آن بسیار کم است. در دمای ۳۹ درجه سانتیگراد حدود ۲ ساعت و در دمای ۱۶ درجه سانتیگراد حدود ۵ الی ۶ ساعت طول می کشد تا رزین اپوکسی (چسباننده سنگدانه) پخت شود.

همچنین کوپلیمر اسید متاکریلیک در دمای ۲۲ درجه سانتیگراد در حدود ۲ ساعت و در دمای ۱۶ درجه سانتیگراد در حدود ۴ ساعت پخت (شبکه ای) می شود. این امر باعث خواهد شد تا زمان تعمیر پل بسیار کاهش یابد. در عمل با استفاده از بتن پلیمری می توان روساز ی پل ها را در ساعات کم ترافیک (اواخر شب) انجام داد و چند ساعت بعد، از آن پل استفاده نمود.

بتن پلیمری با سطوح فلزی و بتنی، پیوند بسیار محکمی ایجاد می کند. استحکام کششی و فشاری بالا رزین به سنگدانه ها اجازه حرکت نمی دهد و آنها را سر جای خود حفظ می کند. با این وجود سنگدانه ها در برابر جابجایی دمایی و دینامیکی انعطاف پذیر هستند.

وزن بتن پلیمری معمولی در حدود ۲۹ تا ۳۹ کیلوگرم بر متر مربع است اما وزن آسفالت معمولی حدود ۷۸ تا ۹۸ کیلوگرم بر مترمربع می باشد. بنابراین با استفاده از این نوع روسازی می توان، بار مرده روی پل را کم نمود و در پل هایی که برای ترافیک خاصی طراحی شده اند، میزان ترافیک عبوری را بیش از حد مجاز آن افزایش داد.

علیرغم مزایای بسیار زیاد، ضریب انبساط گرمایی بتن پلیمری با فولاد و بتن معمولی کاملاً متفاوت است. این تفاوت می تواند به تَرَک خوردن بتن پلیمری و ایجاد برش در سطح مشترک بتن و فولاد و در نهایت به جدا شدن سطح روسازی منجر شود. این موضوع می تواند به علت پخش کردن غیر همسطح بتن در زمان اجرا و یا به علت خواص بتن پلیمری باشد.

بتن پلیمری برای اولین بار در ابتدای دهه ۱۹۵۰ میلادی ساخته شد و در ابتدای دهه ۱۹۷۰ میلادی در ساختمان ها و پل ها برای تعمیر بتن پرتلند مورد استفاده قرار گرفت. از آن پس بتن پلیمری در پانل های دکوری و پانل های ساختمانی، لوله های کربن استیل و در کف کارگاه های تولیدی مورد استفاده قرار گرفت.

اولین بتن پلیمری که برای روسازی پل ها مورد استفاده قرار گرفت، شامل اپوکسی بر پایه قیر بود که بر روی یک سطح ریخته شد و سپس با سنگدانه های ریز پوشانده شد. این روسازی ها دارای قابلیت نفوذ پذیری بسیار کمی بود و بار ترافیکی را تحمل نمی کرد.

در اواسط دهه ۱۹۶۰ میلادی در روسازی ها از رزین های پلی استر و متیل متاکریلات استفاده شد. این روسازی ها شکننده و ضخیم بودند و به خاطر اختلاف ضریب انبساط گرمایی آنها با زیرسازی، در محل سطح پیوند از یکدیگر جدا می شدند.

با روش های جدید که مبتنی بر سعی و خطا هستند، رزین های جدیدی تولید شده است که بیشتر با بتن سیمانی سازگار هستند.

کاربرد بتن پلیمری برای روکش کف ها و جاده ها

در طول ده سال نتایج بررسی های بعمل آمده در آزمایشگاه ها و در سایت های آزمایشگاهی حاکی از آن است که راندمان روکش های بتن پلیمری نازک، به خواص رزین های مورد استفاده بستگی دارد. تنش های حرارتی به وجود آمده در نقطه تماس روکش بتن پلیمری با سیمان پرتلند با یک بررسی و تحلیل مناسب مورد ارزیابی قرار گرفت و معلوم شد که تنش های مذکور به دلیل اختلاف در خواص فیزیکی بتن پلیمری با سیمان پرتلند به وجود آمده بودند. تجربه نشان داده است که تنش حرارتی نباید از ۰/۰۳ نیتون بر متر مربع تجاوز نماید تا روکش بتن پلیمری بیش از ۱۰ سال عمر کند. با توجه به این واقعیت که ضریب انبساط حرارتی بتن پلیمری (با مواد معدنی مختلف) به طور عمومی ۲ تا ۵ برابر ضریب مربوطه در سیمان پرتلند است، لذا مدول یانگ بتن پلیمری باید تا حد امکان پائین نگه داشته شود. به علاوه باید رزین بیش از ۳۰% منبسط شود تا بتواند تنش های داخلی ناشی از تغییرات درجه حرارت را تحمل نماید.

جدول۱. مقادیر ضریب انبساطی بتن با پلیمرهای مختلف

بتن‌پلیمري	بتن پلیمري تقویت‌شده با الیاف بازالت	بتن پلیمري بر پایه اتیل‌استر اسید چرب	بتن پلیمري بر پایه پلی‌اکریلونیتریل	بتن پلیمري پلی‌استراکریلات	بتن پلیمري متیل‌متاکریلات	بتن پلیمري سیلیکات
ضریب‌انبساط حرارتي	۱۲×۱۰^{-۶}	$(۱۰-۱٤)\times۱۰^{-۶}$	$(۱٤-۲۰)\times۱۰^{-۶}$	$(۱٤-۱٦)\times۱۰^{-۶}$	$(۱۲-۱۸)\times۱۰^{-۶}$	۸×۱۰^{-۶}

بنابراین استحکام رزین باید بیش از MPa 14 باشد و مدول یانگ آن نباید بیشتر از MPa 1400 باشد. به علاوه تا حد ممکن نباید رزین در تماس با سطوح قلیائی مخرب قرار گیرد. به عبارت دیگر بتن پلیمری نباید روی یک بتن خیس ریخته شود. این مطلب تنها در مواقعی بدون اشکال است که رزین و سخت کننده آن به رطوبت حساس نباشند.

رزین هایی با مشخصه های زیر برای استفاده در روکش های بتن پلیمری توصیه شده اند:

- ازدیاد طول ۵۰-۳۰ %
- استحکام کششی 14 N/mm^2 <
- مدول الاستیسیته 400 N/mm^2 <

ترمیم پل بروکلین در نیویورک یک نمونه معروف از استفاده موفقیت آمیز بتن پلیمری برای محافظت از سطوح جاده است که یکصد سال قبل طراحی شده است و هم اکنون خودروها در یک مسیر ۶ بانده از روی این پل تردد می کنند. با آزمایش های بسیاری که روی مواد مختلف انجام شده است، برای روکش جاده، استفاده از رزین اپوکسی به همراه پرکننده بازالت به ضخامت ۱۲ میلیمتر توصیه گردید. در اولین پل، مقدار ۱۱۰ تن بتن پلیمری در عرض ۴۲ ساعت برای روکش کردن مورد استفاده قرار گرفت. ۴ ساعت پس از روکش کردن، لایه مذکور توانست بار ترافیک را به خوبی تحمل کند. کار روکش کردن، خط به خط انجام شد بنابراین در عبور و مرور وسائط نقلیه اختلالی پیش نیامد.

برای جلوگیری از کاویتاسیون (حفره زدایی) در سرعتهای بالای جریان آب، از روکش های بتن پلیمری روی سطح بزرگ کانال های انتقال آب استفاده می شود و به این ترتیب از آسیب رسیدن به سطوح بتن جلوگیری می شود. لازم به ذکر است که کاویتاسیون پدیده ای است که در سرعت های بالا باعث فرسایش می گردد. به این ترتیب که در یک سیستم هیدرولیکی به علت بالا رفتن سرعت، فشار سیال به حدی پایین می آید تا به فشار بخار سیال برسد. در این صورت مایع به جوش می آید و بخار تبدیل شده و حباب هایی از بخار به وجود می آید. این حباب ها پس از طی مسیر کوتاهی به منطقه ای با فشار بیشتر رسیده و منفجر می شوند و به این ترتیب امواج ضربه ای ایجاد می کنند.

این امواج به مرز بین سیال و سازه ضربه زده و باعث فرسایش و خوردگی می گردد. لازم به ذکر است که سیستم های بتن پلیمری که در ترمیم سازه های بتنی به کار می روند اغلب بر پایه رزین های اپوکسی، پلی استر غیر اشباع و رزین های آکریلیک غیر اشباع می باشند. رزین های اپوکسی بیشتر برای ترمیم سطوح بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند و از رزین های پلی استر و آکریلیک ها بیشتر برای ترمیم سطوح کوچک استفاده می کنند زیرا در این سطوح باید بتن سریع سفت شود. پلی استرها و آکریلیک های با مدول بالا در تولید ملات برای سطوح بزرگ مناسب نیستند زیرا در صورت استفاده از آنها خطر انقباض، ترک و جداشدگی از پایه بتنی وجود دارد. لذا به تازگی از پلی استر ها و آکریلیک های با مدول پایین استفاده می شود. باید دقت داشت که از میان انواع مختلف رزین های اپوکسی، باید نوعی که با دانه بندی سنگریزه (پرکننده مورد استفاده در بتن پلیمری) مناسب باشد، انتخاب گردد تا بتوان به نتیجه مطلوب رسید. خواص نمونه ترکیبات پلیمری در جدول ۲ ذکر گردیده است. در خصوص روش آزمایش این خواص، استانداردهای کمی در دست است که از میان آنها می توان به استاندارد BS 6319 اشاره کرد.

جدول۲. خواص فیزیکی و مکانیکی بتن‌ها

خواص	بتن‌هاوملات‌های رزین اپوکسی	بتن‌هاوملات‌های رزین پلی‌استر	بتن‌هاوملات‌های سیمانی	سیستم‌های‌سیمانی اصلاح‌شده‌باپلیمر
استحکام فشاری نیوتن بر مترمربع	۵۵_۱۱۰	۵۵_۱۱۰	۲۰_۷۰	۱۰_۸۰
مدول فشاری نیوتن بر مترمربع	۰/۵_۲۰	۲_۱۰	۲۰_۳۰	۱_۳۰
استحکام خمشی نیوتن بر مترمربع	۲۵_۵۰	۲۵_۳۰	۲_۵	۶_۱۵
استحکام کششی نیوتن بر مترمربع	۹ _ ۲۰	۸ _ ۱۷	۱/۵ _ ۳/۵	۲ _ ۸
ازدیاد طول در نقطه شکست (%)	۰ _ ۱۵	۰ _ ۲	۰	۰ _ ۵
ضریب انبساط حرارتی (درجه سانتیگراد)	$۲۵_۳۵\times۱۰^{-۶}$	$۲۵_۳۵\times۱۰^{-۶}$	$۷_۱۲\times۱۰^{-۶}$	$۸_۲۰\times۱۰^{-۶}$
درصد جذب آب در ۷ روز (دمای ۲۵°C)	۰ _ ۱	۰/۲ _ ۰/۵	۵ _ ۱۵	۰/۱ _ ۰/۵
حداکثر دمای روکش تحت‌بار (درجه‌سانتیگراد)	۴۰ _ ۸۰	۵۰ _ ۸۰	۳۰۰°C، بسته‌به‌طراحی مخلوط	۱۰۰ _ ۳۰۰
افزایش استحکام در ۲۰°C	۴۸ _ ۶ ساعت	۶ _ ۲ ساعت	۴ _ ۱ هفته	۷ _ ۱ روز

آماده سازی سطح

قبل از اجرای روسازی بتن پلیمری بر روی عرشه پل، ابتدا باید عرشه تمیز شود و سپس عمل سندبلاست انجام گردد. به این ترتیب مواد آسفالتی، روغن، رنگ و هر نوع مواد دیگری که بر روی پیوند بتن و فلز تأثیر می گذارد، زدوده می شود.

روش اجرا

برای اجرای روسازی سه روش کلی وجود دارد که عبارتند از: روسازی مخلوط (تک لایه)، روسازی چند لایه و روسازی پیش آغشته.

روسازی مخلوط

در روش مخلوط، رزین و مصالح با دانه بندی ریز در دستگاه مخلوط کن با هم مخلوط می شوند. سپس این مخلوط آبکی به وسیله ماله و شن کش بر روی سطح جاده پخش می شود و روی آن مصالح ریخته می شود. مصالح مذکور از ۲ ممیز ۷ دهم کیلوگرم بر متر مربع پلیمر، ۳ ممیز ۸ دهم کیلوگرم بر متر مربع مصالح سیلیسی و حدود ۲ ممیز ۷ دهم کیلوگرم بر متر مربع پودر سیلیس تشکیل شده است.

روش چند لایه

روشی است که در ابتدا پلیمر بر روی سطح پخش می گردد و سپس مصالح دانه بندی شده بر روی سطح پاشیده می شود. پس از پخت شدن پلیمر، با استفاده از دستگاه های مخصوص و یا به صورت دستی، مصالحی که روی سطح نچسبیده اند از روی سطح جمع می شوند. پس از پخت لایه اول، لایه دوم نیز به همین روش اجرا می شود. در این روش ضخامت معمول برای دو یا سه لایه زیرین و مصالح حدود ۱۰ میلیمتر است. لایه اولی شامل ۵ ممیز چهار دهم کیلوگرم بر متر مربع مصالح است که بر روی ۲/۲ کیلوگرم بر متر مربع پلیمر پخش می شود.

روش های پیش آغشته

این نوع روسازی با مخلوط نمودن مصالح دانه درشت با حدود ۱۲ درصد وزنی پلیمر ساخته می شود. قبل از اینکه این مخلوط بر روی سطح پل پخش شود، ۴۱ صدم کیلوگرم بر متر مربع پرایمر بر روی سطح پخش می شود. سپس از این دستگاه لرزاننده برای لرزاندن و فشرده نمودن مواد پیش آغشته استفاده می شود. برای به دست آوردن مقاومت لغزشی مناسب می توان بر روی سطح، سنگریزه پاشید. ضخامت این روسازی حدود ۲۵ میلیمتر است.

پل های آماده اجرا

در روسازی بیشتر پل ها از بتن پلیمری استفاده می شود. این روکش به علت وزن کمتر و خاصیت نفوذپذیری در برابر عوامل محیطی مخرب، هم برای روسازی پل ها و هم به عنوان لایه زیرین در روسازی سطح جاده ها مورد استفاده قرار میگیرد. یکی از موارد مورد استفاده از این روسازی در محل هایی است که برای بار ترافیکی خاصی طراحی شده اند ولی بار ترافیکی سنگینی از آن عبور می کند. در چنین مکان هایی به علت وزن کمتر این روسازی می توان بار مرده روی پل را کمتر نمود تا سازه بتواند ترافیک بیشتری را تحمل کند. پل های بتن سیمانی که غلظت یون کلرید در لایه رویی آنها کمتر از ۱ ممیز ۲ دهم کیلوگرم بر متر مکعب است، برای این روسازی مناسب می باشند زیرا در روکش بتن پلیمری این پل ها پدیده خوردگی اتفاق نمی افتد. پل هایی که ضخامت صفحات آنها کمتر از ۵ سانتیمتر است یا در معرض رطوبت شدید هوا قرار دارند و یا ترک های خطرناک دارند، نمونه های خوبی برای استفاده از این نوع روسازی می باشند.

ایمنی و حمل و نقل

هنگام اجرای روسازی، حمل و نقل مواد پلیمری با خطراتی همراه است. مشکلات معمولی که در این رابطه پیش می آید عبارتند از:سوزش چشم، قرمز شدن پوست، سردرد و سوختگی. گاهی تأثیرات مواد سمی بسیار سریع ظاهر می شود و در بعضی موارد عوارض بعد از مدتی خود را نشان می دهند. برای پیشگیری از عوارض مذکور باید نکاتی رعایت شوند که عبارتند از: شستن دست ها

بلافاصله بعد از اجرا، پوشیدن لباس مناسب (روپوش، عینک ایمنی)، تهویه و دور نگه داشتن مواد از منابع گرمازایی نظیر رادیاتور، لوله بخاری و غیره.

پروژه های اجرا شده

در سال های اخیر دو سیستم بتن پلیمری اپوکسی-سیلیس و پلی اورتان-اکسید آلومینیوم بر روی پل های فلزی تهران اجرا شده است. از آنجا که هر دوسیستم با روش چند لایه انجام شده است، مراحل اجرای آنها مشابه یکدیگر می باشد. این مراحل عبارتند از:

- **تمیز کردن عرشه**

برای این کار ابتدا کارگران به وسیله پتک های ۵ کیلوگرمی روکش های قبلی چسبیده به عرشه را جدا کرده و سپس به وسیله دستگاه های مخصوص عملیات سندبلاست انجام میگیرد و بدینوسیله عرشه فلزی از وجود هرگونه مواد زائد پاک می شود.

- تهیه مخلوط رزین اپوکسی-سیلیس و پلی اورتان-اکسید آلومینوم

هردو پلیمر با مخلوط نمودن رزین و سخت کننده به دست می آید. پس از تهیه پلیمر، سیلیس ریزدانه با سختی زیاد داخل چسب ریخته و هم زده می شود که به این ترتیب برای پخش کردن روی عرشه آماده می گردد.

- **پخش و هم سطح کردن مخلوط**

مخلوط به دست آمده حاوی سیلیس ریز دانه، به وسیله سطل روی عرشه پخش و سطح آن به وسیله ماله های دستی و توسط کارگران ماهر صاف می گردد. نظر به صاف و لغزنده بودن سطح پدید آمده و برای جلوگیری از سر خوردن لاستیک اتومبیل ها، بر روی آن سیلیس دانه درشت (در اندازه های ۱ ممیز ۲ تا ۲ میلیمتر) پاشیده می شود. همچنین در سیستم پلی اورتان-اکسید آلومینیوم روی سطح، دانه های سیلیس با اندازه های حدود ۵ تا ۷ میلیمتر پاشیده می شود. روکش اعمال شده حدوداً پس از ۲۴ ساعت کاملاً سفت شده و آماده عبور و مرور وسائط نقلیه می باشد.

مزایای اجرای سیستم پلیمر اپوکسی- سیلیس و پلی اورتان- اکسید آلومینیوم

۱- چسب اپوکسی (پلی اورتان) به عنوان روکش حفاظت کننده صفحات فلزی عرشه پل، از مرغوبیت بالایی برخوردار است. به علاوه این چسب بین صفحات فلزی عرشه پل ها اتصال محکمی ایجاد می کند.

۲- ۲۴ ساعت پس از اجرای عملیات روکش، تردد خودروها روی سطح روکش بلامانع است و کیفیت روکش کاهش نمی یابد.

۳- پلیمر به کار رفته در روکش های مذکور از استحکام بالایی برخوردار بوده و کاملاً غیر محلول می باشند.

۴- این سیستم ها بسیار انعطاف پذیر بوده و در مقابل سایش مقاومت زیادی دارند . به علاوه روکش های مذکور در مقابل ارتعاشات حاصل از بار دینامیکی ناشی از عبور و مرور وسائط نقلیه و ترمز بسیار مقاوم هستند.

۵- روکش های مذکور دارای ضریب اصطکاک بالایی بوده و خطر لغزش وسائط نقلیه روی آنها کم است.

۶- این سیستم ها به سادگی و با سرعت قابل اجرا می باشند و برای استفاده از آنها به فناوری جدیدی نیاز نیست.

مراحل کاربرد بتن پلیمری

از آنجا که بتن پلیمری از استحکام بالایی برخوردار است و سریع سفت می شود، در تعمیر سازه های بتنی از آن استفاده می گردد. این ماده برای تعمیر سازه هایی که به حداقل رساندن زمان تعمیر در آنها حائز اهمیت است، استفاده فراوان دارد. برای تعمیر مسیرهای بتنی و سطح پل ها می توان از بتن پلیمری استفاده نمود و پس از چند ساعت دوباره از سازه مورد نظر بهره برداری کرد. برای استفاده از بتن پلیمری جهت تعمیر باید مراحل زیر را پشت سر گذاشت:

الف: مرحله ارزیابی سطح

قبل از انجام عملیات تعمیر، لازم است وضعیت سطح موجود مورد بررسی قرار گیرد. چنانچه سطح مورد نظر ضعیف باشد، اقدام به تعمیر، کاری بیهوده بوده و ممکن است در سطح کار، شکستگی های پی در پی رخ دهد. ضمناً سطح مورد نظر باید خشک، تمیز و عاری از هر گونه چربی، رنگ و مواد نفتی باشد. افراد با تجربه قبل از اقدام به تعمیر می توانند با چکش زدن، ضعیف بودن سطح مورد نظر را تشخیص دهند و پس از تشخیص، قسمتهایی از سطح بتن که پوسیده است را تراشیده و سطح را برای تعمیر آماده سازند.

ب: آماده سازی سطح

از بتن پلیمری برای تعمیر سطوح آسفالتی نیز استفاده می شود. هنگام استفاده از بتن پلیمری برای تعمیر آسفالت باید توجه داشت که سطح آسفالت کاملاً تمیز شود و قطعات کوچک آسفالت که با بقیه سطح پیوند ضعیفی دارند از سطح مورد نظر جدا شوند و به این ترتیب کار تعمیر بهتر انجام گردد. همانطور که قبلا نیز اشاره شد برای تعمیر قطعات بتنی باید بتن ضعیف تا عمق مناسبی از روی سطح برداشته شود. به علاوه اگر سطوحی به صورت ورقه ورقه درآمده اند، باید قبل از تعمیر به آنها رزین اپوکسی تزریق گردد. همچنین توسط کمپرسور هوا یا به وسیله شعله می توان رطوبت روی

سطح بتن را خشک کرد. باید به وسیله فشار هوا یا حلال های شیمیایی و یا با تراشیدن، مواد روغنی و نفتی از سطح پاک شوند. برای تمیز کرددن سطح نباید از وسایل مکانیکی سنگین استفاده کرد زیرا این کار موجب وارد آمدن خسارت به سازه می شود. ضمناً برای آسان تعمیر شدن تَرک ها بهتر است در لبه ترک یک یخ مناسب ایجاد شود.

ج: قالب بندی سطوح قائم

برای تعمیر سطوح قائم نظیر دیوارها، از روش قالب بندی استفاده می شود. باید قالب بندی به طرزی اجرا شود که مواد ترمیم کننده سازه را، در محل مورد نظر ثابت نگه دارد. هنگام استفاده از قالب ها باید دقت شود تا احیاناً برخورد قالب ها با سطح کار، روی سازه صدمه ای ایجاد نکند. باید سطح قالب ها را به مواد روغنی آغشته نمود تا مواد ترمیم کننده به بدنه قالب نچسبد. در مواردی که بتن پلیمری به صورت خمیری می باشد، استفاده از قالب ضروری نیست. می توان در درزبندی ها و شیارها به راحتی از خمیر پلیمری استفاده نمود و همانند بتونه کاری، شیارها را با آن پرکرد.

کاربردهای عملی بتن پلیمری

برای آشنایی بیشتر با کاربردهای عملی پلیمرها، چند مثال کاربردی ذکر می گردد.

- بتن های پلیمری مقاوم در برابر مواد شیمیایی، که بر پایه رزین های فوران می باشند و با فولاد مسلح شده اند، برای اولین بار در روسیه تولید گشتند و در سازه های تحت بار به کار رفتند. داربست ها، تیرچه ها و فونداسیون ساختمان ها و میلگردهای عرضی، از جمله سازه های تحت بار می باشند. به الکترودهای مسی حمام های الکترولیز که با فولاد مسلح شده بودند و در سال ۱۹۸۶ میلادی ساخته شده بودند، پس از ۱۷ سال کار، هیچ آسیبی نرسید در حالی که الکترودهای غیر مسلح، تحت همان شرایط کاری، باید هر ساله با پوشش های محافظ بر پایه رزین اپوکسی روکش می شدند.

- در آمریکا یک نوع بتن پلیمری ساخته شده است که در دمای ۲۵۰ الی ۳۰۰ درجه سانتیگراد مقاومت می کند و برای روکش کردن لوله های حفاری چاه های زیرزمینی به کار می رود.
- آسفالت پلیمری اعمال شده بر پل بروکلین در نیویورک، نمونه ای از کاربرد موفقیت آمیز رزین اپوکسی می باشد. در آسفالت مذکور درصد معینی از رزین اپوکسی به کار رفته بود. همین ترکیب روی سایر پل های نیویورک به کار گرفته شد و نتیجه کاملاً رضایت بخش بود.

منبع: موسسه کامپوزیت ایران
نشریه الکترونیکی کامپوزیت
سایت انجمن کامپوزیت ایران
نشریه الکترونیکی شماره – ۳۸۴ الی ۳۹۰
اردیبهشت ۱۳۹۳