

## نوآوری بتن پیش‌ساخته در حوزه روسازی

تعمیر و نوسازی زیرساخت‌های بزرگراهی تبدیل به یک چالش برای ایالات متحده شده است. هزاران مایل از بزرگراه‌ها باید نوسازی شوند. این در حالی است که در حال حاضر بیش از ۱۰۰۰۰۰ وسیله نقلیه در روز که شامل درصد بالایی کامیون‌های حمل بار از طریق این بزرگراه‌ها رفت‌وآمد می‌کنند. برای عدم اختلال در حمل‌ونقل این وسایل نقلیه باید از بسته و یا مسدود شدن این خطوط در سطح گسترده و طولانی‌مدت پرهیز شود - یعنی کار باید بسیار سریع انجام شود. درحالی‌که در بسیاری از پروژه‌ها از بتن زودگیر استفاده می‌شود اما نتایج مطلوب نیستند. روسازی‌هایی از جنس بتن پیش‌ساخته (PCP) یک گزینه‌ی امیدوارکننده محسوب می‌شوند.

مقاله‌ی حاضر جزئیاتی از ملاحظات فنی مربوط به طراحی، ساخت و نصب PCP ها را ارائه می‌دهد. باید توجه داشته باشیم که PCP یک فناوری نسبتاً جدید در ایالات متحده است و اولین پروژه‌های واقعی که از آن استفاده کردند به سال ۲۰۰۱ برمی‌گردند. پس از آن، پیشرفت‌های قابل توجهی اتفاق افتاده است که بهره‌وری نصب پانل را افزایش و هزینه‌ی کلی را کاهش داده است، با این وجود پروژه‌های زیادی توسط پیمانکارانی که هیچ تجربه‌ی قبلی در PCP ندارند ساخته شده‌اند.

### ملاحظات فنی

سیستم‌های PCP زیادی در دسترس هستند. هرچند که ممکن است این سیستم تا از نظر جنبه‌های خاص طراحی، ساخت و نصب متفاوت باشند اما ویژگی‌ها و ملزومات مشترک زیادی دارند. تفاوت‌های بین سیستم‌های موجود معمولاً مربوط به نحوه‌ی انتقال بار در درزهای عرضی و الزامات جایگذاری پانل در بستر آماده‌شده است.

ویژگی‌های طراحی و ساخت کلیدی برای هر سیستم PCP عبارت‌اند از:

- ضوابط مربوط به بتن
- فاصله‌ی درزها
- انتقال بار در درزها
- آرما تورهای پانل و پیش تنیدگی
- سرعت تولید و نصب پانل

### ضوابط مربوط به بتن

مقررات اختلاط بتن برای پانل‌های PCP مشابه مقررات تعیین‌شده برای روسازی‌هایی از جنس بتن درجا (CIP) هستند. یک مزیت PCP این است که تغییرات حجمی بتن در سن کم که مربوط به انقباض ناشی از خشک شدن است، نگرانی زیادی ایجاد نمی‌کند، زیرا این اثرات در یک مقطع کوچک‌تر و معمولاً قبل از نصب پانل در محل اتفاق می‌افتند. همچنین توجه داشته باشید که بسیاری از مشکلات مربوط به بتن در CIP مانند بتن‌ریزی در هوای سرد و گرم، بتن‌ریزی در طول بارش باران، خرابی تجهیزات، تأخیر در تحویل بتن و قطع عملیات به PCP قابل‌تعمیم نیستند؛ به عبارت دیگر، بتن‌ریزی در یک کارخانه و تحت شرایط کنترل‌شده یک مزیت مهم استفاده از PCP است.

ضوابط بتن PCP معمول باید شامل موارد زیر باشد:

- مقاومت بتن (در ۱۴ یا ۲۸ روز):
  - مقاومت خمشی برای طراحی - ۴,۵ مگا پاسکال
  - مقاومت فشاری برای اهداف موردنظر - ۲۷,۵ مگا پاسکال
- حداکثر نسبت آب به مصالح سیمانی - ۰,۴۵ برای روسازی‌های در معرض چرخه‌ی یخ زدن و ذوب شدن و ۰,۵ برای دیگر روسازی تا
- مقدار هوا - برحسب حداکثر اندازه‌ی ذرات سنگ‌دانه تا و شدت محیط برحسب ASTM C94/C94M تعیین می‌شود.
- دوام - بتن باید بادوام بوده و نباید در برابر مواردی مانند واکنش قلیا - سیلیکا (ASR)، حمله‌ی سولفاتی یا ترک‌خوردگی، آسیب‌پذیر باشند.
- بافت نهایی

ثبات مخلوط باید توسط سازنده انتخاب شود. درحالی‌که بسیاری از سازندگان از مخلوط‌هایی استفاده می‌کنند که برای تراکم نیاز به ویبره دارند اما از بتن خود تراکم (SCC) هم برای ساخت استفاده می‌شود.

مقاومتی که در آن باید پانل را از قالب جدا کنیم هم نکته مهمی است. برای اینکه تولید پانل به‌صورت روزانه ادامه داشت باشد، تولیدکنندگان معمولاً پانل‌ها را حدود ۱۶ ساعت بعد از ریختن بتن باز می‌کنند - بسیاری از آن تا برای رسیدن به مقاومت اولیه‌ی سریع از عمل‌آوری با بخار استفاده می‌کنند. اغلب سازندگان سعی می‌کنند که در عرض ۱۶ ساعت یا تا زمان برداشتن قالب به مقاومت ۱۷,۲ مگا پاسکال برسند.

### فاصله‌ی درزها

فاصله‌ی درزها یک عامل طراحی مهم در PCP است. برای کارهای صرفاً تعمیراتی، فاصله‌ی درز عرضی ممکن است به وسعت منطقه تحت تعمیر محدود شود. در پروژه‌های گسترده‌تر، فاصله‌ی درز روسازی عرضی معمولاً بر اساس فاصله‌ی درز روسازی CIP مرسوم تعیین می‌شود. البته این مقدار ممکن است به دلایل مرتبط با ساخت، حمل‌ونقل و مقررات عملکرد سازه‌ای پانل هم محدود شود.

### شرایط تکیه‌گاهی کلی پانل

#### لایه اساس

برای اکثر کاربردهای تعمیر و نوسازی (بازسازی) PCP، منظور از تکیه‌گاه، استفاده‌ی مجدد از بستر موجود است. بستر موجود را می‌توان تعمیر، هموار و متراکم کنیم؛ پس از آن می‌توان از یک‌لایه نازک برای تراز کردن سطح بستر استفاده کرد. اگر در فرآیند حذف دال به بستر پایدار موجود (خاک فرآوری شده باسیمان یا بتن) آسیبی وارد نشود، می‌توان از آن به همان شکلی که هست استفاده کرد. می‌توان آن را برای متناسب بودن باضخامت پانل تعمیر هم کرد. در هر حال می‌توان از یک‌لایه‌ی نازک برای ایجاد سطحی تراز برای پانل‌ها استفاده کرد.

در صورتی که تشخیص داده شود که بستر موجود در طول حذف دال موجود آسیب می بیند یا نمی تواند نیازهای طولانی مدت PCP جدید را برآورده کند، یک بستر جدید مورد نیاز است. این گزینه در مواقعی که PCP برای بهسازی روسازی های موجود استفاده می شود، معمول است. نوع بستر جدید می تواند شامل بستر متراکم زهکش یا بستر بتنی زود گیر باشد.

در بسیاری از کاربردهای PCP، به خصوص در کالیفرنیا، به خوبی از مصالح بتنی زودگیر استفاده شده است. مقاومت فشاری مورد نیاز برای این مصالح به شرح زیر است:

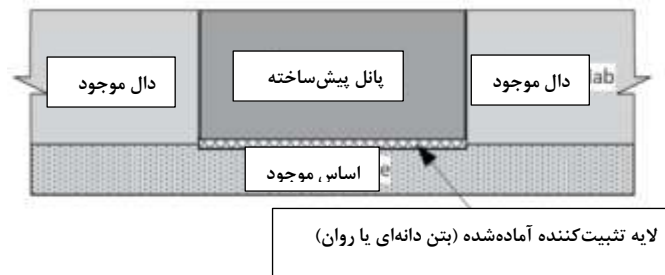
- کسب حداقل ۰,۷ مگا پاسکال مقاومت در ۲ ساعت اول بتن ریزی برای نصب پانل تا
- کسب حداقل ۳,۴ مگا پاسکال مقاومت در زمان باز شدن مسیر برای رفت و آمد
- کسب حداقل ۵,۲ مگا پاسکال مقاومت و حداکثر ۸,۳ مگا پاسکال مقاومت در ۷ روز

### لایه تثبیت کننده اساس

این لایه برای اطمینان از تماس یکنواخت بین پایین پانل و اساس لازم است - این دو سطح به صورت کامل باهم تطابق نخواهند داشت. انتخاب مصالح این لایه و واسط تحت تأثیر نحوه نصب پانل ها قرار دارد.

مصالح بستر باید شرایط زیر را دارا باشند:

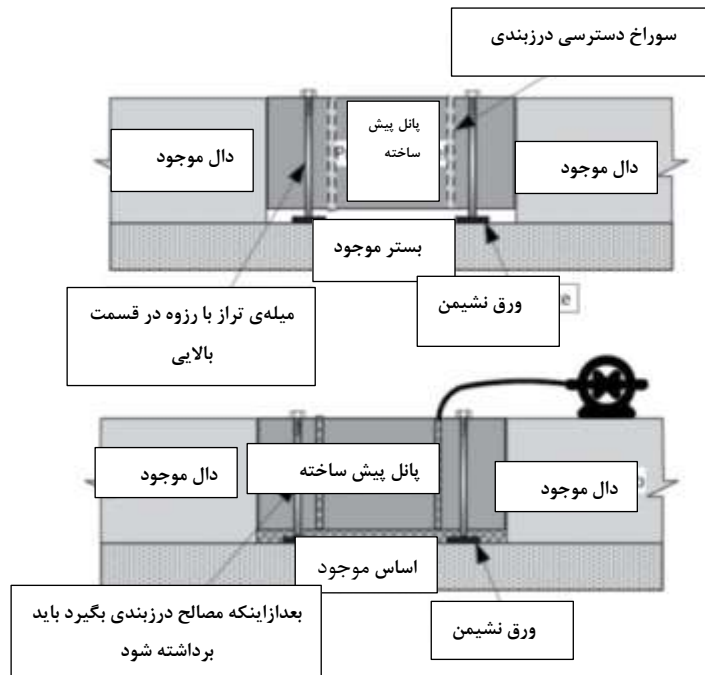
- یک لایه نازک از مصالح دانه ای سیمانی یا ماسه سیمانی برای سیستم های دارای شیب (شکل ۱).



شکل ۱. لایه بستر شماتیک و اجرای لایه بستر سیمانی

عموماً این لایه با ضخامت حدود ۰,۵ اینچ (۱۳ میلی متر) روی اساس ایجاد می شود. در این روش باید برای نرم و یکدست شدن سطح، سنگ زنی انجام شود.

- دوغاب سیمانی زود گیر به همراه سیستم تراز کردن و بالا کشیدن پانل. دوغاب فاصله‌ی زیر پانل را همانند آنچه در شکل ۲ نشان داده شده است، پر می‌کند (این فاصله بین ۶ تا ۱۳ میلی‌متر است). مقاومت فشاری مورد نیاز برای دوغاب 500 psi در زمان باز شدن جاده و 3000 psi بعد از ۲۸ روز است.



شکل ۲. نصب پانل تا: بالا به صورت شماتیک و پایین سیستم لیفت و تراز کردن پانل

### درزبندی

درزبندی زمانی که لایه‌ی تثبیت‌کننده از مصالح دانه‌ای سیمانی تشکیل شده باشد برای پر کردن حفراتی که ممکن است در زیر پانل‌های دال وجود داشته باشد، انجام می‌شود. درزبندی اساس را تقویت نکرده و تغییری در مشخصات دیگر مصالح آن

ایجاد نمی‌کند. مواد درزبندی به صورت ملات هستند و از طریق حفرات دوغاب بافاصله‌ی یکنواخت در سطح پانل اعمال می‌شوند. برای مصالح درزبندی و لایه تثبیت‌کننده سیمانی، مقاومت فشاری الزامی در زمان باز شدن راه، 500 psi است.

### انتقال بار در درزهای عرضی

انتقال بار در درزهای عرضی هم یک ویژگی مهم در طراحی است. مقررات انتقال بار برای سیستم‌های PCP درزدار شبیه مقررات بهسازی با میلگرد اتصال در روسازی‌های بتنی موجود است.



شکل ۴. تعمیر انجام‌شده با استفاده از سیستم شیارهای سطحی

گام آخر پر کردن شیارهای آرماتور اتصال با دوغاب است.

### ویژگی‌های آرماتور اتصال

آرماتورهای اتصال مورد استفاده در ساخت روسازی بزرگراه، آرماتورهای فولادی هستند که سازگار با ASTM A615/A615M یا AASHTO M 31M/M 314 هستند. به‌علاوه با استفاده از پوشش اپوکسی محافظت در برابر خوردگی هم فراهم می‌شود. ویژگی‌های آرماتور اتصال که برای عملکرد طولانی‌مدت PCP مهم هستند عبارت‌اند از:



شکل ۵. سیستم اتصال Barra Glide. شیارهای باریک که بخشی از آن تا در سطح پانل پیش‌ساخته باز است نشان داده شده است. در اینجا کارگر از یک آرماتور برای هل دادن آرماتور اتصال به پانل مقابل استفاده می‌کند.



شکل ۶. شیار سطحی اشکی شکل کالیفرنیا: در بالا شکل شیار و در پایین نصب پانل نشان داده شده است

- قطر آرماتور – برای پانل‌های پیش‌ساخته با ضخامت کمتر از ۱۰ اینچ، قطر آرماتور اتصال ۳۲ میلی‌متر توصیه می‌شود. برای دال‌هایی با ضخامت بین ۱۰ تا ۱۴ اینچ، قطر آرماتور اتصال ۳۸ میلی‌متر توصیه می‌شود.
- طول آرماتور – طول آرماتور استفاده شده در ایالات متحده برای روسازی، ۱۸ اینچ است. باین وجود به دلیل محل دقیق آرماتورهای اتصال در PCP، استفاده از آرماتورهای اتصال با طول ۱۵ اینچ (۳۸۰ میلی‌متر) کافی است. با در نظر گرفتن عرض اتصال ۰.۵ تا ۱ اینچ، ۷ اینچ از این آرماتور اتصال در هر پانل قرار گیرد.
- فاصله‌ی آرماتورهای اتصال – آرماتورهای اتصال معمولاً در فاصله‌ی ۱۲ اینچی از هم قرار می‌گیرند.

#### مصالح وصله‌ی شیار آرماتور اتصال

شیارهای آرماتور اتصال را می‌توان بلافاصله بعد از نصب وصله کرد. در هر حال مصالح وصله‌ی شیار اتصال باید به سرعت مقاومت، کسب کنند. مقررات کسب مقاومت ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ پوند بر اینچ مربع در ۴ ساعت یا در زمان باز شدن بخش PCP به روی ترافیک صبحگاهی را الزامی می‌داند. مصالح وصله‌ی شیار آرماتور اتصال معمولاً زود گیر بوده و ممکن است مصالح سیمانی یا پلیمری روان با یا بدون سنگ‌دانه باشند.

#### تقویت پانل

برای کاهش هرگونه ترک خوردگی که ممکن است به دلیل بلند کردن یا عبور و مرور در پانل اتفاق بیفتد، در دو سطح از آرماتورهای تقویتی در پانل‌های PCP استفاده می‌شود. درحالی‌که وجود آرماتورها برای عملکرد روسازی الزامی نیست، اما این

کار جلوی گسترش ترک را گرفته و عمر بهره‌برداری از پانل را افزایش می‌دهد. مقدار آرماتور معمولاً حدود ۰,۲۰٪ از مساحت سطح مقطع پانل در هر دو جهت است.

تمام فولاد مورد استفاده در سیستم روسازی پیش‌ساخته باید در برابر خوردگی محافظت شوند. ضوابط مرتبط با کاور فولاد باید حتماً مدنظر قرار گیرند. چینش آرماتورها در یک پانل PCP در زردار در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷. طرح تقویت معمول

### سرعت تولید و نصب پانل

سرعت نصب پانل یکی از مهم‌ترین عوامل در استفاده از فناوری PCP است؛ زیرا این سرعت تعیین‌کننده مسائل مربوط به مسدود شدن جاده است. فعالیت‌های نصب پانل در طول بسته بودن خط عبور - که معمولاً از ساعت ۸ بعدازظهر تا ۵ صبح روز بعد انجام می‌شود - عبارت‌اند از:

- حذف روسازی موجود
- سوراخ‌کاری و دوغاب ریزی آرماتورهای اتصال برای کارهای تعمیراتی (بر اساس طراحی سیستم)
- آماده‌سازی اساس و لایه‌ی تثبیت‌کننده
- جایگذاری پانل
- دوغاب ریزی زیر دال برای سیستم‌هایی که از لیفت تراز یا درزبندی استفاده می‌کنند
- دوغاب ریزی/وصله‌ی شیارها
- نصب بخش‌های بین PCP و روسازی موجود - برای یک خط عبور در کارهای پیوسته، نیاز به یک بخش انتقال در انتهای نصب PCP وجود دارد.

برای اجرای تعمیرات در یک لاین مشخص، سرعت اجرا به صورت معمول حدود ۱۵ تا ۲۰ پانل در هر شب است. دو گروه برای نصب پانل تا در کارهای تعمیراتی فعالیت می‌کنند: یک گروه منطقه‌ی تعمیرات را آماده می‌کند که کار آنها شامل سوراخ‌کاری و دوغاب ریزی اپوکسی آرماتورهای اتصال است و گروه دوم پانل‌ها را نصب می‌کنند.

برای کاربردهای پیوسته سرعت نصب پانل بالاتری را می‌توان به دست آورد، زیرا کار در سطح بزرگ‌تری انجام می‌شود. سرعت نصب برای پانل پیوسته حدود ۴۰ تا ۵۰ پانل در هر شب یا حدود ۶۰۰ تا ۸۰۰ فوت (۱۸۳ تا ۲۴۵ متر) طول است. با استفاده از پانلهایی با طول بیشتر می‌توان طول نصب بیشتری را هم به دست آورد.



شکل ۸. ساخت پانل در فضای باز، عکس اول آماده‌سازی بستر، عکس دوم تاندون‌های پیش تنیدگی و در عکس سوم هم بتن‌ریزی پانل را مشاهده می‌کنید.

مترجم: علی‌اکبر خلیلی