



## بهسازی و مقاوم سازی پل بزرگ تبادل کلاک و اتوبان تهران کرج



محمد رضا صافدل



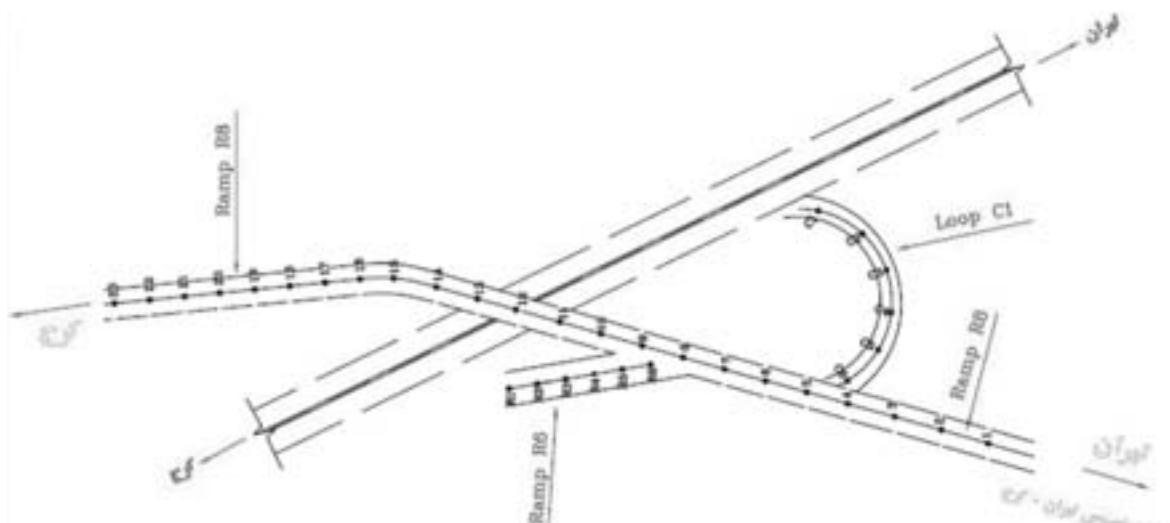
سپهیل آل رسول

سپهیل آل رسول کارشناس ارشد سازه مهندسين مشاور رهاب  
محمد رضا صافدل کارشناس ارشد زلزله مهندسين مشاور رهاب

### چکیده:

بیشتر کشورهای توسعه یافته سالهاست به ایجاد و توسعه سیستم مدیریت تعمیر و نگهداری برای مجموعه پل های خود پرداخته اند، این در حالی است که این امر در کشور ما هنوز به شکل منسجم و در سطح کلان مورد توجه قرار نگرفته است. پروسه مدیریت تعمیر و نگهداری پل ها یک فعالیت علمی - اجرایی است که باید براساس یک برنامه مدون و به صورت مداوم انجام پذیرد که در آن دولت، دانشگاه ها، شرکت ها و سازمان های خصوصی و نهادهای غیردولتی هر کدام نقش غیر قابل انکاری داشته و موفقیت آن در گروی همکاری مؤثر آنهاست.

مهندسين مشاور رهاب با بیش از ۳۳ سال سابقه فعالیت در زمینه طراحی و نظارت پروژه های راه، راه آهن، ابنیه و خطوط انتقال نفت و گاز از سال ۱۳۸۵ واحد مطالعات آسیب پذیری و تعمیر و مقاوم سازی ابنیه فنی خود را به شکل کاملاً تخصصی فعال نموده و در این زمینه تاکنون با قطب علمی مقاوم سازی و بهینه سازی ابنیه، ساختگاه ها و شریان های حیاتی (دانشگاه صنعتی امیرکبیر) و نیز سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران مکاتبه و همکاری داشته است و در موارد مختلفی به ارائه مطالعات مقاوم سازی و بهسازی سازه ها پرداخته است. در این مقاله برای آشنایی بیشتر با توانمندی های این مشاور در زمینه مطالعات مقاوم سازی و بهسازی سازه ها شرح یکی از آخرین پروژه های انجام گرفته از سوی این مشاور گزارش می شود.



شکل ۱- کروکی کلی پل کلاک



شکل ۳- خروجی رمپ R۸ به سمت کرج

محور پرتردد است. این پل با طرح هندسی خود در مبدأ ورودی شهر کرج کاربری ویژه‌ای در سرویس دهی در این نقطه از مسیر دارد. همان‌طور که در کروکی پل کلاک (شکل ۱) نشان داده شده این پل شامل رمپ‌های R۸ و R۶ و لوپ C۱ می‌باشد. اهمیت این پل نه تنها به جهت تامین ارتباط اتوبان تهران-کرج با جاده مخصوص کرج که به دلیل تامین برخی از دسترسی های شهری و ارتباط با محور چالوس نیز حائز اهمیت است.

### ۱-۳- رمپ R۸

رمپ R۸ قسمت اصلی پل کلاک است که به صورت روگذر از روی آزادراه تهران-کرج و همچنین جاده‌ای که از سمت کرج (جاده خلیج آباد) به سمت جاده مخصوص تهران-کرج می‌رود عبور می‌کند. این رمپ دارای ۲۳ پایه است. بین پایه‌های ۸ تا ۱۵ عرشه بتنی بر روی شاهتیرهای فلزی و در دیگر پایه‌ها بر روی شاهتیرهای بتنی قرار دارد.

### ۲-۳- رمپ R۶

این رمپ در واقع خروجی پل کلاک به سمت کرج است که بعد از قسمت متصل به رمپ R۸ با ۵ دهانه به بزرگراه تهران-کرج می‌رسد. بارهای روی عرشه از طریق ۵ تیر بتنی به پایه‌های منتقل می‌شود. در شکل ۴ این رمپ نمایش داده شده است.



شکل ۵- ورودی لوپ C۱ از بزرگراه تهران-کرج

### ۳-۳- لوپ C۱

این لوپ در واقع خط برگشت بزرگراه تهران-کرج از طریق اتصال به رمپ R۸ و عمران ۵۳ ادامه مسیر به سمت کرج را ممکن می‌سازد. این لوپ تا قبل از اتصال به رمپ R۸ مکانیک مواد ۵ دهانه است که در نهایت قبل از پایه ۶ به رمپ فوق‌الذکر متصل می‌شود.



شکل ۲- ورودی رمپ R۸ از سمت جاده مخصوص

### ۱- مقدمه

پل‌ها به عنوان مهمترین ابنیه فنی شبکه جاده‌ها و راه آهن در واقع کلید ارتباطی سیستم حمل و نقل زمینی کشور می‌باشند. لزوم کارکرد مداوم به جهت رفع نیاز رفت و آمد های شهری و برون شهری خصوصاً در زمان های اضطراری، هزینه های سنگین مالی احداث هر پل، اهمیت ویژه آنها در شبکه شریان های حیاتی هر کشور و نیز زیان های احتمالی در صورت خارج شدن هر پل از شبکه ترانزیت، همه و همه جایگاه ویژه این سازه و اهمیت نگهداری دقیق آن را در مبحث مدیریت های کلان بخصوص مدیریت بحران نشان می‌دهد.



شکل ۴- خروجی رمپ R۶ به سمت کرج

### ۲- معرفی طرح

مطالعات آسیب‌پذیری و بهسازی پل کلاک در راستای مدیریت نگهداری پل‌ها و تعیین سطح ایمنی مناسب برای شبکه حمل و نقل قابل تعریف است که بنا به خواست اداره کل راه و ترابری استان تهران در دستور کار مهندسین مشاور رهاب قرار گرفت. این مطالعات با جمع آوری مدارک فنی موجود پل کلاک، تکمیل مدارک با برداشت های محلی، انجام بازدیدها و پر کردن چک لیست های ارزیابی کیفی پل آغاز گردید که نتیجه آن به شناخت وضعیت موجود پل و معرفی نقاط ضعف و خرابی اجزای سازه ای و غیرسازه ای آن منتهی گردید. در ادامه با توجه به خواست کارفرمای طرح مبنی بر این که با انجام تعمیرات لازم شرایط پل به زمان پیش بهره‌برداری اصلاح شود، پس از شناخت وضعیت موجود پل بجای انجام مطالعات کمی، فاز مطالعات اجرایی و معرفی روش های مختلف مطرح برای تعمیر پل کلاک موردنظر قرار گرفت. در ادامه به تفصیل روند انجام مطالعات بیان می‌شود.

### ۳- مشخصات کلی پل کلاک

پل کلاک که در کیلومتر ۲۹ آزادراه تهران-کرج واقع شده از پل‌های با اهمیت این

های ارزیابی کیفی پل تکمیل شده با توجه به بررسی های محلی نقاط آسیب پذیر شناسایی و نوع خرابی ها فهرست شود. چک لیست ارزیابی کیفی پل ها که توسط این مهندسين مشاور تهیه شده است شامل ۲۹ صفحه ستوال های فنی به شکل ۴ جوابی است که امکان برداشت سریع پل را برای ارزیاب فراهم می کند. در شکل ۷، یک صفحه از چک لیست ارزیابی کیفی پل ها و در شکل ۸ بخش های مختلف آن نشان داده شده است.



شکل ۶- نمایشی از ورودی پل زیرگذر از سمت کرج

پس از بازدید و انجام برداشت های محلی و تهیه چک لیست ها خرابی های پل کلاک در دو بخش و در سطوح مختلف زیر دسته بندی گردید.

۴-۲- سطوح خرابی اعضای بتنی پل کلاک  
خرابی اعضای بتنی پل کلاک شامل شایتهای بتنی، کوله ها، پایه های میانی و سرستون ها در ۴ سطح زیر دسته بندی شد.  
**سطح C۱:** شروع مرحله فرسایش بتن، ترک خوردگی محدود عضو بتنی، بدون کاهش مقاومت فشاری بتن و یا خوردگی آرماتورها  
**سطح C۲:** فرسایش و پوسته پوسته شدن بتن، ترک خوردگی کنده شدگی و خرابی محدود، کاهش کم مقاومت فشاری بتن بدون خوردگی آرماتورها  
**سطح C۳:** فرسایش و اضمحلال بتن، کنده شدگی و خرابی بتن، کاهش مقاومت فشاری بتن، نمایان شدن آرماتورها و شروع خوردگی آنها  
**سطح C۴:** فرسایش و اضمحلال شدید بتن، کاهش مقاومت فشاری بتن، خوردگی شدید آرماتورها

۴-۳- پل زیرگذر

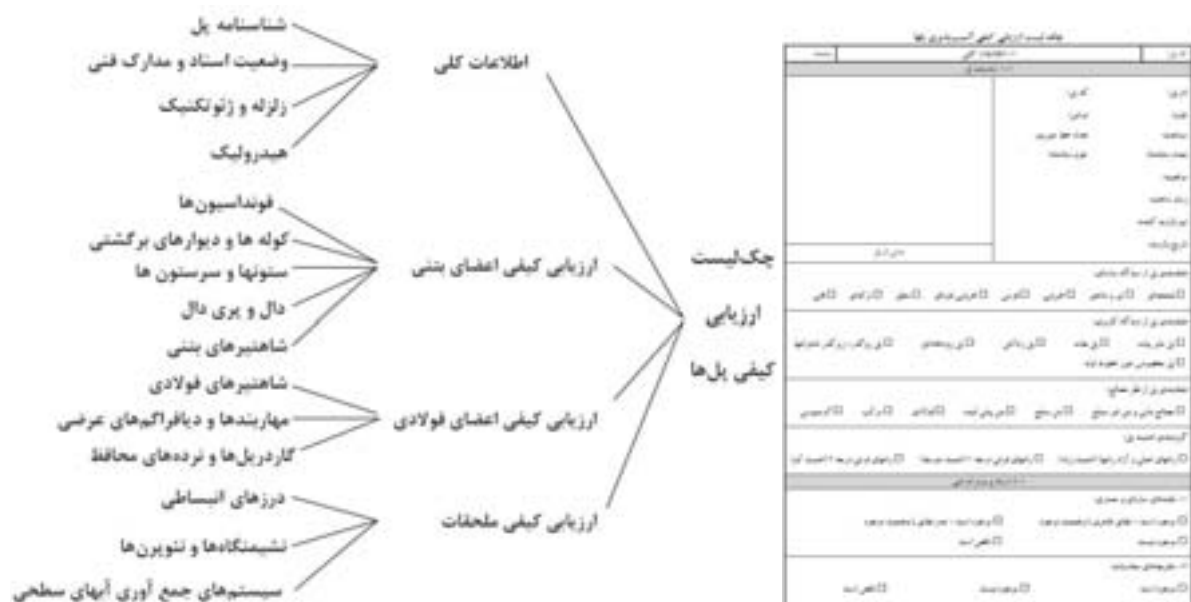
در محل پل کلاک و به موازات رمپ R۸ مسیر ورودی از سمت کرج به داخل بزرگراه تهران- کرج و همچنین به سمت جاده مخصوص از طریق این زیرگذر انجام می شود. بدین ترتیب که این جاده پس از عبور از عرض آزادراه به صورت زیرگذر به دو قسمت تقسیم می شود. یک مسیر با عبور از میان پایه های ۲ و ۳ لوپ C۱ به آزادراه وارد می شود و مسیر دیگر پس از عبور از زیر پایه ۸ رمپ R۸ بدون تغییر امتداد به سمت جاده مخصوص ادامه مسیر می دهد.

#### ۴- ارزیابی کیفی پل کلاک

۴-۱- چک لیست ارزیابی کیفی پل ها

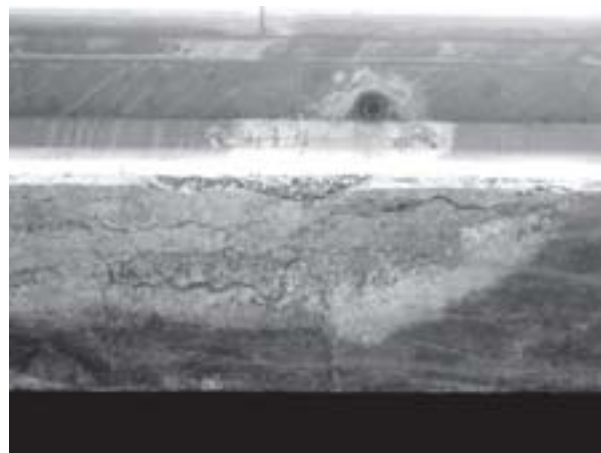
۴-۳- سطوح خرابی اعضای فلزی پل کلاک  
خرابی اعضای فلزی پل ها در ۴ سطح مختلف قابل طبقه بندی است که در مورد پل کلاک تنها سطح اول آن مشاهده می شد.  
سطح S۱: زنگ زدگی و خوردگی سطحی شایتهای و بادبندها، بدون تأثیر گذاری در ظرفیت مقطع  
سطح S۲: کنده شدگی جزئی جوش، پارگی و یا لهیدگی جزئی ورق های اتصال مهاربندی ها، سخت کننده ها

یکی از مراحل مهم مطالعات آسیب پذیری و بهسازی پل ها مرحله مطالعات ارزیابی کیفی می باشد. در واقع ارزیابی کیفی قبل از ارزیابی کمی و تحلیل عملکرد سازه به بررسی وضعیت موجود سازه و خرابی های احتمالی می پردازد و اطلاعات حاصل از این بررسی ها به عنوان اساس و پایه مراحل بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. بر این اساس قبل از بررسی ظرفیت و عملکرد پل کلاک لازم بود تا چک لیست



شکل ۸ - اجزای چک لیست ارزیابی کیفی پل ها

شکل ۷ - صفحه اول چک لیست ارزیابی کیفی پل ها



شکل ۹- نمونه هایی از سطح خرابی C۱ در شاهتیرهای T شکل بتنی پل کلاک



شکل ۱۰- نمونه هایی از سطح خرابی C۲ در شاهتیرها و سرستون های بتنی پل کلاک

۴-۵- نتیجه ارزیابی کمی پل کلاک علت اصلی مشکلات ایجاد شده برای پل کلاک را می توان عدم رعایت جزئیات مربوط به سیستم زهکشی عرشه پل و نیز فقدان سیستم مناسب برای اجرای درزهای انبساطی دانست که این مسئله باعث نفوذ و تخلیه رواناب سطحی عرشه به زیرسازه پل شده است. با توجه به ضعف در سیستم زهکشی عرشه در بسیاری از نقاط مجرای تخلیه با طول کم و زاویه نامناسب اجرا شده و بدین سبب رواناب عرشه بر روی شاهتیرها تخلیه می شده است. درزهای انبساط پل کلاک نیز بدون جزئیات مناسب اجرا شده که این امر موجب انباشت و تخلیه آب بر روی نشیمن گاهها و پایه ها شده و موجب پوسیدگی و تخریب بتن و از بین رفتن آرماتورها در این قسمت ها شده است. علاوه بر آنچه گفته شد مواد شیمیایی

سطح S۳: اعوجاج مهاربندی ها ، سخت کننده ها و یا ورق های اتصال ، کنده شدن ورق های اتصال ، لهیدگی شاهتیر  
سطح S۴: خوردگی و فرسایش قابل ملاحظه در اعضا و اتصالات همراه با کاهش ظرفیت باربری مقطع

۴-۴- خرابی ملحقات پل کلاک خرابی ملحقات پل که ریشه تمامی مشکلات آن می باشد در واقع به دلیل نامناسب بودن اجرای سیستم دفع آبهای سطحی پل و سیستم درزهای انبساط آن است. مواردی از این مسئله در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۱- نمونه هایی از سطح خرابی C۳ در شاهتیرها و کوله و سرستون های بتنی پل کلاک



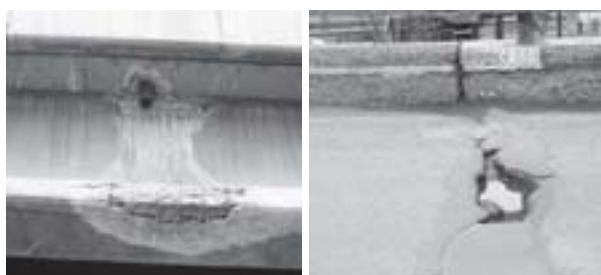
شکل ۱۲ - نمونه هایی از سطح خرابی C۴ در شاهتیرها و کوله و سرستون های بتنی پل کلاک

عملکرد موردنظر خواهد بود. همانطور که در بند دوم این مقاله اشاره شد بنا بر خواست کارفرمای طرح پس از شناخت وضعیت موجود پل بجای انجام مطالعات کمی، فاز مطالعات اجرایی و معرفی روش های مختلف مطرح برای تعمیر پل کلاک و برگرداندن شرایط پل به زمان پیش بهره برداری موردنظر قرار گرفت. در ادامه ابتدا روش های مختلف ارائه شده برای تعمیر پل کلاک و در نهایت روش منتخب برای پل مذکور بیان می شود.

محلول در رواناب عرشه که شامل نمک های کلرید سدیم (مواد یخزدا) نیز می شود، یخزدن و آب شدن های متوالی و نیز عدم رعایت حداقل ضخامت پوشش بتنی آرماتورها فرآیند تخریب بتن ها را تسریع کرده است.



شکل ۱۳ - نمونه هایی از سطح خرابی S۱ در شاهتیرهای فلزی



شکل ۱۴ - معیوب بودن سیستم درزهای انبساط و دفع آب های سطحی پل کلاک

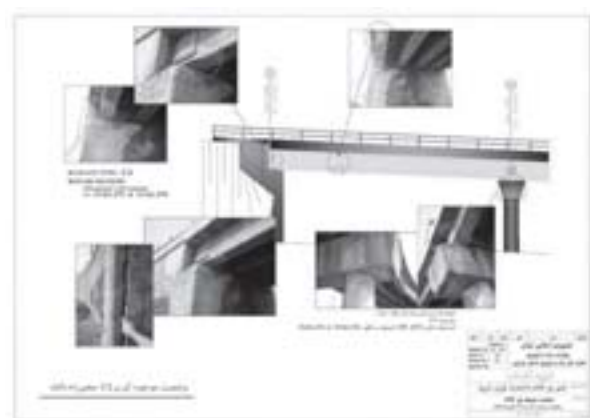
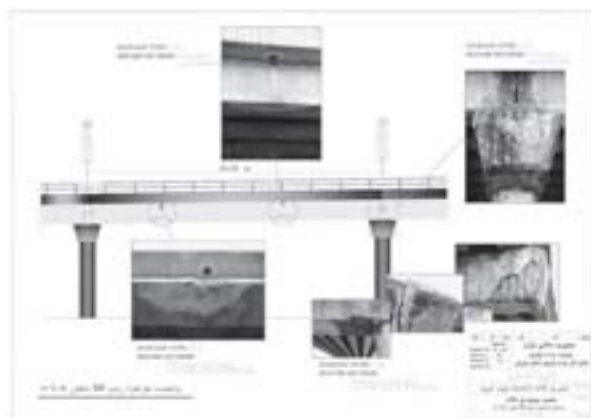
نتایج نهایی این مرحله از مطالعات بصورت گزارش ارزیابی کیفی و معرفی نقاط آسیب پذیر در قالب نقشه های خرابی ارائه گردید، که در شکل ۱۵ مواردی از این نقشه ها آورده شده است.

#### ۵- مطالعات تعمیر پل کلاک

با طرح اختلاط خاصی ملات روانی به دست می آید که پس از زمان کوتاهی به مقاومت بالایی می رسد.

• **بتن پاشی:** از جمله روشهای دیگر تعمیر مقاطع بتنی، بتن پاشی است که با توجه به عدم نیاز به قالب بندی و امکان پاشیدن بتن به سطوح منحنی و حتی

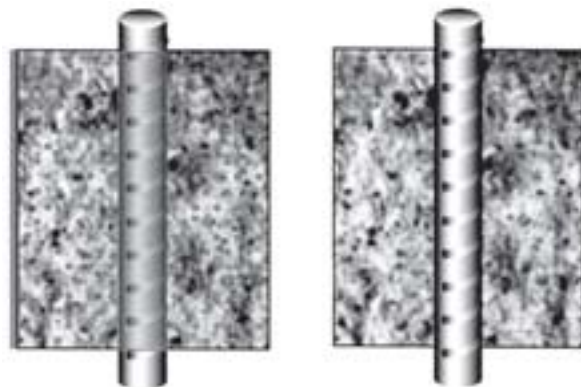
در مطالعات ارزیابی آسیب پذیری و بهسازی پل ها پس از ارزیابی کیفی مطالعات ارزیابی کمی انجام می شود که طی آن براساس مدل سازی وضعیت موجود پل و با انتخاب سطح خطر مناسب عملکرد اجزای سازه ای و غیرسازه ای پل آنالیز می شود. خروجی این مرحله معرفی روش های بهسازی پل و رسیدن آن به سطح



شکل ۱۵ - نمونه هایی از نقشه های معرفی و دسته بندی خرابی های پل کلاک

• **جوش دادن آرماتورهای جدید:** رایج‌ترین راه ترمیم ناحیه کششی اجزاء بتنی استفاده از آرماتورهای جدید است.

• **چسباندن ورق های الیاف پلیمری مرکب (FRP) روی سطح بتن:** یکی از روش‌های ترمیم که با توجه به خرابی‌های پل کلاک می‌توان از آن استفاده کرد تعمیر و مقاوم‌سازی اعضای بتن آرمه (تیرها، دال ها، ستون ها) با استفاده از ورق های FRP است. این روش از جمله روش‌های جدید محسوب می‌شود، که نسبت به ورق های فولادی از مزایای زیر برخوردار است :  
وزن کمتر  
دوام بیشتر در مقابل شرایط محیطی



شکل ۱۶- عدم وجود پوشش بتنی کافی اجرای ترکیب MCI ۲۰۰۵

سقف‌ها روش مناسبی به نظر می‌رسد و استفاده از آن عموماً در سطوح گسترده مثل دیوارهای بتن مسلح و بنایی صورت می‌گیرد ولی می‌توان برای ساخت ژاکت بتنی دور ستون‌ها نیز از آن استفاده کرد.

• **بتن‌های رزینی:** در این بتن‌ها رزین جایگزین سیمان شده است. این بتن‌ها جایگزین قطعات بتنی می‌شوند که قلوه کن شده‌اند. برای اطمینان از پیوستگی کافی بین قسمتهای جدید و قدیمی، باید سطح بتن قدیمی کاملاً تمیز شده و قبل از بتن ریزی جدید، به رزین خالص آغشته شود.

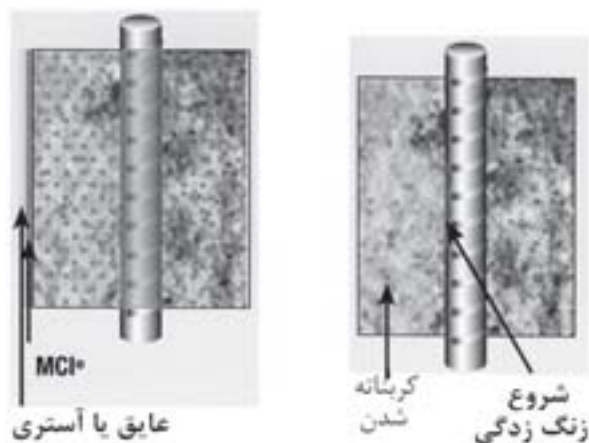
• **رزین‌ها:** با توجه به ترک‌خوردگی‌هایی که در سرستون‌ها و کوله‌های پل کلاک مشاهده می‌شود رزین‌ها یکی از مصالحی است که برای تعمیر نقاط مختلف بتن ترک‌خورده می‌تواند بکار رود. رزین‌ها اغلب برای تزریق گروت به داخل ترک‌ها برای پیوسته کردن بتن ترک‌خورده یا برای چسباندن ورق های فلزی به سطوح بتنی استفاده می‌شود.

• **الیاف های مصنوعی سازه ای:** در مواردی که خوردگی آرماتور بتن مسلح شدید باشد باید عملیات ترمیم، علاوه بر محافظت و ترمیم بخش های خورده شده را با هدف افزایش مقاومت عضو بتن آرمه صورت داد. به گونه ای که ضعف ناشی از خوردگی شدید آرماتورها با استفاده از روش و مصالح مناسب برطرف گردد. در این گونه موارد استفاده از الیاف های مصنوعی سازه ای راه حل مناسبی جهت ترمیم تخریب ناشی از خوردگی می‌باشد. استفاده از الیاف های مصنوعی سازه ای می‌تواند جایگزین اجرای شبکه آرماتور و یا الیاف فولادی شود.

• **ترمیم با اپوکسی پولی آمید (DM):** در این روش برای مقاطع خورده شده اگر آرماتورها سالم باشند سطح خوردگی ابتدا اپوکسی شده و بعد بتن با ملات الیافی جایگزین می‌شود. اگر تا ۲۰ درصد خوردگی آرماتور وجود داشته باشد باید آرماتورها نیز سند بالاست و سپس بتن الیافی اجرا شود. اگر سطح خوردگی میلگردها فراتر از ۲۰ درصد باشد ضمن انجام کلیه مراحل پیشین لازم است در پایان تا دو متر از هر طرف با نوارهای FRP به عرض ۳۰ سانتی متر و فاصله مرکز تا مرکز ۶۰ سانتی متر پوشش تقویتی داده شود.

• **گروت‌ها:** از گروت‌ها عموماً برای پرکردن فضاهای خالی یا ترک‌های بازشدگی زیاد در سطوح بنایی و بتنی استفاده می‌شود. گروت‌های معمولی از سیمان، آب، ماسه، روان کننده و افزودنی‌های انبساط دهنده تشکیل شده‌اند تا به بالاترین حد مقاومت و کمترین حد انقباض در زمان سخت شدن برسند. گروت‌ها، مثل رزین‌ها تزریق می‌شوند.

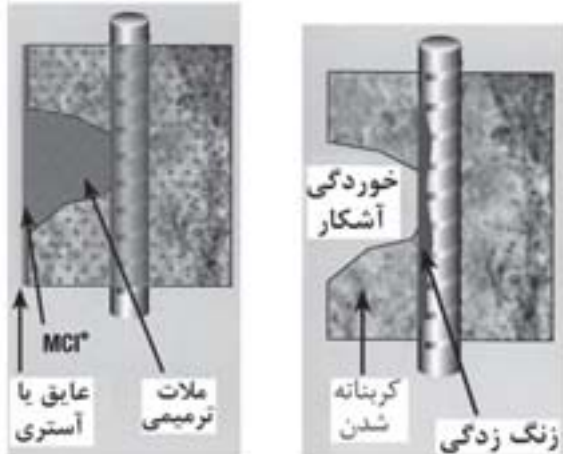
• **چسباندن ورق های فولادی روی سطح بتن:** در این روش که نسبتاً از روش‌های جدید به شمار می‌رود عمل چسباندن به وسیله آغشته کردن سطح تخریبی تیرها، سطوح قائم آنها و اتصالات به رزین اپوکسی انجام می‌شود. ورق‌ها از جنس فولاد زنگ نزن با ضخامت معمولی ۱ تا ۱/۵ میلیمتر هستند که به همین دلیل می‌توان آنها را به خوبی در جای خود نصب و سپس چسباند.



شکل ۱۷- شروع خوردگی اجرای پوشش محافظ به همراه پوشش ضد کربناته

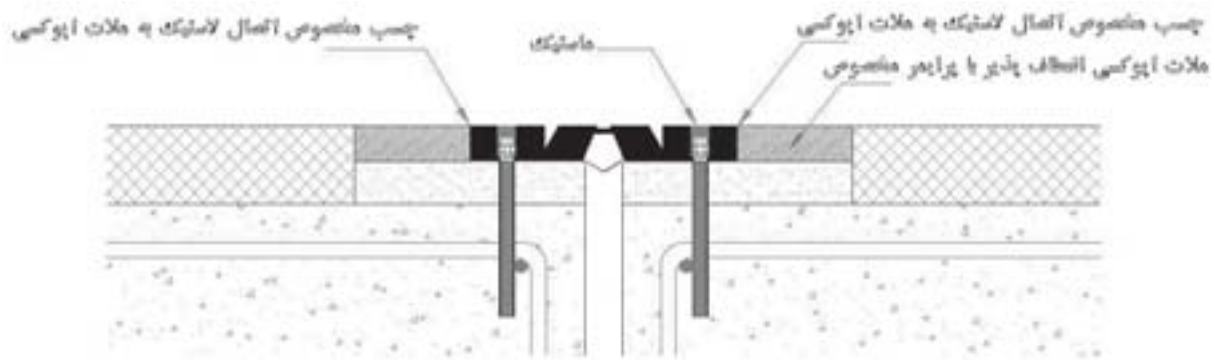
امکان تولید در ابعاد بزرگ  
مدول الاستیک کم و تغییر شکل الاستیک بزرگ تا لحظه گسیختگی که برای پیش‌تندگی بسیار سودمند است.

۵-۲- روش‌های ارائه شده برای جلوگیری و یا ترمیم خوردگی  
• **قبل از خوردگی:** در شرایطی که هنوز عملاً خوردگی قابل توجهی اتفاق نیفتاده است کنترل خوردگی با هدف افزایش عمر بهره‌برداری سازه، جلوگیری از خوردگی



شکل ۱۸- نفوذ کلراید به داخل بتن مسلح ترمیم خوردگی آشکار

زودرس سازه و حفاظت از زیبایی ظاهری بتن صورت می‌گیرد. با اجرای ترکیب های ضد کربناته شدن نظیر MCI ۲۰۰۵ (از جمله محصولات که با نمایندگی شرکت بتن پاش عرضه می‌گردد) می‌توان زمان شروع خوردگی را دو تا سه برابر



شکل ۱۹- دیتایل نهایی روش اول برای اصلاح درزهای انبساطی

به تعویق انداخت.

• **مرحله شروع خوردگی آرماتور:** در صورتی که هنوز خوردگی آشکار اتفاق نیافتاده باشد، می توان با اجرای همزمان پوشش محافظ MCI ۲۰۲۰ به همراه پوشش ضد کربناته شدن مانند MCI و یا پوشش عایق MCI ۲۰۱۹، MCI ۲۰۲۱ و یا MCI ۲۰۲۲ خوردگی بتن آرمه را کنترل نمود.

• **وجود خوردگی آشکار آرماتور:** سازه های بتن آرمه دارای خوردگی آشکار در صورتی که آثار خوردگی از قبیل خرد شدگی ناشی از هوازدگی و ترک خوردگی، در سطح آنها به وضوح قابل رؤیت باشد، تعمیرات سازه را ضروری می سازد. در این حالت مقدار کلراید که به داخل بتن مسلح نفوذ کرده و به آرماتور رسیده زیاد می باشد برای تأمین حفاظت در برابر خوردگی در این مرحله ابتدا آرماتورهای قابل رؤیت تمیز می شوند سپس دوغاب کورتکس MCI ۲۰۲۳ به ناحیه حاوی آرماتور قابل رؤیت و در کل قسمت تحت تعمیر تزریق می گردد. پس از این مرحله جهت حفاظت آرماتورهای اطراف منطقه تعمیری در قسمت خورده شده از ملات ترمیمی کورتکس MCI ۲۰۳۹ استفاده می گردد و سطح کار به وسیله ترکیب MCI ۲۰۲۰ پوشانده می شود. در نهایت کلیه سطوح عضو بتن آرمه به وسیله پوشش آستری کورتکس و یا عایق پوشش داده می شود

۳-۵- روش های منتخب تعمیر پل کلاک

در نهایت برای تعمیر قطعات بتنی پل کلاک از دو روش بتن پلیمری و بتن الیافی همراه با اپوکسی پولی آمید جهت مقاطع خورده شده بتنی از رده C۱، C۲، C۳، C۴ پیشنهاد شده و در مدارک و نقشه ها ارایه شده است. در برخی از تیرهای پیش ساخته تابلیه و سرستون ها حجم خوردگی در مقاطع بتنی و میلگردهای بتنی بیش از آن است که با ترمیم صرف مقطع به حالت پیش از بهره برداری باز گردد بنابراین کاربرد یکی از روش های تقویتی مانند FRP اجتناب ناپذیر بود.

۵-۳-۱- استفاده از FRP برای تقویت و ترمیم کلیات تقویت خمشی با FRP : اتصال مصالح FRP به ناحیه کششی بتن به طوری که راستای الیاف آن در جهت طولی یک عضو خمشی باشد، باعث افزایش مقاومت خمشی آن عضو می گردد. طراحی رفتار قاب تقویت شده با در نظر گرفتن کاهش قابل توجه چرخش و انحنا در قسمت های تقویت شده در نظر گرفته شد. همچنین در این وضعیت تأثیر بارهای متناوب بر مصالح FRP نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مقاومت برشی مقطع: از مصالح FRP برای افزایش مقاومت خمشی عضو استفاده می شود، که البته با دور پیچ کردن تیر تقویت برشی نیز انجام می شود که به جهت اعمال بارهای تکیه گاهی در پل کلاک مورد توجه می باشد.

کرنش لایه زیرین بتن موجود: از آنجا که قبل از نصب مصالح FRP، تمامی بارهای روی عضو شامل وزن آن و هر نیروی دیگری از روی عضو برداشته نمی شود، کرنش اولیه در سطح کششی بتن در محاسبات در نظر گرفته می شود. این کرنش به عنوان کرنش اولیه در نظر گرفته شده و از کرنش موجود در FRP جدا می گردد. میزان کرنش اولیه در لایه زیرین بتن، با استفاده از تحلیل الاستیک عضو با در نظر گرفتن تمامی بارهای وارده در حین نصب FRP تعیین شده است. ضرایب جزئی ایمنی: ضریب جزئی ایمنی مصالح FRP، صرف نظر از نوع بارگذاری، بستگی به نوع آن و شرایط محیطی کار دارد. این مقدار از ضرب عدد ۰/۸۵ در مقادیر متناسب با جدول شماره ۱ که ضرایب کاهش محیطی نامیده می شود به دست می آید.

شرایط محیطی	نوع الیاف و رزین	ضریب کاهش محیطی
شرایط محیطی ملایم	کربن- اپوکسی	۰/۹۵
	شیشه- اپوکسی	۰/۷۵
	آرامید- اپوکسی	۰/۸۵
شرایط محیطی متوسط و شدید	کربن- اپوکسی	۰/۸۵
	شیشه- اپوکسی	۰/۶۵
	آرامید- اپوکسی	۰/۷۵
شرایط محیطی بسیار شدید و فوق العاده شدید	کربن- اپوکسی	۰/۸۵
	شیشه- اپوکسی	۰/۵
	آرامید- اپوکسی	۰/۷

جدول ۱- ضریب کاهش محیطی برای مصالح FRP

۵-۳-۲- زنگ‌زدایی شاهتیرهای فلزی با سند بالاست، اجرای ضد زنگ و رنگ اپوکسی

زنگ‌زدگی و خوردگی در شاهتیرهای پل کلاک بصورت کلی و تحت بهره برداری دیده می‌شود. با وجود آنکه این خوردگی‌ها در حدی نیست که از ظرفیت مقاطع کاسته شود ولی لازم است تا اقدامات لازم در جهت سندبلاست صورت پذیرد. این مهم با توجه به اصل نگهداری و دوره های منظم بازرسی و تعمیر پل در هر ۵ سال نیز تأیید می‌گردد. سندبلاست باید به شکلی انجام شود که سطح فولاد عاری از هر گونه لایه خوردگی و کاملاً نمایان شود. نوع پرداخت سطحی که در اثر ماسه‌پاشی حاصل می‌گردد باید در انطباق با نوع رنگ و پوشش بعدی انتخاب گردد و به تأیید دستگاه نظارت رسانده شود.

بعد از انجام سندبلاست لازم است تا سطوح پاک شده رنگ شود. تمامی سطوح شاهتیر فلزی به غیر از سطوحی که برای حفظ زبری و اصطکاک آنها باید بدون پوشش باقی بمانند باید با دو دست رنگ اپوکسی شامل آستر و رویه پوشانده شوند. حداقل ضخامت لایه‌ها بسته به نحوه اجرای رنگ توسط پیمانکار پیشنهاد شده و به تأیید دستگاه نظارت خواهد رسید. رنگ آستر و رویه باید از بهترین نوع رنگ سازگار با شرایط محیطی پل انتخاب گردیده و به تأیید دستگاه نظارت برسد.

۵-۳-۳- اصلاح ملحقات (درزهای انبساطی، مجراهای آبرو عرشه) اصلاح درزهای انبساطی پل کلاک گرچه از نقطه نظر مقاومت پل از درجه اهمیت کمتری نسبت به بقیه موارد برخوردار است ولی همانطوری که بیان شد ریشه بسیاری از مشکلات و خرابی های موجود در اثر وضعیت نامناسب درزهای انبساطی پل مذکور ایجاد شده است. برای اصلاح درزهای انبساطی لازم است تا با تخریب آسفالت محل درز و اجرای آن به شکل مناسب و مطابق جزئیات لازم اقدام شود. طرح اصلاح درزهای انبساطی مطابق دیتایل ابلاغی معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران و به سه روش مختلف در ۶ مرحله تهیه و ارائه گردید. در شکل ۱۹ دیتایل نهایی یکی از روش ها نشان داده شده است.

مورد آخر در مورد اصلاح وضعیت پل کلاک اصلاح مجراهای آبرو عرشه بود، طوری که رواناب عرشه به شکل مناسب تخلیه شده و دیگر آسیبی به زیرسازه پل وارد ننماید.

#### ۶- تخمین از هزینه های تعمیر پل کلاک

بنا بر فهرست بهای واحد پایه رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن سال ۱۳۸۶ برآوردی از هزینه های اجرای طرح فوق الذکر جهت تعمیر پل به شرح زیر بدست آمده است.

ردیف	شرح	فهرست بها	ستاره دار	جمع
۱	فصل اول - عملیات تخریب	۳۹,۹۴۱,۷۵۰	۴۵,۵۲۷,۰۰۰	۸۵,۴۷۸,۷۵۰
۲	فصل هشتم - قالب بندی و چوب بست	۱۱۹,۸۳۷,۵۰۰	*	۱۱۹,۸۳۷,۵۰۰
۳	فصل نهم - کارهای فولادی با میلگرد	۱۶۴,۵۱۵,۹۰۰	*	۱۶۴,۵۱۵,۹۰۰
۴	فصل دهم - کارهای فولادی سنگین	۲۰,۴۹۷,۰۰۰	۶۴۷,۵۰۰,۰۰۰	۶۶۷,۹۹۷,۰۰۰
۵	فصل یازدهم - کارهای فولادی سبک	۳۱,۳۱۱,۹۰۰	*	۳۱,۳۱۱,۹۰۰
۶	فصل دوازدهم - بتن درجا	۵,۸۷۲,۷۶۰	۳,۱۴۵,۲۹۵,۰۰۰	۳,۱۵۱,۱۶۷,۷۶۰
۷	فصل پانزدهم - آسفالت	۱۸,۹۸۵,۷۰۰	*	۱۸,۹۸۵,۷۰۰
۸	فصل شانزدهم - عایقکاری	*	۵۰۶,۸۰۰,۰۰۰	۵۰۶,۸۰۰,۰۰۰
۹	فصل نوزدهم - متفرقه (کاربرد بتن الیافی، ورق های تقویتی FRP، عایق دال ...)	۷۷۷,۴۳۱,۳۰۰	۳,۱۰۲,۳۰۰,۰۰۰	۳,۸۷۹,۷۳۱,۳۰۰
	جمع کل فصول	۱,۱۷۸,۳۹۳,۸۱۰	۷,۴۴۷,۴۳۲,۰۰۰	۸,۶۲۵,۸۲۵,۸۱۰
			جمع کل پس از اعمال ضرایب	۱۳,۰۷۵,۰۲۶,۹۰۸

جدول ۲- برآورد مرحله دوم تعمیر و بهسازی پل کلاک براساس فهرست بهاء سال ۱۳۸۶

#### سپاس گذاری

- با سپاس از جناب آقای مهندس صدیقی- مدیرکل اداره راه و ترابری استان تهران
- با سپاس از جناب آقای دکتر صحرانورد مدیرعامل شرکت بتن پاش

#### مراجع:

- ۱- مدیریت پل- معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری پژوهشکده حمل و نقل
- ۲- راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمان های بتنی با استفاده از مصالح تقویتی
- ۳- گزارش های مطالعات مرحله اول و دوم تعمیر و بهسازی پل کلاک - آل رسول، سهیل و صافدل، محمد رضا - مهندسین مشاور رهاب، ۱۳۸۶.