



## چهارمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیرو

### بررسی علل نرسودگی تیرهای بتونی در منطقه اصفهان و ارائه راه‌طهای تعمیرات

عبد الرحیم ایزدی - ناصر ابوالقاسمی  
شرکت برق منطقه ای اصفهان

کمال میرطلایی - احمد ساعتچی  
دانشگاه صنعتی اصفهان

#### چکیده

تعداد زیادی از تیرهای بتنی برق در قسمت‌های مجاور زمین تحت تاثیر شرایط محیطی و حملات شیمیایی مختلف خراب می‌شوند. تحقیقات حاضر مربوط به بررسی علل این خرابی‌ها در منطقه اصفهان و ارائه راه‌حلهای تعمیراتی برای این پایه‌ها می‌باشد.

#### شرح مقاله

در تاریخ ۷۰/۳/۲ در خط ۳۰ کیلو ولت محله مفت آباد اصفهان کارگر شبکه که به منظور تعمیرات بر روی تیر بتنی صعود نموده بوده هنگام کار ناگهان تیر از محل یقه شکسته و همراه با کارگر بر روی دیوار جنب آن سقوط می‌نماید که منجر به شکستگی پایه‌های وی گردید. حادثه دیگر در شب هنگام مورخ ۷۰/۳/۲۴ اتفاق می‌افتد بدین صورت که تیر بتنی دیگری تحت تاثیر وزش باد متوسط از یقه شکسته و روی سقف ساختمان مجاور سقوط می‌نماید. مورد سوم در خط ۳۰ کیلو - ولت کوهپایه در ناحیه سگزی در مورخه ۷۳/۱/۱۴ وقوع می‌یابد بدین ترتیب که در اثر آتش‌سوزی بقایای مازوت ناشی از واژگون شدن قبلی یک تانکر در مجاورت خط مذکور، یکی از سیمها از کلمپ خارج شده و در اثر آن

تعداد ۶ عدد از تیرهای بتنی سکشن مربوطه بصورت کامل سقوط می نمایند و مورد چهارم سقوط خود بخودی یک تیر بتنی در تاریخ ۲۷/۶/۷۱ در خط ۲۰ کیلو ولت مفت آباد اتفاق افتاد. بلافاصله پس از وقوع هر یک از این حوادث بررسی های جامعی روی تیرهای خط مفت آباد که ۲۴ سال و خط کوهپایه که ۱۷ سال از زمان احداث آنها می گذشت بعمل آمد و با نهایت شگفتی ملاحظه گردید که بخش قابل توجهی از تیرهای بتنی این خطوط در قسمت حوالی بقیه تیر دارای فرسودگی شدید آرماتور و بتن می باشند و حتی در مواردی شدت فرسودگی بحدی است که آرماتورها کاملاً خورده شده و بصورت نوک مدادی درآمده و بتن ناحیه بقیه تیر متلاشی شده است. در موارد دیگر هم درجات مختلفی از فرسودگی بتن و خوردگی آرماتورها در ناحیه تیرها ملاحظه گردید. بررسی های انجام شده روی خطوط قدیمی دیگر شهر اصفهان هم نشان دهنده فرسودگی تیرهای بتنی به درجات مختلف بود بطوریکه در موارد زیادی با وجود ظاهر نسبتاً سالم تیرها. پس از اعمال ضربه در ناحیه بقیه، بتن نسبتاً "بسهولت شکسته شده و خوردگی آرماتورها ملاحظه گردید، حوادث مذکور و بررسی ها مستعجاب آن رنگ خنثی بسیار جدی بود که ضرورت فوری طرح و انجام یک پروژه تحقیقاتی که ضمن بررسی علل فرسودگی تیرهای بتنی، روش های تعمیراتی تیرهای بتنی فرسوده را مورد تحقیق قرار داده و طرح تیرها و روشهای ساخت و نگهداری آنرا مورد ارزیابی قرار دهد ایجاد نمود چون موضوع از دیدگاه خطرات جانی و مالی ناشی از سقوط تیرها و ایجاد برق گرفتگی و آتش سوزی و سلب اطمینان عمومی از شبکه های برق و معضلات دیگر اجتماعی و اقتصادی حائز اهمیت فوق العاده ای بود. علیهذا مدیریت شرکت برق منطقه ای اصفهان بلافاصله شورای تحقیقاتی مشترک دانشگاه و شرکت که متشکل از اعضای کمیته تحقیقات شرکت برق منطقه ای اصفهان و معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی اصفهان و تعدادی از اساتید این دانشگاه می باشد را مسئول و مجری این پروژه نمود که در این رابطه قرار دادی تحت نظارت این شورا بین دانشگاه و شرکت منعقد شده و اکیپ تحقیقاتی که متشکل از تیم دانشکده عمران و تیم دانشکده مواد و با همکاری برق منطقه ای اصفهان بود عملاً کار خود را شروع نمود عملیات پروژه ها با بازدیدهای محلی شروع گردید ابتدا وضعیت موجود تیرهای این خطوط

بدقت مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی‌خط‌مغنت آباد بئیرهای قدیمی تر که دارای خرابی تقریباً "یکسان می باشند عموماً" دارای ترک خوردگی هائی بموازات آرماتورها بوده که در برخی موارد در اثر این ترکها پوشش بتنی روی آرماتورها کاملاً" ریخته شده و در موارد دیگر با ضربات ملایم چکش بسهولت می ریزند. زنگ زدگی آرماتورها از ۷۰ سانتیمتر بالای سطح زمین شروع شده و در عمق ۳۰ سانتیمتری میزان خوردگی آرماتورها به حداکثر خود رسیده و در مواردی بصورت نوک مدادی نزدیک به کسیختگی در آمده اند ولی در عمق های پائین تر از ۷۰ سانتیمتر خوردگی قابل توجهی در آرماتورها مشهود نبود. در بررسی خط کوهپایه (جاده اصفهان - نائین) ملاحظه گردید در قسمتی از خط (ناحیه غیر کشاورزی سگزی) میزان آسیب دیدگی بئیرها شدیدتر از خط مغنت آباد می باشد ولی در قسمتهای دیگر خط بئیرها تقریباً" سالم بوده و یا دارای خرابی کمتر بودند در بئیرهای آسیب دیده همانند خط مغنت آباد خرابی از حدود ۷۰ سانتیمتری بالای سطح زمین شروع شده و در عمق ۳۰ سانتیمتری به حداکثر خود می رسد. در بیشتر این بئیرها بعلت ایجاد تنش های کششی ناشی از افزایش حجم محصولات خوردگی فولاد که باعث ترک خوردگی بتن بموازات آرماتورها شده بود، یا پوشش بتنی روی آرماتورها کلاً" ریخته شده بود و یا با کمترین مقاومت جدا می شدند موضوعی که دلالت بر شدت آسیب دیدگی بیشتر بئیرهای این قسمت نسبت به خط مغنت آباد داشت خوردگی خود بتن بود بطوری که در بیشتر بئیرها بتن حالت پوک شده پیدا نموده بود در جریان این بازدیدها نمونه های متعددی از خاک پای بئیرها، پوشش روی آرماتورها، قطعات بتنی، تکه های آرماتور، لاشه بئیرهای سقوط کرده و غیره برداشته شده و به آزمایشگاههای مربوطه دانشگاه صنعتی اصفهان حمل گردید تا آزمایشات لازم بر روی آنها انجام گردید. و به این ترتیب مرحله عملیاتی پروژه تحقیقاتی مذکور شروع گردید.

## ۱ - مطالعه کیفیت بتن موجود

برای این منظور یکسری آزمایشاتی در محل و در آزمایشگاه صورت گرفت که عبارتند از

#### ۱-۱- ارزیابی مقاومت فشاری بتون بکمک چکش اهمیت - ۱

این آزمایش بر روی قسمت‌هایی از بتن که هنوز پیوستگی داشته و توسط ترکها از هم پاشیده نشده اجرا گردید با توجه به آئین نامه بتن ACI-318 و با توجه به کلروری و سولفاتی بودن خاک منطقه ، حداقل مقاومت بتن  $300 \text{ Kg/cm}^2$  پیشنهاد شده که میانگین مقاومت‌تعیرها در هر دو منطقه کمتر از این حد باشد.

#### ۱-۲- نتایج اندازه‌گیری پوشش میلگرد -

بطور کلی می توان گفت به علت نحوه اجرائی و جاگذاری غیر صحیح میلگردها در قالب‌تعیرها پوشش‌بتنی روی میلگردها متقارن نمی باشند بطوری که در یک طرف بسیار کم (در حدود ۱ سانتیمتر) و در طرف دیگر پوشش به اندازه ۲٫۳ سانتیمتر می باشد این پوشش بر اساس آئین‌نامه ACI در شرایط محیطی مذکور کم می باشد. مگر اینکه از پوششهای نظیر انوکسی یا بر روی آرماتورها و یا بتن استفاده گردد.

#### ۱-۳- تعیین یون کلر موجود در بتون -

در این آزمایش با پودر کردن بتن ، میزان یون کلر قابل حل در آب آن ، با استفاده از محلول نیترات نقره با آزمایشهای متعدد و مکرر تعیین شد . مطابق ACI-318 حداکثر یون کلرور قابل حل در آب ( - CL ) در بتن بصورت در صد وزن سیان در مورد اعضای بتن مسلحی که در شرایط بهره برداری در معرض کلرورها قرار می گیرد برابر ۰٫۱۵٪ می باشد طبق نتایج آزمایشات مقدار متوسط یون کلرور در مورد بتن تعیرهای ملت آباد ۰٫۸۳٪ وزن کل بتن و در مورد تعیرهای خط کوهپایه برابر ۰٫۶۷٪ می باشد که این مقادیر بسیار بزرگتر از مقادیر مجاز بوده و باعث شده است بتن مسلح در وضعیت خوردگی شدید فولادها قرار گیرند .

#### ۱-۴- آزمایشات کربناسیون -

در این آزمایش از معرف شیمیائی فنل الفنتالین برای تشخیص کربناسیون استفاده شده است آنچه از این آزمایشها بر می آید اینست که محیط اطراف میلگردها کاملاً حالت اسیدی پیدا کرده است .

#### ۵-۱- تجزیه شیمیائی خاک منطقه -

آزمایشات انجام شده روی نمونه های خاک دو منطقه نشاندهنده در سدهای بالای کلوورها و سولفاتها در خاک می باشند، متوسط میزان کلوورها ( $Cl^-$ ) در خاک منطقه مفت آباد ۰٫۳۵٪ و در خاک منطقه سگری (کوهپایه) ۰٫۹۰٪ و متوسط میزان  $(SO_4^{--})$  به ترتیب برابر ۰٫۴۷٪ و ۱٫۳۷٪ می باشند با توجه به آئیننامه ACI چنانچه میزان سولفات قابل حل در آب و خاک بین ۳- تا ۲ درصد وزنی باشد میزان سولفات شدید می باشد و در این موارد حداکثر نسبت آب به سیمان ۰٫۴۵ و حداقل مقاومت بتن  $f_c=300\text{kg/cm}^2$  پیشنهاد می کند و بر طبق آن سیمان ضد سولفات صیپ ۵ پیشنهاد نموده و استفاده از آن در این شرایط الزامی است. برای مقابله باحاصله سولفاتها استفاده از سیمان ضد سولفات کافی نیست و پیش بینی های دیگر مانند استفاده از بتن با کیفیت عالی و یا نسبت آب به سیمان کم ضروری است استفاده از مواد افزودنی پوز و لانی و مواد افزودنی حباب ساز که نسبت آب به سیمان را کاهش می دهد نیز بسیار موثر می باشد نکته بسیار مهم دیگر وجود کلرید در بتن است. هنگامی که از سیمان ضد سولفات صیپ ۵ استفاده می شود ممکن است کم بودن مقدار تری کلسیم آلومینات موجب آزادی عمل یون کلرید شود که به خوردگی آرما تور منجر می شود. مطالعات مربوط به پایداری بتن در شرایط مهاجم نشان داده است که با استفاده از سیمان های محتوی ۵ تا ۸ درصد تری کلسیم آلومینات ترک خوردگی ناشی از فولاد کمتر از آن میشود که سیمان حادی کمتر از این ماده باشد. بدین ترتیب هنگامیکه مسئله پایداری بتن از نظر سولفاتها و کلریدها بطور همزمان مطرح باشد استفاده از سیمان پرتلند نوع ۲ می تواند موثر باشد (میزان تری کلسیم آلومینات برای سیمان نوع ۵ به ۵ درصد محدود می شود و برای سیمان نوع ۲ که در برابر سولفاتها مقاومتی متوسط دارد می تواند ۸ درصد افزایش یابد)

#### ۶-۱- ارزیابی میلگردها از نظر وضع موجود -

با مشاهده تیرهای بیرون آورده شده از زمین و همچنین تاکنون پوشش روی میلگردها در تیرهای ایستاده دیده می شود که میلگردها از حدود ۷۰ سانتیمتری بالای سطح زمین و تا حدود ۳۰ الی ۴۰ سانتیمتری زیر سطح زمین دچار خوردگی شدید شده و بعد از این قسمت تقریباً از ۷۰ سانتیمتری زیر سطح زمین به پایین خوردگی مشاهده نمی شود.

## ۲ - شرح آزمایشات انجام شده

پس از انجام بررسی ها، مطالعات و آزمایشات فوق الذکر، ابتدا بررسی مفصلی در مورد مواد تعمیری و مواد مضاف موجود با توجه به تجارب قبلی و جنبه های اقتصادی آن بعمل آمده و سپس در زمینه تهیه برخی از موادی که احتمالاً می تواند مناسب باشد اقدام شد و به این منظور تحقیقات جامعی در مورد نحوه عملکرد این مواد تحت شرایط واقعی و لیکن سریع شده انجام گرفت تا نهایتاً " روشهای مناسب تغییراتی مشخص شوند . شرح مواد تهیه شده جهت انجام آزمایشات بقرار زیر است :

- ماده هوازا

- ماده آب بند بصورت پوششی و یا افزودنی

- زودگیرکننده بتن

- گروت تعمیری (cup)

- چسب اپوکسی تزریقی

- چسب اپوکسی پوششی

چسب اپوکسی جهت اتصال بتن جدید به بتن قدیم

یک نوع رنگ پوششی که بعنوان حفاظت ابنیه ساحلی و دریائی پیشنهاد

شده است

چندین نوع ماستیک و مصالح تعمیری که غالباً ترکیبی از سیمان و مواد

روان کننده امولسیون لاتکس می باشند .

مواد شیمیائی مختلف که بعنوان معرف میزان نفوذ عوامل مخرب بداخل

بتن استفاده می شود . جدول ۱-۴ نوع آزمایشها، جنس مواد ابعاد و تعداد نمونه

ها داده شده است یادآوری شود که کلیه آزمایشها بشرح ذیل بر

اساس استانداردهای موجود ASTM و غیره انجام شده است .

۴-۱- دسته اول - آزمایشهایی که به منظور تعیین کیفیت نمونه ها و مقایسه

چگونگی رفتار و واکنش هر کدام در برابر عوامل مخرب تعیین شده انجام گرفت .

۴-۲- دسته دوم - آزمایشهایی که به منظور تعیین چسبندگی بتن قدیمی بابتن

جدید و مصالح معجز کننده جدید انجام گرفت .

۳-۲- دسته سوم - روشهای عملی تعمیر تیرهای بتنی فاسد شده که از محل بیه آزمایشگاه تکنولوژی بتن دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان حل شد .

۳-۲- دسته چهارم - ساخت معرفیهای لازم برای تشخیص میزان نفوذ عوامل فاسدکننده که بداخل نمونه ها نفوذ می کنند .

### ۳ - نتایج آزمایشات دسته اول

۳-۱- نتایج آزمایشات یخ زدن و ذوب متوالی و تعیین جذب آب

در جدول ۲-۴ میانگین جذب آب نمونه ها در ابتدای ساخت و همچنین پس از چهل سیکل انجام آزمایش ذوب شدن و یخ زدن ارائه شده است .

۳-۲- نتایج آزمایش فشاری نمونه -

آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه ها بر روی نمونه های بتنی به ابعاد  $70 \times 70 \times 70$  میلی متر پس از ۲۸ روز عمل آمدن در آب مقطر  $20^{\circ}\text{C}$  انجام گرفت در (جدول ۳-۴)

۳-۳- نتایج آزمایش تعیین عمق نفوذ گاز  $\text{CO}_2$

برای تعیین عمق نفوذ کلر نمونه های مکعبی  $70 \times 70 \times 70$  میلی متری در مدت ۲۰ روز در محلول کلرید سدیم  $20^{\circ}\text{C}$  تا  $2/5$  درصد قرار داده شدند برای تعیین عمق نفوذ گاز  $\text{CO}_2$  نمونه های مکعبی مشابه به مدت ۳۰ روز در معرض گاز  $\text{CO}_2$  با فشار  $5/1$  اتمسفر قرار گرفتند. در جدول ۴-۶ نتایج آزمایشات فوق الذکر داده شده است .

۳-۴- آزمایش تعیین پتانسیل خوردگی فولاد در بتن -

نمونه های آزمایشی عبارت بودند از استوانه هائی از بتن با مواد سختسلفب مقطر  $7/5\text{cm}$  و به ارتفاع  $13\text{cm}$  که در مرکز آن یک آرماتور بطول  $13\text{cm}$  قرار داده شده بود ضخامت بتن روی فولاد حدود  $2/5\text{cm}$  بود که پس از ریختن بتن به مدت دو هفته در محلول آب مقطر عمل آوری شده و سپس تحت آزمایشات رفتار خوردگی فولاد بر اساس استاندارد ASTM C876-87 قرار گرفتند بدین ترتیب که نمونه های بتنی در محلول  $3/5\% \text{NaCl}$  قرار داده

شده و پتانسیل مدار باز نسبت به الکتروود مقایسه نقره/کلرید نقره بر حسب زمان بمدت سه ماه اندازه گیری شد تغییر مقادیر پتانسیل فولاد بر طبق این استاندارد بشرح زیر است .

پتانسیل فولاد نسبت به الکتروود مقایسه تغییر وضعیت فولاد از نظر خوردگی

نقره/کلرید نقره MV

منفی تر از MV -۲۰۰ ۹۰٪ احتمال عدم خوردگی

MV -۳۵۰ تا MV -۲۰۰ وضعیت خوردگی نامشخص

منفی تر از MV -۳۵۰ ۹۰٪ احتمال وجود خوردگی

در جدول ۴-۴ نوع موادی که در ساخت نمونه های استوانه ای برای تعیین رفتار خوردگی بکار رفته نشان داده شده است . بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایشات بهترین روش جلوگیری از خوردگی فولاد در بتن اعمال پوشش محافظ (اپوکسی یا رنگهای غیر فعال قابل نفوذ) روی بتن می باشد استفاده از این پوشش روی آرماتور بشرطی موثر خواهد بود که هیچگونه نواقص سطحی در پوشش داده نشود در غیر اینصورت حتی ممکن است خطرناک باشد و با متمرکز کردن خوردگی در یک نقطه باعث از بین رفتن سریع آرماتور در آن نقطه گردد .

#### ۴ - نتایج آزمایشات دست دوم

این آزمایشات به منظور تعیین چسبندگی بتن قدیمی با بتن جدید و یا مصالح تعمیر کننده جدید انجام گرفت . در اینجا تنها عامل مقایسه در این دسته آزمایشات تعیین قدرت چسبندگی بتن مصالح تعمیری و سطح کار (سطح بتن قدیم) می باشد بدین منظور ابتدا نمونه های منشوری ۱۰۰\*۱۰۰\*۵۰ میلی متری ساخته شد . پس از عمل آمدن نمونه ها به مدت ۲۸ روز در آب ۲۰C ، تحت بارگذاری خمشی استاندارد دو نقطه ای شکسته شدند و با جایگذاری مجدد قطعات شکسته شده در قالب و پر کردن قالبها با مصالح تعمیری ، نمونه ها تعمیر شدند . پس از عمل آمدن نمونه های تعمیری به مدت ۲۸ روز در آب ۲۰C ، مجدداً تحت آزمایش استاندارد بارگذاری دو نقطه ای قرار گرفتند با مقایسه نیروی شکست نمونه های تعمیر شده ، نیروی شکست نمونه سالم ، کیفیت و قدرت چسبندگی بتن مصالح تعمیر شده و مصالح قدیم بدست خواهد آمد . در جدول ۴-۷ میانگین نیروی شکست اولیه ، میانگین نیروی شکست ثانویه و نوع تعمیر



ارائه شده است. در این سری آزمایشات مشخص شد که تعمیر با بتن معمولی لیکن پس از اجرای یک لایه چسب اپوکسی بر روی سطح کار نتیجه بسیار خوبی دارد.

## ۵ - بررسی نتایج آزمایشات

نتایج تمام آزمایشات در جدول شماره ۱-۵ با دادن اعداد وزنی از ۲ پختا ۲ حلقه تعریف زیر مشاهده می شود.

۲ پختا ۲ حلقه عملکرد عالی

۱+ " " خوب

۰ " " بی تاثیر (برای نمونه های شاهد)

۱- " " بد

۲- " " خیلی بد

در مقایسه عملکرد مواد مختلف دیده می شود که عملکرد بتن با پوشش اپوکسی با امتیاز ۱+ در مرتبه اول و بعد از آن بتن با پوشش رنگ صنایع ماده کروت GP ماده هوازا (مشروط به کم کردن نسبت آب به سیمان) و بتن با ماده آب بندیه ترعیب در رده های بعدی قرار دارند. در ضمن بتن مخلوط با چسب امولسیون، و بتن با هوای زیاد (بیش از ۱۰٪) اثرات مطلوبی نداشته و حتی در بعضی از موارد عملکرد ضعیف تری نسبت به بتن شاهد داشته اند در بقیه موارد تاثیرات نسبتاً خنثی بوده است. با توجه به نتایج فوق و یک تقسیم بندی جامع از نظر میزان خرابی (عیب بندی عیرها) انجام گرفت،

روشهای تعمیراتی پیشنهادی ارائه گردید.

## ۶ - روشهای عملی تعمیر تیرهای بتنی در محل

تیرهای بتنی موجود (کاشته شده در محل) به چهار عیب دسته بندی شده که مشخصات هر کدام و روش تعمیر آنها به شرح زیر می باشد:

۱-۶- عیب یک -

مشخصه: عیرهای سالم که اخیراً "نمب شده اند و هیچگونه آثار فساد

ظاهری در آنها مشاهده نمی شود.

روش تعمیر: اجرای یک لایه پوششی اپوکسی مخصوص بر روی سطوح بتنی در ارتفاع ۵۰ سانتی متر نسبت به سطح تماس زمین با تیر بتنی.

۶-۲- تیپ دو -

مشخصه: تیرهایی که بتن آنها ترکهای کم عمقی برداشته و آرماتورهای نمایان نشده اند و یا تعداد کمی از آنها نمایان شده است و عمق فساد بتن کمتر از ۲ سانتی متر باشد.

روش تعمیر: بتن های ضعیف و فاسد شده و کندن بتن اطراف میلگردها تا حد ممکن، اطمینان از اینکه هیچگونه مواد زایدی نظیر خاک، چربی، گرد و غبار بر روی سطح کار وجود نداشته باشد با استفاده از سند بلاست یا برس سیمی. اجرای یک لایه ملات تممیری از کروت GP قبل از از بین رفتن چسبندگی چسب اپوکسی و نهایتاً "اجرای یک لایه پوششی اپوکسی مخصوص پس از خشک شدن سطح کروت و در ناحیه ذکر شده تیپ قبلی (۵۰- تا ۷۰ سانتی متر). برآی ساخت کروت به مقدار ۰/۱۴ وزن مصالح خشک آب اضافه میگردد و ملات حاصله با ماله یا کاردک در یک مرحله اجرا شود و نیازی به قالب بندی نیست.

۶-۳- تیپ سه -

مشخصه: تیرهایی که در آنها عمق فساد بتن از ۲ سانتی متر تجاوز می کند، تعداد زیادی از آرماتورها نمایان شده و زنگ زده اند ولی قطرشان کم نشده است.

روش تعمیر: کلیه تیرهای فاسد از عمق ۵۰ سانتی تا ارتفاع ۷۰ سانتی متری برداشته شود بگونه ای که هیچگونه بتن فاسد یا ضعیف باقی نماند. در صورت امکان زنگ آرماتورها توسط سند بلاست (ماسه پاش) تمیز شوند و زنگارست زدوده شود. در غیر این صورت تا حد امکان توسط برس سیمی زنگارست زدوده شود. سطوح بتنی و آرماتورها کاملاً تمیز شوند و یک لایه چسب اپوکسی sikadur 12 بر روی کلیه سطوح نمایان شده بتنی و فلزی اجرا شود. قبل از از بین رفتن خاصیت چسبندگی چسب اپوکسی اجرا شده بایستی قالبهای پیش بینی شده در محل قرار داده شوند و بتن ترمیمی پیشنهادی

با مشخصات مذکور در ذیل درون قالب ریخته شود. توجه شود که در تعمیرات تیرهای فاسد شده نیپ‌سه حتماً باید از قالب استفاده شود و پوشش نهائی بتن روی آرماتورها نباید کمتر از ۳ سانتی متر باشد. بطور خلاصه باید از بتنی با دانه بندی حداکثر ۱۰ میلیمتری، مصرف حداقل ممکن نسبت آب به سیمان (۰/۴)، استفاده از ماده ۴ هوازا یا ماده ۴ روان کنندهبه مقاومت ۲۸ روزه ۴ استوانه  $300 \text{ kg/cm}^2$  استفاده نمود و تا کمب مقاومت کافی نگهداری از بخش تعمیر شده با مرطوب نگه داشتن بمدت حداقل ۷ روز بعمل آید.

**۴-۶- نیپ چهار -**

مشخصه: فساد بتن و زنگ زدگی آرماتورها بیش از نیپ سه می باشد و

قطر آرماتورهای فلزی به شدت کاهش پیدا کرده است.

روش تعمیر: اولاً باید کفایت فولاد باقیمانده کنترل شود و در صورت نیاز

فولاد لازم با ایجاد شیارهایی، با طول و صله مناسب در دو طرف قسمت کاهش قطر فولادها در کنار فولادهای قبلی قرار گرفته شوند. در صورت امکان فولادهای تقویتی با استفاده از چسب اپوکسی مخصوص 31 sikadur قراردادده شوند و پس از عمل آمدن چسب بقیه روش تعمیر مشابه روش تعمیر تیرهای فاسد شده نیپ سه می باشد. نکته بسیار حائز اهمیت این است که در تعمیر تیرهای فاسد نیپ چهار حتماً بایستی از مهاربندی استفاده شود و همچنین ناظر حق دارد که در صورت تشخیص برای بعضی از موارد نیپ سه نیاز مهار لازم را در خواست نماید. نقشه های یک انواع مهار مناسب برای تعمیرات ارائه شده است شد. برای نحوه مهاربندی تیرهای نیپ ۴ بایستی از یک سیستم خرک نگهدارنده استفاده نمود بطوریکه در حین عملیات خاکبرداری اطراف پایه و در طول تعمیرات، تیرها در جای خود متعادل باقی بمانند.

## ۷ - نتیجه

انواع آزمایشات فیزیکی و شیمیائی بر روی تیرهای بتنی موجود خطوط قدیمی و خاک محللهای آنها مشخص نمود که بطور کلی ترکیبی از عوامل مختلف نهایتاً بتجر به خرابی بتن و یا خوردگی میلگردها داخل آن شده اند که این عوامل عمدتاً عبارتند از کم بودن پوشش محافظ بتن بر روی میلگردها، مناسب نبودن شکل مقطع تیرها از جهت تامین پوشش محافظ و استاندارد، نامرغوب بودن جنس بتن از نظر نفوذ عوامل مخرب، کربناسیون بتن، یخ

زدگی، وجود نمکهای سولفاتی و کلروری در خاک محل، عوامل فرعی دیگر، برای تعمیر پایه های خراب شده بایستی مواد متناسبی انتخاب و پس از آماده سازی محل تعمیر، بکار برده شوند به قسمی که قسمت های تعمیر شده دارای مقاومت کافی بوده، بخوبی به قسمت های قدیمی متصل گشته و عوامل مخرب محیطی بداخل آن نفوذ نکنند. در این راستا مواد و مصالح مختلف قابل دسترس در ایران در شرایط آزمایشگاهی کوتاه مدت و بصریح شده تحت تاثیر عوامل مختلف نظیر سولفات ها، کلرورها، کربناتیون، پتانسیل خوردگی، یخ زدن و ذوب شدن متوالی، جذب آب و مقاومت فشاری قرار گرفته و عملکرد آنها مقایسه شده و بهترین آنها معرفی گردیدند و برای تعمیر تیرهای موجود نموده شناسایی چهار نوعی متفاوت از این تیرها به ترتیب شدت خرابی و راه حل عملی مهار و تعمیر درجا برای هر چهار نوع ارائه گردید.

## ۸ - منابع

- 1-ACI 318R-89 "BUILDING Code Requirements for Reinforced concrete"
- 2-Properties of concrete, A.M. Neville, 1985
- 3-Evaluation And Rehabilitation of Concrete structures and Innovation Design, ACI International Conference Hong Kong 1991
- 4-Concrete Durability, ACI SP-100
- 5-Superplasticizers and other Admixtures in Concrete
- 6-Concrete International, Vol 11, Nos, 9, 11, Vol 12, Nos, 9, 10 Vol 13, Nos, 2, 6, Vol 14, Nos. 3, 9, 4
- 7-Guide to Durable Concrete, ACI 201, 2R-89
- 8-Standard Practice for Selection Proportions for Concrete, ACI 207, 3R-58
- 9-Chemical Admixtures for Concrete, ACI 212, 3R-89
- 10-Corrosion of Metals in concrete, ACI 222, R-89
- 11-Causes and Repair of Cracks in Concrete Structures, ACI 224, 1R-89
- 12-A Guide to the use of Waterproofing System for Concrete, ACI 515, 1R-85
- 13-Standard specification for Repairing Concrete with Epoxy Mortars, ACI 503, 4-86
- 14-Standard Specification for Bonding Plastic Concrete to hardened Concrete with Epoxy Adhesives, ACI 503, 2-86

۱- کنفرانس بین المللی بتن ۱۳۷۱، مجموعه مقالات

۲- جنس مواد افزودنی در توسعه تکنولوژی بتن، دکتر علی اکبر رمضانیاخیز،

سپندیس اسماعیل اسماعیل پور

۳- آئین نامه بتن ایران، قسمت اول، سازمان برنامه و بودجه

۴- جنس مواد افزودنی در بتن، سازمان تحقیقات مسکن

۵- حفاظت کاتدی فولاد در بتن، سازمان تحقیقات مسکن

جدول ۱-۴. جدول نوع مواد، نوع آزمایشها و تمداد نمونه های ساخته شده

نوع آزمایش جنس مواد	آزمایش نوع A	آزمایش نوع B	آزمایش نوع C	آزمایش نوع D	آزمایش نوع E	آزمایش نوع F
۱ بتن شاهد با پرتکلند معمولی شیب ۱	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۲ بتن شاهد با پوکش اپوکسی	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۳ بتن شاهد با پوکش ماسیک آب بند	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۴ بتن شاهد با پوکش رنگ مناسب	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۵ بتن با چسب بتن امولسیون	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۶ کروت Conbex GP	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۷ بتن با ماده افزودنی زودگیرکننده	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۸ بتن با ماده افزودنی هوازا ۵ درصد هوا	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۹ بتن با ماده افزودنی هوازا ۱۰ درصد هوا سیمان	۳	۶	۳	۳	۳	۳
۱۰ بتن با ماده افزودنی آب بند	۳	۶	۳	۳	۳	۳

آزمایش نوع A : ضخ زدن و ذوب شدن بتن آبی و تعیین جذب آب  
 B : مقاومت در برابر یخ و ذوب شدن  
 C : مقاومت در برابر ترکود کفر  
 D : مقاومت در برابر گریزاسیون  
 E : تعیین پتانسیل خوردگی فولاد در بتن  
 F : تعیین مقاومت فشاری

جدول ۱-۵. رتبه بندی عملکرد مواد مختلف در برابر آزمایشهای آبی - ۱

نوع آزمایش	جذب آب A	SO4 B	Cl C	CO2 D	پتانسیل خوردگی E	مقاومت فشاری F	جمع
بتن شاهد	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بتن شاهد با پوکش اپوکسی	+۲	+۲	+۲	+۲	+۲	۰	+۱۰
بتن شاهد با پوکش ماسیک آب بند	۰	۰	۰	+۱	-	۰	+۱
بتن شاهد با پوکش رنگ مناسب	+۱	+۱	+۱	+۱	+۲	۰	+۶
بتن شاهد با چسب بتن امولسیونی	۰	-۲	۰	۰	۰	۰	-۲
کروت GP	۰	۰	+۱	+۲	۰	+۱	+۴
بتن با ماده افزودنی زود گیرکننده	۰	۰	۰	۰	-۱	۰	-۱
بتن با ماده هوازا (۵٪ هوا)	+۲	+۱	۰	۰	۰	-۱	+۲
بتن با ماده هوازا (۱۰٪ هوا)	+۱	-	-۱	-	-	-۲	-۲
بتن با ماده افزودنی آب بند	+۱	+۱	+۱	+۱	۰	-۱	+۳

رتبه بندی اوزان:  
 عملکرد عالی +۲  
 عملکرد خوب +۱  
 عملکرد بی تاثیر ۰ (شاهد)  
 عملکرد بد -۱  
 عملکرد خیلی بد -۲

جدول ۵-۴ درصد کاهش مقاومت کششی در نتیجه تاثیر سولفات بر بتن

درصد کاهش مقاومت	نیروی مقاوم کششی (Kg)	نیروی مقاوم کششی (Kg)	انجام آزمایش تاثیر سولفاتها (Kg)
۲۵/۷	۲۴۵	۱۸۲	
۰/۰	۲۵۰	۲۵۰	
۲۹/۹	۲۶۲	۱۸۵	
۸/۲	۲۰۷	۱۹۰	
۵۵/۱	۳۵۲	۱۵۹	
۲۵/۱	۴۲۶	۳۱۹	
-۴/۵	۲۱۵	۲۲۹	
۱۳/۶	۳۰۸	۲۶۶	
-	-	-	
۱۷/۰	۲۹۲	۲۲۲	

جدول ۶-۴ میزان مقن نفوذ کلروکاز CO2 در نمونه ها.

مقن نفوذ کلروکاز CO2	مقن نفوذ کلروکاز	مقن نفوذ کلروکاز
۶/۲	۱۷/۱۵	۱
۰	۲/۰۰	۲
۳/۹	۱۸/۵۵	۳
۲/۲	۱۰/۱۲	۴
۶/۴	۱۵/۳۰	۵
۰/۶	۷/۶۰	۶
۶/۲	۱۴/۲۰	۷
۶/۸	۱۲/۰۰	۸
-	۱۹/۰۰	۹
۳/۹	۱۱/۹۰	۱۰

جدول ۷-۴ میانگین نیروی شکست نمونه های سالم و نمونه های تعمیر شده مشتمل بر نتایج آزمایش استاندارد غمش در منطقه ای و روش تعمیر نمونه ها.

روش تعمیر	نیروی شکست سالم	نیروی شکست نمونه تعمیر شده	نسبت نیروی شکست نمونه تعمیر شده به نمونه سالم	نوع محل شکست مجدد	تعداد نمونه های مورد آزمایش
تعمیر با بتن معمولی بدون واسطه	۹۹۰	۵۴۰	۵۴	از محل اتصال	۲
تعمیر با بتن معمولی با واسطه یک لایه چسب بتن امولسیون	۹۹۰	۰	۰	از داخل بارگذاری قطعات از یکدیگر جدا شده بودند	۳
تعمیر با بتن دارای چسب بتن امولسیون به عنوان سازه مکانیک	۹۰	۲۸۲	۳۱۸	از محل اتصال	۳
تعمیر با استفاده از گروت GP	۹۹۰	۲۲۳	۲۲۳	از محل اتصال	۳
تعمیر با بتن معمولی به اضافه یک لایه چسب ابوکسی واسطه Sikadur 12	۹۹۰	۹۸۰	۹۹	از داخل بتن خارج از محل اتصال (مستطوره) مانی	۳

جدول ۲- میزان جذب آب نمونه های بستنی پس از عمل آمدن. پس از ۳۰ دقیقه در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد در مقایسه درمذرات جذب آب

	درصد جذب آب سیکل ۱۰ام	درصد جذب آب سیکل ۱۴ام	درصد افزایش جذب آب از سیکل ۱۰ام به سیکل ۱۴ام
۱	۲/۷۷	۲/۸۵	۲۸/۶
۲	۰/۲۲	۰/۱۷	۲۲/۸
۳	۲/۲	۲/۵۵	۲۷/۸
۴	۲/۱۱	۲/۶۶	۷۲/۴
۵	۲/۲۲	۲/۳۷	۲۷/۴
۶	۲/۷۱	۵/۷۸	۲۲/۷
۷	۴/۰۶	۵/۰۵	۲۲/۴
۸	۴/۶۱	۴/۸۲	۲/۶
۹	۵/۲۴	۵/۲۴	۱/۸
۱۰	۲/۲۶	۲/۶۹	۲/۶

جدول ۳- میزان مقاومت فشاری نمونه های بستنی مختلف و نسبت مقاومت فشاری به مقاومت فشاری نمونه های شاهد (نمونه های مبدا)

شماره	نوع بتن	مقاومت فشاری Kg/cm2	نسبت مقاومت فشاری فشاری به مقاومت مبدا
۱	بتن شاهد باسیمان پرتلند تیپ ۱	۲۶۷/۴	۱/۰۰
۲	بتن شاهد با پوشش اپوکسی	-	-
۳	بتن شاهد با پوشش ماتریک آب بند	-	-
۴	بتن شاهد با پوشش رنگ ممتنی	-	-
۵	بتن با چسب بتن	۴۰۱/۴	۱/۰۹
۶	بتن با کروت GP	۷۰۰/۰	۱/۱۰
۷	بتن با ماده الزودنی زودگیر کننده	۳۸۷/۸	۱/۰۶
۸	بتن با ماده الزودنی هوازا (۵٪ هوا)	۲۴۸/۲	۰/۶۸
۹	بتن با ماده الزودنی هوازا (۱۱٪ هوا)	۱۹۹/۰	۰/۷۴
۱۰	بتن با ماده الزودنی آب بند	۳۱۹/۷	۰/۸۷

جدول ۴- نوع موادی که در ساخت نمونه های استوانه ای آزمایش بتن پتانسیل خوردگی به کار رفته است.

نمونه ۱. بتن شاهد باسیمان پرتلند معمولی تیپ ۱	
نمونه ۲. بتن نمونه ۱ به اضافه پوشش اپوکسی	رنگ
نمونه ۳. بتن نمونه ۱ به اضافه پوشش رنگ گشایع رنگ دریایی	رنگ
نمونه ۴. بتن نمونه ۱ به اضافه پوشش رنگ دریایی	رنگ
نمونه ۵. بتن نمونه ۱ به اضافه پوشش اپوکسی	رنگ
نمونه ۶. بتن با کروت GP	رنگ
نمونه ۷. بتن حاوی ماده الزودنی زودگیر کننده Cpnplast NC	رنگ
نمونه ۸. بتن حاوی ماده الزودنی هوازا AIREX-D	رنگ
نمونه ۹. بتن حاوی ۰.۵٪ ماده الزودنی هوازا AIREX-D	رنگ
نمونه ۱۰. بتن حاوی ۱.۰٪ ماده الزودنی هوازا AIREX-D	رنگ
نمونه ۱۱. بتن حاوی ماده آب بند SPERR-TRICOSAL AER	رنگ