

# بررسی پارامترهای موثر بر سازگاری میان بتن ترمیمی و بتن اصلی در سازه های بتن آرمه

علی دوستی<sup>۱</sup>، محمدشکرچی زاده<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، 021-88973631

۲- انستیتو مصالح ساختمانی، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، 021-88973631

[alidousti@ut.ac.ir](mailto:alidousti@ut.ac.ir)

[shekarch@ut.ac.ir](mailto:shekarch@ut.ac.ir)

## خلاصه

امروزه با گسترش ساخت و ساز سازه های بتنی به خصوص در محیط های دریایی همواره بحث افزایش عمر مفید این سازه هایکی از مسائل مهم برای مهندسین کشور به شمار می آید. سازه های واقع در این محیط های دریایی اغلب به دلیل شرایط حاد آب و هوایی این مناطق بعد از چند سالی به دلیل خوردگی میلگردهای فولادی دچار تخریب می شوند. اولین راهکاری که به منظور افزایش عمر مفید سازه به ذهن می رسد بحث تعمیر بتن سازه می باشد. منتها از آنجایی که اجرای یک تعمیر گاهای هزینه های زیادی را به دنبال دارد لذا باید در اجرای آن حتماً از دانش کافی و نیروهای باتجربه و متخصص استفاده کرد. در ترمیم بتن یک سازه اصولاً یک رکن اساسی باید به دقت مورد توجه قرار گیرد و آن بحث سازگاری میان بتن یا ملات ترمیمی با بتن پایه است. در این مقاله سعی شده تا ابتدا به توضیح مختصری در رابطه با پارامترهای موثر بر سازگاری میان ملات ترمیمی و بتن پایه پرداخته شود. سپس در انتها به بررسی یک تعمیر صورت گرفته در یکی از اسکله های جنوبی کشور پرداخته شود.

کلمات کلیدی: سازگاری بتن، ملات ترمیمی، سازه های بتن آرمه، خوردگی آرماتور

## مقدمه

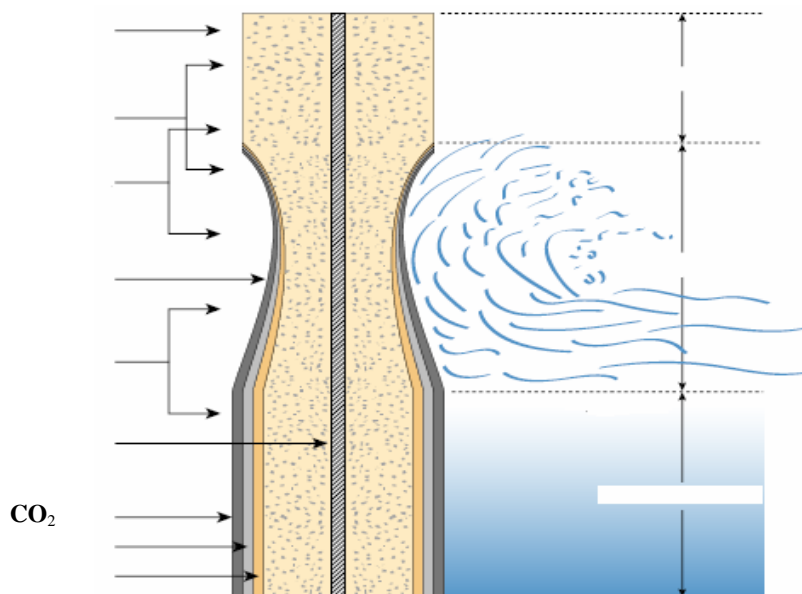
بطور کلی بحث ترمیم یک سازه بتنی بیشتر در مورد سازه هایی صادق است که در مناطق دریایی قرار دارند. چون در این مناطق معمولاً بدلیل وجود شرایط خاص جوی (نظیر رطوبت و تغییرات دمایی نسبتاً زیاد) و همچنین وجود درصدی از املاح مهاجم در آب دریا، شرایط محیطی برای آسیب رسانی به سازه های بتن مسلح فراهم می باشد. از طرف دیگر، ضعف در برخی از موارد مهم طراحی، انتخاب مصالح نامناسب و یا اجرای سازه ها به همراه شرایط نامساعد اقلیمی، سبب ایجاد خرابی های زودرس در سازه های بتنی شده است. این خرابی ها که معمولاً در این مناطق به شکل خوردگی آرماتور در بتن مسلح مشاهده می شود، می تواند به نحو چشمگیری در میزان عمر مفید سازه های منطقه تاثیر گذار باشد. این خرابی های زودرس سبب شده که امروزه ترمیم سازه های بتنی در این مناطق در سطح گسترده ای مشاهده شود. منتها در موارد متعددی، بدلیل عدم دانش کافی در خصوص اصول ترمیم سازه های بتن مسلح در این مناطق، در سطوح ترمیم شده سازه ها خرابی های مجدد و زودرس مشاهده می شود. حتی در برخی از موارد، ترمیم انجام شده بجای بهبود خرابی ها در سازه، سرعت و وسعت خرابی را افزایش داده است.

## عوامل تخریب بتن مسلح در محیط های دریایی

از مطالعه تاریخچه پایایی بتن در مناطق دریایی چنین می توان نتیجه گیری کرد که بسیاری از عوامل فیزیکی و شیمیایی تخریب بتن، در محیط های دریایی وجود دارد. آب دریا شامل بسیاری از یون های مخرب با درصد های نسبتاً زیاد برای بتن می باشد. در بیشتر محیط های دریایی، شرایط حرارتی - رطوبتی برای ایجاد بسیاری از واکنش های مخرب در بتن مناسب می باشد. به علاوه، نیروهای مکانیکی ناشی از اندرکنش امواج دریا با سازه ها، می تواند برای ایجاد و توسعه برخی از انواع خرابی ها در بتن موثر باشد. شکل (1) خرابی های امکان پذیر در بتن دریایی را به همراه موقعیتی که بیشترین آنها به صورت شماتیک نشان می دهد، با توجه به تنوع خرابی ها در این شکل، می توان نتیجه گرفت که سازه های بتنی در محیط های دریایی در معرض یکی از حادترین محیط های طبیعی می باشند [1].

<sup>۱</sup> - کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> - سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران



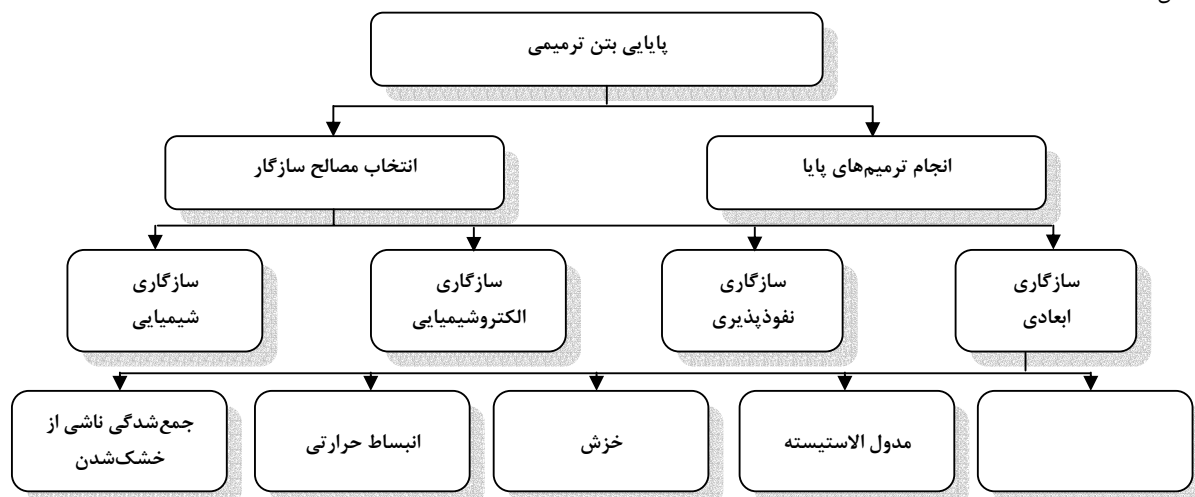
شکل 1- خرابی‌های محتمل و محل آنها در یک ستون بتنی در آب دریا

سازگاری بتن یا ملات ترمیمی با بتن پایه

در دهه‌های اخیر، روش‌های ترمیم و بازسازی سازه‌های بتن مسلح، خصوصاً در محیط‌های مهاجم نظیر محیط‌های دریایی و یا محیط‌هایی که در آن از نمک‌های یخ‌زا استفاده می‌شود، به مقدار زیادی رشد کرده و در حال حاضر نیز این روش‌ها در حال تحول است. در هر نوع از روش‌های ترمیم، بتن پایه آسیب دیده قبل از اعمال روش ترمیم باید تا حد قابل قبولی ترمیم شود و حتی در برخی از روش‌های ترمیم، سطحی از بتن پایه که باید با بتن ترمیمی جایگزین شود، بیش از نواحی آسیب دیده می‌باشد. به همین خاطر تعیین خواص مورد نیاز از مصالح ترمیمی می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد.

سازگاری

در مطالعه ترمیم و بازسازی سازه‌ها یکی از واژه‌هایی که باید نسبت به مفهوم آن آشنایی لازم داشته باشیم، مفهوم سازگاری می‌باشد. از نظر Emmons و همکاران [2]، سازگاری می‌تواند به عنوان تعادل فیزیکی، شیمیایی، خواص الکتروشیمیایی، و خواص ابعادی بین یک مصالح ترمیمی و بتن موجود تعریف کرد. ترمیم انجام گرفته باید در برابر کلیه تنش‌های اعمال شده در اثر تغییرات حجمی، آثار شیمیایی و الکتروشیمیایی در طول بازه‌ای که برای آن طراحی شده دچار خرابی و آسیب نشود. در شکل (2) عواملی که بر روی سازگاری مصالح ترمیمی و پایایی آن تاثیرگذار می‌باشند، نشان داده شده است.



شکل 2- عوامل تاثیرگذار بر دوام مصالح ترمیمی

از میان عوامل ذکر شده در نمودار شکل (2)، شاید مهمترین عاملی که در بحث پایایی ترمیم مورد بحث قرار می‌گیرد، چسبندگی ملات ترمیمی به بتن پایه و عدم جداسازی آن از بتن پایه است که به سازگاری ابعادی معروف است.

#### سازگاری شیمیایی

سازگاری شیمیایی شامل حالتی می‌شود که در طی آن مصالح ترمیمی و یا حتی روش ترمیم انتخاب شده آثار نامطلوب شیمیایی بر روی اجزا و یا المان‌های سازه نداشته باشد. به عنوان مثال، وجود بیش از اندازه برخی از یون‌های قلیایی مانند یون‌های سدیم و پتاسیم که می‌تواند واکنش‌های قلیایی سنگدانه‌ها را در بتن اصلی سازه تحریک کرده و سبب ایجاد ناسازگاری شیمیایی شود [3].

#### سازگاری الکتروشیمیایی

یکی از مشخصاتی که از یک ترمیم انتظار می‌رود، توانایی حذف خوردگی آرماتورها در محل‌های آسیب‌دیده و نواحی مجاور آن می‌باشد. این نوع از سازگاری معمولاً در ترمیم‌هایی که با تکیه بر ترمیم وصله‌ای انجام شده اند، بسیار حساس بوده و تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با آن صورت گرفته است. در ترمیم‌های وصله‌ای، معمولاً وجود ناسازگاری الکتروشیمیایی مربوط به عدم تعادل پتانسیل الکتروشیمیایی در بتن بوده که خود وابسته به ماهیت مصالح ترمیمی و بتن اصلی سازه می‌باشد. معمولاً برای ترمیم سازه‌ها از بتن با کیفیت نسبتاً مطلوب استفاده می‌شود. به همین خاطر احتمال خوردگی در محل ترمیم کمتر بوده و در بیشتر موارد خوردگی آرماتور در نواحی مجاور محل‌های ترمیم شده مشاهده می‌گردد. در این نوع ناسازگاری، سطوح آندی در مجاورت ترمیم که به آندهای تکوینی معروف می‌باشند تشکیل شده و بتن ترمیمی یا به عنوان بخش کاتدی برای تشکیل یک ماکروپیل وارد واکنش خوردگی شده و یا اساساً دخالت در واکنش خوردگی آرماتورهایی که در مجاورت سطوح ترمیمی قرار دارند، نمی‌کند [4]. از این دیدگاه، هر ناحیه خورده شده و آسیب‌دیده در بتن دارای یک سطح کاتدی می‌باشد. در سطوح کاتدی با وجود افزایش یون‌های کلرید و یا کربناتاسیون، بدلیل پلاریزاسیون کاتدی سطح، هیچ گونه خوردگی آرماتور در آن مشاهده نمی‌شود. پس از ترمیم سطوح آسیب دیده و حذف سطوح آندی، نواحی که در قبل به صورت کاتد عمل می‌کردند، بدلیل وجود درصد زیاد عوامل مهاجم و همچنین حذف سطوح آندی، از حالت کاتدی به صورت آندی پلاریزه شده و خوردگی با شدت زیاد در آنها آغاز می‌شود در ترمیم وصله‌ای سازه‌ها تنها نباید به سطوح آسیب‌دیده بسنده کرد و سطح ترمیم را باید به نواحی که در آنها احتمال خوردگی در آینده وجود دارد نیز گسترش داد تا بدین ترتیب احتمال تشکیل آندها تکوینی را کاهش داد. [5].

#### سازگاری نفوذپذیری

در هنگام طراحی ترمیم یک سازه، باید به نفوذپذیری مصالح ترمیمی نسبت به بتن اصلی سازه توجه لازم را داشت. این مسئله تنها انتشار یون کلرید و سازگاری نفوذپذیری مهم نبوده، بلکه از نظر تنفس مصالح ترمیمی نیز اهمیت زیادی دارد. این نوع سازگاری در بتن‌هایی که در معرض رطوبت زیاد قرار دارند، مانند سدها و یا سازه‌های دریایی اهمیت زیادی دارد. استفاده از مصالح ترمیمی با نفوذپذیری بسیار کم سبب اشباع شدن بتن اصلی در پشت محل ترمیم می‌شود. این گونه اشباع شدن در مناطق سردسیر خطرناک بوده، زیرا در سیکل‌های ذوب و انجماد احتمال جداسازی و خرابی در مرز مصالح ترمیمی و بتن اصلی سازه وجود دارد [6]. در مواردی که المان‌های بتنی با نفوذپذیری کم در معرض حمله یون‌های کلرید باشد، تجمع یون‌های کلرید در ناحیه مرزی بتن ترمیمی و بتن اصلی سازه می‌تواند غلظت یون کلرید ناحیه مرزی را به مقدار زیادی افزایش داده و خطر تشکیل آندهای تکوینی را افزایش دهد.

#### سازگاری ابعادی

همانطور که در نمودار شکل (2) نشان داده شده است، عوامل مختلفی سازگاری ابعادی در بتن را می‌توانند تحت تاثیر خود قرار دهند. بطور ساده‌تر می‌توان گفت، اگر در یک ترمیم وصله‌ای از بتن یا ملات با کیفیت مطلوب استفاده شود. ولی بدلیل ناسازگاری ابعادی ترکی در بتن ایجاد شود، همان ترک به مسیری مستقیم برای ورود یون‌ها و ذرات مهاجم به داخل بتن تبدیل می‌شود. مسئله دیگری که در بررسی سازگاری ابعادی به آن اهمیت داده می‌شود، چسبندگی بین مصالح ترمیمی و بتن اصلی سازه می‌باشد. در حقیقت این چسبندگی بدلیل عملکرد هماهنگ بتن اصلی سازه و بخش‌های ترمیم شده اهمیت دارد. جمع‌شدگی و تغییرات طولی ناشی از سیکل‌های انبساط-انقباض می‌تواند سبب ایجاد ناپیوستگی در بین این دو لایه شود. تنش‌های زیادی در بین لایه مرزی دو ماده ایجاد شده و می‌تواند سبب ایجاد ناسازگاری ابعادی در بتن شود. برای جلوگیری از ترک‌خوردگی مصالح ترمیمی و یا ناپیوستگی مصالح ترمیمی و بتن پایه، استفاده از موادی که در برابر تغییرات حجمی ثابت باشد، مفید خواهد بود. البته این فرضیه ایده‌آل بوده و تقریباً هیچ مصالحی بدون تغییرات حجمی در برابر عوامل محیطی نمی‌باشد. برای تولید مصالح ترمیمی که توان شکل‌پذیری مناسب داشته باشد، معمولاً استفاده از روش‌هایی از قبیل افزایش ظرفیت خزش و کاهش مدول الاستیسیته بسیار مفید خواهد بود. از طرف دیگر استفاده از مصالحی که قابلیت کاهش جمع‌شدگی در بتن را داشته باشد، به عنوان راهکار دیگری برای جلوگیری از ناسازگاری ابعادی در بتن‌های ترمیمی می‌باشد. همچنین

استفاده از برخی افزودنی‌ها نظیر الیاف‌های پلی‌پروپیلن به عنوان راهکاری دیگر برای افزایش شکل‌پذیری و کاهش احتمال ترک‌خوردگی می‌باشد. برای جلوگیری از ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی، استفاده از مصالح ترمیمی با حداکثر امکان کاهش آب اختلاط در آن و استفاده از حداکثر دانه‌بندی درشت بسیار مفید خواهد [7].

بطور کلی می‌توان گفت که عملکرد یک بتن و یا ملات ترمیمی به کیفیت چسبندگی مصالح ترمیمی و بتن اصلی و همچنین به شکل‌پذیری بتن ترمیمی برای جلوگیری از ترک‌خوردگی وابستگی زیادی دارد [6]. بررسی این خواص در انتخاب مصالح ترمیمی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و می‌تواند تأثیر مهمی بر روی میزان عمر مورد انتظار از یک ترمیم داشته باشد

#### سازگاری سازه‌ای و مکانیکی

بطور کلی می‌توان ترمیم در سازه‌ها را به دو دسته ترمیم غیرسازه‌ای و سازه‌ای دسته‌بندی کرد. در ترمیم سازه‌ای، برخلاف ترمیم غیرسازه‌ای، سطوح ترمیم شده باید ظرفیت باربری مطابق با بتنی که از سازه خارج شده است، داشته باشد. برای سازگاری سازه‌ای و مکانیکی مصالح ترمیمی و بتن پایه، مطابق جدول (1) حداقل مشخصاتی برای مصالح ترمیمی در نظر گرفته شده است [3].

جدول 1- مشخصات مورد نیاز برای مصالح ترمیمی به منظور سازگاری سازه‌ای آن

رابطه بین مصالح ترمیمی (R) و بتن پایه (C)	خصوصیات
$R \geq C$	مقاومت در فشار، کشش، و خمش
$R \approx C$	مدول فشاری، کششی، و خمشی
بستگی به مدول و نوع ترمیم دارد	ضریب پواسون
$R \approx C$	ضریب انبساط حرارتی
$R \geq C$	چسبندگی در کشش و برش
$R \geq C$	عمل‌آوری و جمع‌شدگی در طولانی مدت
$R \geq C$	ظرفیت کرنش
بستگی به آن دارد که آیا خزش اثر مطلوب داشته یا نامطلوب	خزش
$R \geq C$	رفتار گسیختگی

#### مطالعه موردی

در این بخش به مطالعه یکی از اسکله‌های جنوبی کشور پرداخته می‌شود که حدود 30 سال از عمر آن می‌گذرد. مطلب قابل توجه این است که مشکل تخریب این اسکله بر اثر خوردگی میلگردهای فولادی بعد از تعمیر آن در حدود 15 سال پیش از بین نرفت. این سازه از دو قسمت اصلی تشکیل شده است. یک قسمت شامل عرشه اصلی اسکله برای پهلوگیری کشتی و قسمت دیگر شامل پل دسترسی می‌باشد. مشخصه جالب توجه در طراحی المان‌های این سازه پوشش بتنی نسبتاً زیاد آن در المان‌های تیر سرشمع‌ها بوده که در حدود 100 میلیمتر می‌باشد. این مقدار پوشش در تیرهای پیش‌ساخته از 50 تا 80 میلیمتر متغیر می‌باشد. تیرهای اصلی سازه به گونه‌ای طراحی شده که بخشی از آن در حالت مد کامل زیر آب رفته و در روزهای طوفانی آب دریا به سطوح بالاتر پاشیده می‌شود. المان‌های تیر پیش‌ساخته عرشه کاملاً در ناحیه اتمسفریک بوده و در روزهای طوفانی ممکن است تا حدودی در معرض پاشش آب دریا قرار می‌گیرد با توجه به مطالب موجود در مدارک فنی در خصوص بتن سازه اسکله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [8]: طرح اختلاط بتن اسکله در طول زمان متغیر بوده و بر حسب نوع از بین یکی از طرح اختلاط‌های زیر و براساس تصمیم مهندس ناظر پروژه تعیین می‌شده است. جدول (2) تنوع طرح اختلاط استفاده شده برای ساخت بتن این اسکله را نشان می‌دهد.

جدول 2- طرح‌های اختلاط پیشنهادی برای ساخت سازه اسکله

کمترین مقدار مقاومت فشاری 28 روزه	کمترین مقدار مقاومت فشاری 7 روزه	بیشترین مقدار $\frac{W}{C}$	بزرگترین اندازه سنگدانه (mm)	وزن سیمان ( $kg/m^3$ )	رده‌بندی بتن
270	180	0/55	40	320-360	1
240	160	0/60	40	280-320	2
210	140	0/60	40	240-280	3

سازه اسکله در حد فاصل سال‌های 1368 تا 1369 ترمیم شده است. عملیات ترمیم متمرکز به تیرهای اصلی سازه بوده و شامل ترمیم وصله‌ای می‌باشد. اما شواهد گواه بر این مطلب است که ترمیم سازه به صورت اصولی نبوده و ظاهراً بتن آلوده به یون‌های کلرید در هیچ موقعیتی پاکسازی نشده است. در مشاهده اولیه به راحتی مشخص شد که مصالح ترمیمی از نوع ملات ترمیمی بوده و از مصالح درشت‌دانه در ساخت آن استفاده نشده و تنها مصالح سنگی ریزدانه می‌باشد.

تقریباً در کلیه سطوح ترمیم شده، خوردگی آرماتورها شدت گسترش یافته و با آزمایش چکش در بسیاری از نقاط، مشخص گردید که سطوح ترمیم شده شدت طبله کرده است؛ همچنین در نواحی مرزی سطوح ترمیم شده و بتن اصلی سازه، به وضوح جداسدگی دو نوع بتن مشاهده می‌گردد. در برخی از نقاط بوسیله دستگاه دریل بتن ترمیمی سوراخ شده و ناگهان در محل اتصال آن با بتن اصلی سازه جداسدگی شدید مشاهده گردید. حتی در برخی از نقاط این جداسدگی به گونه‌ای بود که در حین جزر و مد در پشت بتن ترمیمی و در ناحیه مرزی آن با بتن اصلی سازه آب جمع شده و در حین عملیات تخریب با دستگاه دریل خروج ناگهانی آب از این سطوح مشاهده شد؛ در شکل‌های (3) برخی از انواع این خرابی‌ها نشان داده شده است



(a)



(b)



(c)

شکل 3- (a) ترک طولی به واسطه خوردگی و ترمیم ناسازگار (b) شوره زدگی در سطح بتن (c) جداسدگی کامل پوشش روی بتن در تیرهای پیش‌ساخته دال کف، شرایط بتن در بیشتر سطوح بسیار مناسب بوده و آثاری از خرابی در اکثر نقاط مشاهده نمی‌شود. این سطوح در ناحیه اتمسفریک بوده و در روزهای طوفانی تحت اثر پاشش آب دریا قرار دارد

نمونه برداری و بررسی های آزمایشگاهی:

با نمونه برداری و انجام آزمایشهای مختلفی از جمله: تعیین درصد جذب آب، آزمایش تعیین سلامت سنگدانه ها، آنالیز شیمیایی آب مصرفی، کربن گیری، آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی، آزمایش تعیین پتانسیل خوردگی و تعیین پروفیل یون کلرید بر روی سطوح سالم، آسیب دیده و سطوح تعمیری در نهایت موفق به یافتن دلیل اصلی تخریب این سازه و عملیات ناموفق تعمیر (موضوع مقاله ما) شدیم که در زیر خلاصه ای از آنچه که مربوط به تعمیر سازه می شود آورده شده است.

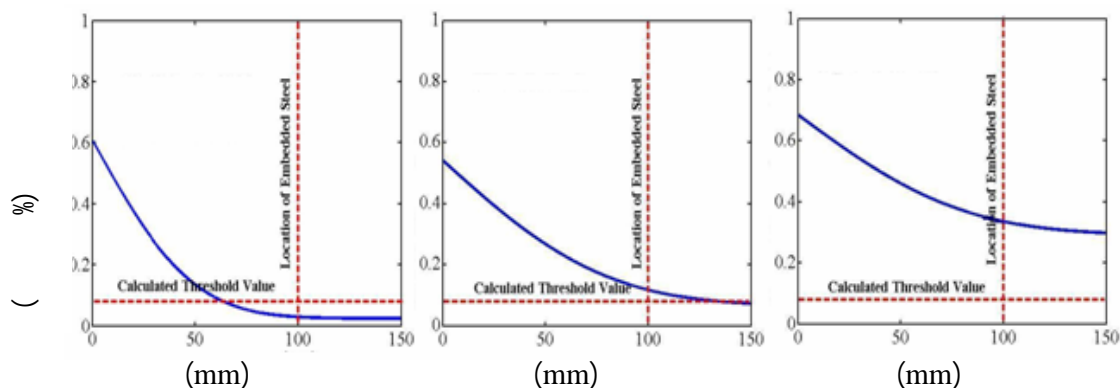
آزمایش جذب آب در آزمایشگاه مطابق استاندارد BS 1881-Part 122 انجام گرفت. نتایج حاصل از آن در جدول (3) ارائه شده است.

جدول 3- نتایج آزمایش جذب آب و وزن مخصوص در بتن اصلی سازه و ملات ترمیمی

نمونه	بتن اصلی سازه		ملات ترمیمی	
	درصد جذب آب	وزن مخصوص	درصد جذب آب	وزن مخصوص
1	1/32	2/54	3/42	2/15
2	1/35	2/42	3/38	2/08
3	1/75	2/43	3/78	2/24

د- آزمایش تعیین پروفیل یون کلرید:

پروفیل های یون کلرید از تیرهای اصلی سازه و تیرهای پیش ساخته دال کف تهیه شدند پروفیل ها از سه بخش سالم، آسیب دیده و تعمیر شده گرفته شدند. سپس در محل آزمایشگاه، برای هر پودر بر اساس استاندارد ASTM C1152 [9] محلول معادل تهیه شد. در شکل (4) نمونه ای از این پروفیل ها را مشاهده می کنید. در این شکل، خط نقطه چین قرمز افقی نشان دهنده میزان کلر بحرانی محاسبه شده و خط قرمز عمودی نشان دهنده میزان پوشش بتنی روی آرماتورها است



شکل 4- پروفیل های یون کلرید مربوط به بتن اصلی، آسیب دیده و ملات ترمیمی

با توجه به نمودارهای موجود در شکل (4)، مقدار نفوذ یون کلرید در سطوح ترمیمی که بیشترین خرابی را داشته بسیار زیاد بوده و در بتن اصلی سالم کمترین مقدار نفوذ یون کلرید به داخل بتن را دارد

نتیجه گیری

1- در تعمیر سازه هایی که در مناطق با آب و هوای گرم و رطوبت بالا واقع هستند باید توجه داشت که این شرایط آب و هوایی برای پایایی بتن مسلح مضرات. تشعشع مستقیم نور خورشید تاثیر مستقیم بر روی دمای سطحی بتن داشته و دمای سطح بتن را به 70 تا 75 درجه سانتی گراد افزایش می دهد [10]. گرمای سطحی بتن و سیکل های گرم و سرد شدن در طول شبانه روز می تواند سبب برخی تنش های حرارتی در سطح بتن شده و باعث ترک خوردگی بتن شود. لذا رعایت و توجه به بحث سازگاری میان ملات تعمیری و بتن پایه امری ضروری است.

2- امروزه ضوابط خاصی برای ساخت بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان از طرف استانداردها، توصیه نامه ها و غیره اعلام شده است. با توجه به جدول (2) آیین نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان [11]، سازه های دریایی که در شرایط جزر و مد و در معرض پاشش آب دریا

قرار دارند. در ناحیه فوق‌العاده شدید (E) در نظر گرفته می‌شوند و حداقل میزان سیمان مصرفی به 375 کیلوگرم بر مترمکعب و حداکثر نسبت آب به سیمان به 0.4 محدود می‌شود. از طرف دیگر استفاده از سیمان پرتلند نوع دو را مجاز دانسته و جایگزینی بخشی از سیمان طرح با پوزولان مناسب را نیز توصیه می‌کند این درحالیست که در این سازه هیچکدام از این محدودیت‌ها رعایت نشده است.

3- با توجه به مشاهدات ظاهر انجام گرفته، وضعیت سطوح ترمیم شده سازه چندان مناسب نبوده است. ناسازگاری و ابعادی در قالب جداسدگی ملات ترمیمی از بتن سازه و همچنین ترک‌های طولی شدید در سطح ملات ترمیمی بخوبی قابل مشاهده است. خوردگی شدید آرماتورها در محل‌های ترمیم شده مشاهده می‌شود که کاملاً با توجه به پروفیل‌های یون کلرید و ناسازگاری ابعادی ایجاد شده، قابل توجیه می‌باشد.

4- با توجه به نتایج آزمایش جذب آب، مقدار متوسط جذب آب سه نمونه از ملات ترمیمی 3/52 درصد برآورد شده است. مطابق آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس، مقدار مجاز جذب آب بتن برای سازه‌های دریایی به 2 درصد محدود شده است. مقایسه این آیین‌نامه و مقدار جذب آب بدست آمده برای بتن ترمیمی، نشان می‌دهد که جذب آب ملات ترمیمی 0/76 برابر حد مجاز می‌باشد. و سازگاری از لحاظ نفوذپذیری وجود ندارد.

5- نکته قابل توجه دیگر مربوط به تشکیل آندهای تکوینی در مجاورت محل‌های ترمیم شده می‌باشد. در حقیقت با گذشت بیش از 15 سال از ترمیم سازه، آثار آندهای تکوینی آن چنان مشاهده نشد. علت آن است که ملات ترمیمی بشدت آلوده به یون کلرید بوده و خوردگی آرماتورها در سطوح ترمیم شده از نوع آغاز شده است. در این شرایط، سطوح مجاور محل‌های آسیب‌دیده که قبل از ترمیم به صورت کاتدی عمل می‌کردند، از حالت کاتدی خارج نشده و به صورت آندی پلاریزه نشده است. به همین خاطر، سطوح مجاور محل‌های ترمیم شده همچنان در حالت کاتدی باقی‌مانده و خوردگی آرماتور ناشی از آند تکوینی در آن آغاز نشده است. ناسازگاری الکتروشیمیایی ملات ترمیمی بدلیل آغاز خوردگی آرماتور در محل‌های آسیب‌دیده قابل مشاهده است.

- 1- Mehta P K & Monteiro P J M. "Concrete: Structure and Materials". Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993.
- 2- Emmons E H, Vaysburd A M & McDonald J E A. "A Rational Approach to Durable Concrete Repairs". Concrete International, 1993, 15(9): 40-45.
- 3- Emberson N K & Mays G C. "Significance of Property Mismatch in the Patch Repair of Structural Concrete, Part1: Properties of repair System". Magazine of Concrete Research, 1990, 42(152): 147-160.
- 4- Zhang J & Mailvaganam N P. "Corrosion of Concrete Reinforcement and Electrochemical Factors in Concrete Patch Repair", Canadian Journal of Civil Engineering, 2006, 33(6): 785-793.
- 5- Raupach P. "Patch Repairs on Reinforced Concrete Structures – Model Investigations on the Required Size and Practical Consequences", Cement and Concrete Composites, 2006, 28(8): 679-684.
- 6- Morgan D R. "Compatibility of Concrete Repair Materials and Systems". Construction and Building Materials, 1996, 10(1): 57-67.
- 7- "Concrete Repair Guide". ACI Committee 546, ACI 546R-04, American Concrete Institute, Detroit, MI, 2004
- 8- "Ready Mix Concrete in Bamdar-e Imam". CF.CMP.SBQ.1, Iran-Japan Petrochemical Company Ltd, 1975
- 9- ASTM C1152, Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete.

10- Mehta, P.K., "Concrete in the Marine Environment". 2nd Edition. Edited by: Bentur A & Mindess S. Taylor & Francis e-Library, New York, NY, 2003

11- "آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان (پیشنهادی)". مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت سکن و شهرسازی، ایران، 1384.