Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

نفوذ یون کلراید و خرابی سازه‌های بتنی بندری در جنوب کشور

دکتر علی اکبر رمضانیانپور - مهندس فرامرز مودی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

بتن همواره بعنوان یکی از پر مصرف ترین و با دوام ترین مصالح ساختمانی جهت ساخت سازه‌های مختلف و از جمله سازه‌های دریایی و اسکله‌ها مطرح بوده است. در حال حاضر نیز در صورت انتخاب مصالح مناسب، اجرای صحیح و نگهدرای مناسب می‌توان دوام بالایی از این ماده نتیجه گرفت.

بهر حال انتخاب مصالح نامناسب و اجرای ناصحیح و با کیفیت پائین و عدم عمل آوری سبب خرابیهایی در سازه‌های بتنی و بتن مسلح بویژه در مناطق ساحلی و با آب و هوای گرم گردیده است.

در این مقاله سازه‌های کنار ساحلی و بندری در جنوب کشور و در کناره خلیج فارس مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این بررسیها آزمایشهای نظری توام با آزمایشهای غیر مخرب و نمونه برداری و آزمایشهای فیزیکی و شیمیایی بر روی این سازه‌ها صورت گرفته است. آزمایشهای نفوذ یون کلراید و میزان آن نشان داده است که عامل اصلی خرابی در این سازه‌ها همانا خوردگی آرماتور و ترک و خرابی بتن روی آن در اثر نفوذ این یون بوده است. آزمایشهای تکمیلی کربناتاسیون و نیم پیل نیز موید این مطلب بوده است. در پاره‌ای موارد اجرای نامطلوب و عدم رعایت پوشش لازم در مناطق با خوردگی شدید باعث شروع خرابی در زمانهایی کوتاهتر از حد انتظار گشته است. ضمن ارائه نتایج آزمایش‌های فوق و بیان علل این خرابیها، در انتها توصیه‌ها و پیشنهادهایی جهت افزایش دوام سازه‌های دریایی فوق بخصوص برای مناطق گرم ساحلی جنوب آورده شده است.

۱- مقدمه:

امروزه تحقیقات در زمینه خرابیهای شیمیایی در بتن تحت اثر عوامل محیطی متنوع، بخصوص در نواحی

www.SID.ir

Archive of SID

خلیج فارس با توجه به زمینه وسیع تخریب و صدمات وارده به سازه‌های بتنی نظر اکثر دست اندرکاران را به خود جلب نموده است. تجزیه شیمیایی آب خلیج فارس و خاک و آب زیرزمینی حواشی آن حاکی از درصد بالای عوامل مضر برای آن منطقه می‌باشد. همچنین دمای بالا و رطوبت در تشدید اثر این عوامل کاملاً موثر می‌باشد.

خرابیها و صدمات در بتن را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود:

الف - خرابیهای فیزیکی مکانیکی که تحت اثر نیروهای مختلف وارده بر سازه و یا بر اثر عوامل محیطی در بتن ایجاد می‌گردد. از این عوامل می‌توان نیروهای وارده، باد، زلزله، عوامل سایش و فرسایش دهنده، گرما و سرما و یخبندان را نام برد.

ب - خرابی شیمیایی که تحت اثر عوامل شیمیائی محیطی خارج و یا داخل بتن و یا توأماً صورت می‌گیرد. این خرابیها از نوع سولفاتی، کلروری، کربناتی و واکنش قلیایی سنگدانه‌ها می‌باشند.

درصد بالایی از خرابی سازه‌های بتنی در ایران بخصوص در حاشیه خلیج فارس ناشی از خرابی کلروری می‌باشند که اجرای نامطلوب و عدم رعایت پوشش لازم بر شدت آن می‌افزاید. خوردگی کلروری تحت اثر عوامل متعدد زیر کاهش یا شدت می‌یابد:

۱- اکسیژن

۲- PH بتن

۳- یون کلر

۴- تخلخل و نفوذ پذیری بتن

۵- رطوبت

۶- دما

۷- پوشش میلگردها

۸- نوع سیمان و نسبت آب به سیمان

خوردگی آرماتور در بتن یک فرآیند الکتروشیمیایی است و سیستم همانند یک پیل از آند، کاتد و الکترولیت تشکیل شده است. در آند اکسیداسیون الکتروشیمیایی صورت می‌پذیرد و در کاتد کاهش الکتروشیمیایی اتفاق می‌افتد. در آند که قطب مثبت می‌باشد آهن اکسیده شده و به یون آهن تبدیل می‌شود:

$$Fe \Rightarrow Fe^{++} + 2e^{-}$$

در کاتد با وجود اکسیژن و آب که لازمه ایجاد خوردگی است فعل و انفعال کاتدی بصورت زیر صورت می‌پذیرد:

$$H_2O + \frac{1}{2}O_2 + 2e^{-} \Rightarrow 2(OH)^{-}$$

بتن در اینجا نقش الکترولیت را داشته و هدایت الکتریسیته را انجام می‌دهد. در حقیقت مایع داخل منافذ بتن که قلیایی و با PH بالاست نقش الکترولیت را بعهده دارد. یون $(OH)^{-}$ که در کاتد تشکیل شده است به آند انتقال می‌یابد (شکل ۱) و با یون آهن فعل و انفعال آندی یعنی هیدرواکسید آهن $[Fe(OH)_2]$ را پدید می‌آورد. هیدرواکسید تشکیل شده سپس با حضور اکسیژن و در محیط مرطوب به زنگ آهن تبدیل می‌شود.

نکته مهم در این فرآیند سرعت انجام واکنش است که معمولاً تابع در دسترس بودن اکسیژن کافی در کاتد

www.SID.ir

Archive of SID

و مقاومت الکتریکی بتن می‌باشد که راه انتقال الکترون بین آند و کاتد را فراهم می‌سازد. نقش یونهای کلر در حقیقت از بین بردن لایه محافظ آرماتورها بوده و در محل‌هایی که خوردگی در مجاورت آن یک پیل تشکیل شده و فولاد بعنوان کاتد عمل کرده و حلالیت آهن آند در نقطه و در محل کوچکی آغاز می‌گردد. همانطور که در شکل (۱) دیده می‌شود جریان یونی ناشی از خوردگی، یونهای کلر بیشتری را به آند هدایت کرده و خوردگی با کاهش PH اطراف آند شدت می‌یابد.

۲- مراحل مطالعات:

مطالعات با بازدیدهای محلی و ارزیابی نظری بتن‌ها و بررسی علل و عوامل موثر در صدمات وارده شروع و همزمان برنامه ریزی برای انجام آزمایشهای لازم در محل ساختمانها و اسکله و نیز در آزمایشگاه صورت گرفت. روش مشاهده عینی به عنوان اولین گام و اولین مرحله انتخاب گردید و نتایج مشاهدات بوسیله سه گروه مختلف در فرمهای مخصوص ثبت گردید. سپس با استفاده از نمونه برداری دستی بر نقاط از پیش تعیین شده و روی سازه‌های مشخص شدت تخریب در عمق بتن و بخصوص روی میلگردها مشاهده شد. با توجه به وسعت قابل توجه ساختمانهای بندر و اسکله امکان نمونه برداری از تک تک سازه‌ها وجود نداشته و برای جلوگیری از تخریب بیشتر سازه‌ها و در عین حال تسریع در عملیات شناخت وسعت و عمق خرابیها از سیستم آزمایشات غیر مخرب (N.D.T) استفاده شده است.

آزمایشهای غیر مخرب زیر با توجه به نیاز پروژه و امکانات زمانی و مکانی در محل و آزمایشگاه بشرح زیر انجام شده‌اند:

۱- آزمایش تعیین پوشش بتن روی آرماتور (Cover meter)

۲- آزمایش تعیین وضعیت خوردگی آرماتور در بتن از روش نیم پیل (Halfcell)

۳- آزمایش چکش اشمیت برای تعیین مقاومت (Schmidt Hammer)

۴- آزمایش تعیین عمق کربناتاسیون

۵- آزمایش مغزه گیری (Core Test) به منظور تعیین میزان پیشرفت کلراید در نمونه (Chloride Content)

۶- آزمایش میزان یون سولفات در نمونه‌های مغزه

۷- آزمایش جذب آب و تخمین تخلخل نمونه‌ها

آزمایشهای فوق بر روی ۱۲ ساختمان بندر و اسکله‌ها انجام گرفته است. در خاتمه بر اساس بررسی نظری خرابیها در محل و مطالعه نتایج آزمایشها، انواع خرابیها طبقه بندی و علل بروز صدمات مشخص گردیده است.

۳- بازدیدها و مشاهدات عینی:

به منظور ارزیابی وضعیت ظاهری سازه‌های بتنی و تعیین محل‌های لازم برای انجام آزمایشهای غیر

www.SID.ir

Archive of SID

مخرب بازدیدهایی بعمل آمد. در این بازدیدها کلیه ستونهای ساختمانهای بندر و دیگر اعضاء فرعی سازه‌ها، تیرهای روسری و دیواره اسکله‌ها بازبینی شد. در طی این آزمایشهای نظری از ترکهای بوجود آمده، ورآمدگی بتن، زنگ در آرماتورها، شوره و نمک زدگی تا حد امکان عکس و گزارش در قالب فرمهای خاص تهیه گردیده است.

از اطلاعات مهمی که در این بازدیدها جمع آوری گردید، وضعیت ظاهری پوشش اپوکسی، ملات تعمیراتی بتن در سطح، ترکهای بوجود آمده، میزان پوشش آرماتور، وضعیت آرماتورها و خوردگی آنها، وضعیت نمک و شوره سطحی را می‌توان نام برد. وضعیت سازه‌ها در شکل‌های ۲ الی ۵ نشان داده شده است.

۴- آزمایشات انجام شده:

به منظور پی بردن به نحوه پیشرفت عوامل مخرب در بتن سازه‌ها و نیز تعیین میزان تخریب و بالطبع استفاده از آن در روشهای ترمیم و پیشگیری، طرح عملیات آزمایشگاهی تهیه گردید. بدین منظور از آزمایشهای غیر مخرب (N.D.T) بتن استفاده شده است. به کمک این آزمایشها می‌توان خرابیهای شیمیایی نظیر خرابی سولفاتی، کلروری و... و وضعیت کیفی بتن و تعیین مقاومتهای در محل، نفوذپذیری در محل، محل آرماتورها و وضعیت خوردگی در آرماتورها را تشخیص داد.

طی این طرح با توجه به بررسیهای نظری ساختمانها، محل‌های انجام آزمایش شناسایی شده و در قسمتهای مختلف سازه ساختمانهای بندر آزمایشات تعیین پوشش بتن، وضعیت خوردگی و چکش اشمیت و مغزه گیری انجام شده است. برای نمونه‌های مغزه در آزمایشگاه نیز آزمایشهای تعیین عمق کربناتاسیون، درصد کلرور سولفات محلول در بتن در لایه‌های مختلف اندازه گیری شده است.

۴-۱- آزمایش تعیین پوشش بتن روی آرماتور (Covermeter):

پوشش بتن روی آرماتور نقش عمده‌ای در بالا بردن دوام بتن در مقابل نفوذ یونهای مخرب نظیر کلراید و دی اکسید کربن و آبهای آلوده دارد. سهل انگاری در هنگام ساخت و عدم تعیین پوشش کافی بتن روی آرماتور بخصوص در مناطق خورنده سبب کوتاه شدن عمر عناصر سازه‌های بتنی و زنگ زدگی و پوسیدگی آرماتورها گشته است.

در بررسیهای انجام شده بر روی تعداد ۲۳۰ ستون از ساختمانهای بندر در پاره‌ای از موارد پوشش‌ها بسیار کم و در حد چند میلیمتر بدست آمده است. این پوشش‌های کم با کندن موضعی محل و بازدید نظری نیز تایید گشته است. نحوه آزمایش بدین صورت بوده است که از پای ستون در چهار جهت شمال، جنوب، شرق و غرب پوشش بتن روی آرماتور تعیین و این عمل بر روی هر حلقه از خاموت تا ارتفاع ۸۰+ سانتیمتر از پای ستون انجام شده است.

در اسکله‌ها نیز پوشش بتن برای تیرهای روسری و پاره‌ای دیواره‌ها تا حد امکان انجام شده است. بخشی از نتایج آزمایشات در جدول شماره (۱) آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۲- آزمایش تعیین پتانسیل خوردگی با دستگاه نیم پیل (Halfcell)

تعیین وضعیت خوردگی آرماتورها در سازه‌های بتن مسلح در مناطق ساحلی و خورنده اهمیت ویژه‌ای دارد. در حال حاضر با دستگاه نیم پیل می‌توان پتانسیل خوردگی در آرماتور را تعیین نمود. بر اساس استاندارد ASTM در صورتیکه پتانسیل قرائت شده بزرگتر از 200mV- و یا کوچکتر از 200mV+ باشد می‌توان آرماتور را از نظر خوردگی سالم در نظر گرفت. اگر پتانسیل بین 200mV- و 350mV- واقع شد اطمینانی به سالم بودن آرماتور نیست و احتمالاً دارای خوردگی است و در صورتیکه پتانسیل قرائت شده کوچکتر از 350mV- و یا بزرگتر از 350mV+ باشد آرماتور خوردگی بین ۵۰ تا ۹۰ درصد را داراست.

آزمایش نیم پیل بر روی ۴۰ ستون ساختمانهای بندر در چهار جهت شمال، جنوب، شرق و بر روی آرماتور تنگها در فواصل ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتری و تا ارتفاع ۸۰+ سانتیمتر از پای ستون اندازه گیری شده است. همچنین تعداد ۵۰ محل از تیرهای روسری و دیواره اسکله‌ها بصورت شبکه تحت آزمایش قرار گرفته‌اند. در اکثر موارد آزمایش نیم پیل با وضعیت ظاهری و نظری آرماتور مطابقت داشته است. همچنین در محل‌هائی که پوشش کافی نبوده است و این مسئله توسط دستگاه پوشش سنج تایید گشته، خوردگی توسط دستگاه نیم پیل نیز به خوبی نشان داده شده است بخشی از نتایج آزمایشات در جدول شماره (۱) آورده شده است.

۴-۳- آزمایش تعیین مقاومت با چکش اشمیت (Schmidt Hammer):

اغلب در آزمایشهای غیر مخرب مقاومت بتن نیز به عنوان یک مشخصه تعیین می‌گردد. یکی از ساده‌ترین روشها برای تعیین مقاومت در سطح آزمایش چکش اشمیت است. بر روی ۴۰ ستون از ساختمانهای بندر در چهار وجه شمالی، غربی، جنوبی و شرقی و تا ارتفاع ۸۰ سانتیمتر از پای ستون و بفاصله حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر از یکدیگر آزمایش چکش اشمیت انجام شد. در اسکله‌ها نیز تعداد ۵۰ محل بصورت آماری تعیین و آزمایش چکش اشمیت روی آنها انجام گرفت. بخشی از نتایج آزمایشات در جدول شماره (۱) آورده شده است.

۴-۴- آزمایش تعیین عمق کربناتاسیون (Carbonation Depth):

در اثر نفوذ گاز کربنیک از سطح به داخل بتن و واکنش آن با هیدورکسید کلسیم PH محلول حفره‌ای بتن کاهش یافته و در نتیجه آن لایه محافظت کننده آرماتور از خوردگی تحت مخاطره قرار گرفته و نهایتاً خوردگی آرماتور آغاز می‌گردد. به منظور بررسی وضعیت بتن پوشش روی آرماتور از نقطه نظر میزان نفوذ گاز کربنیک در آن و تعیین عمق کربناتاسیون از محلول فنل فتالئین استفاده شده است. در صورتیکه قلیائیت بتن بالای PH=۹ باشد محیط در مجاورت معرف فنل فتالئین ارغوانی می‌شود. با تشخیص قسمت بیرنگ از بخش ارغوانی رنگ عمق کربناتاسیون تشخیص و اندازه گیری می‌شود.

در ساختمانهای بتنی بندر و اسکله‌ها بر روی نمونه‌های بتنی که از طریق مغزه گیری بدست آمده است معرف فنل فتالئین پاشیده و عمق نفوذ گاز کربنیک بدست آمد. با ارتباط میزان عمق کربناتاسیون با مسئله خوردگی آرماتور می‌توان وضعیت خاموتها و آرماتورها را از نظر خوردگی ارزیابی نمود. بخشی از نتایج آزمایشات در جدول شماره (۱) آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۴-۵- آزمایش مغزه گیری جهت تعیین میزان کلرور در نمونه‌ها (Chloride Content):

تشکیل پیل الکتریکی در آرماتور داخل بتن با نفوذ یون کلرید به داخل بتن و شروع خوردگی و ادامه آن در آرماتور تسریع می‌شود. یون کلراید یا از طریق مصالح تشکیل دهنده بتن و یا از طریق نفوذ آبهای دارای این املاح و یا از طریق یونهای موجود در بخار آب هوا به داخل بتن نفوذ می‌کند. نفوذ این یون و رسیدن آن به آرماتور در بتن‌های با کیفیت پائین و با نفوذپذیری بالا و با پوشش کم و نامناسب در مدت زمان کمتری اتفاق می‌افتد.

برای تعیین میزان یون کلراید در هر یک از برشهای حاصل از نمونه مغزه با استفاده از محلولهای شیمیایی استفاده شده است. این آزمایش بر روی ۲۵ نمونه مغزه از ستونهای ساختمانهای بتنی بندر و ۲۵ نمونه مغزه از اسکله‌ها انجام گرفته است. مقادیر مجاز یون کلراید در بتن و در اغلب آئین نامه‌ها و از جمله آئین نامه ایران محدود می‌گردد. بخشی از خلاصه نتایج میزان کلراید تا لایه‌ای که این میزان هنوز بیش از حد مجاز است در جدول شماره (۲) آورده شده است.

۴-۶- آزمایش تعیین میزان یون سولفات:

با توجه به اینکه خرابی اصلی، خوردگی آرماتورها در اثر یون کلراید بوده است لذا تعیین میزان سولفات نمونه‌های مغزه در درجه دوم اهمیت است. بهر حال در محل هائی که اثر توام سولفات و کلرور ممکن است عامل اصلی خرابی باشد تعیین میزان سولفات نیز لازم می‌شود. برای این آزمایش با استفاده از برشهای حاصل از نمونه‌های مغزه یون سولفات توسط روشهای شیمیایی در عمق‌های مختلف نمونه تعیین شده است. بخشی از خلاصه نتایج میزان یون سولفات در جدول شماره (۳) نشان داده شده است.

۴-۷- آزمایش جذب آب و تخمین تخلخل نمونه‌ها:

به منظور تعیین میزان جذب آب و تخمین تخلخل نمونه‌های مغزه و ارزیابی غیر مستقیم نفوذپذیری آزمایش استاندارد BS 1881 part 122 (BSI 1983 C) بر روی نمونه‌های مغزه انجام شد. مطابق استاندارد فوق جذب آب تا ۳ درصد بتن با جذب آب کم، بین ۵-۳ درصد بتن با جذب آب متوسط و برای درصد بیشتر از ۵، بتن با جذب آب بالا بوده و در نتیجه تخلخل و نفوذپذیری بالا ارزیابی می‌شود. بخشی از خلاصه نتایج آزمایش درصد جذب آب در جدول شماره (۴) نشان داده شده است.

۵- تحلیل نتایج آزمایشات انجام شده:

نتایج آزمایشات انجام شده بر روی ستونهای ساختمانهای بندر نشان می‌دهد که در اکثر موارد پوشش کم روی آرماتور و نفوذ گاز کربنیک از سطح به داخل بتن محیط را برای فعالیت خوردگی آرماتورها فراهم نموده است. نتایج حاصل از آزمایش نیم پیل در ستونها نیز موید این مطلب می‌باشد. در اسکله‌ها نیز رعایت نکردن پوشش مناسب روی آرماتور باعث خوردگی آرماتورها، ترک در بتن و ریخته شدن پوشش آرماتور، لکه‌های زنگ بر سطح بتن و نمایان شدن آرماتورها شده است. نتایج آزمایش نیم پیل در اسکله‌ها نیز موید

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت خوردگی در آرماتورها می‌باشد.

نتایج حاصل از میزان کلراید در نمونه‌ها حاکی از این است که کلراید موجود در نمونه‌ها تا عمق ۱۲ سانتیمتری بالاتر از حداکثر مجاز می‌باشد. بررسی مصالح انتخابی برای ساخت نمونه‌ها و تعیین میزان کلراید در آنها (سنگدانه، سیمان و آب) نشانه بالا بودن کلراید از ابتدای ساخت بوده است. بهر حال قرار گرفتن در محیط دریایی و نفوذ یون کلراید از محیط طی سالها بهره برداری نیز میزان کلراید را بخصوص در چند سانتیمتر اولیه افزایش داده است. بررسی میزان یون کلراید در ستونهای ساختمانها در پاره‌ای موارد مقادیر بالا و در حد ۷٪ وزن ملات نیز مشاهده می‌شود و خوردگی بیش از حد آرماتورها در این ساختمانها نیز موید بالا بودن میزان یون کلراید است. در اسکله‌ها نیز در مجموع میزان یون کلراید بیش از حداکثر مجاز است لیکن این میزان در بعضی قسمتها تا عمق ۸ سانتیمتری و در پاره‌ای تا عمق ۱۲ سانتیمتری مقادیر بالایی را دارا می‌باشند. در نمونه‌های مغزه گرفته شده از پایه‌های اسکله‌ها در اعماق ۳ متری از عرشه اسکله نفوذ یون کلراید تا ۴ سانتیمتری نیز از حد مجاز بالاتر می‌باشد ولی پس از آن این میزان افت قابل ملاحظه‌ای داشته و یکباره به مقادیر کم زیر حد مجاز می‌رسد. این ناحیه بیشتر تحت تاثیر جزر و مد قرار دارد. منحنی‌های نشان داده شده در شکلهای (۶) الی (۸) عمق نفوذ یون کلراید را در بعضی از نمونه‌های مغزه نشان می‌دهد.

با بررسی نتایج بدست آمده از آزمایش تعیین میزان یون سولفات در نمونه‌های مغزه ملاحظه می‌گردد این میزان در بتن‌های فوق به هیچ وجه مسئله زا نبوده و به همین دلیل در بازدیدها و نمونه گیریها نیز خوردگی سولفاتی در بتن مشاهده نشده است (شکل ۹).

مقادیر درصد جذب آب در اکثر بتن‌ها بین ۳ تا ۵ درصد بوده و لذا بر اساس تقسیم بندی استاندارد BS 1881 Part 122 (BSI 1983 C) بتن‌های با جذب آب متوسط می‌باشند. فقط در بعضی موارد در اسکله‌ها میزان درصد جذب آب بین ۵/۵ تا ۷/۵ درصد بوده که در گروه بتن‌های با جذب آب بالا قرار می‌گیرند. بنابراین عامل اصلی خرابی در ساختمانها و اسکله‌های بندر از سواحل جنوب کشور خوردگی آرماتور و ترک و خرابی روی آن در اثر نفوذ این یون بوده است. در پاره‌ای موارد اجرای نامطلوب و عدم رعایت پوشش لازم در مناطق با خوردگی شدید باعث شروع خرابی در زمانهای کوتاهتر شده است.

۶- نتیجه گیری و پیشنهادها:

با توجه به نتایج آزمایشها و تجزیه و تحلیل آنها موارد زیر نتیجه و توصیه می‌گردند.

الف - عامل اصلی خرابی ساختمانها و سازه‌های بتنی بندری نفوذ یون کلراید و خوردگی آرماتور و در نتیجه ترک و ریختن بتن بوده است.

ب - علت اصلی خوردگی زودرس عدم رعایت پوشش کافی روی آرماتور در پاره‌ای از قسمتها بوده است.

ج - میزان نفوذ یون کلراید اغلب تا پشت آرماتورهای اصلی بوده و در تعمیرات لازم است این مسئله ملحوظ گردد.

د - استفاده از پوشش‌های اپوکسی در سطح نهایی بتن در چنین محیطهای بسیار خورنده‌ای می‌تواند سودمند باشد. لازم است در انتخاب نوع اپوکسی دقت گردد تا در شرایط حاد جنوب عملکرد خوبی داشته

www.SID.ir

Archive of SID

باشد.

هـ- بالاترین دقتها در ساخت بتن بخصوص در ناحیه جزر و مدی از نقطه نظر طرح اختلاط و نفوذپذیری بتن و نسبت آب به سیمان لازم است لحاظ گردد.

۷- فهرست منابع:

۱- علی اکبر رمضانیانپور، مودی، وکیلی، دامغانی، «علل خرابی سازه‌های بتنی بندر امام» سومین کنفرانس بین المللی بتن - ۱۳۷۰ - تهران - ایران

۲- علی اکبر رمضانیانپور، منصور پیدایش «علل خرابی زودرس در سازه‌های بتنی در بوشهر»، سومین کنفرانس بین المللی بتن - ۱۳۷۰ - تهران - ایران

3- A.A. Ramezanianpour, "The use of pozzolanic cements to improve durability of concretes in hot climates", Ist International conference on reinforced concrete materials in hot climate, Dec 1994, U.A.E.

4- Proceedings of the 1st, 2nd and 3rd conferences on durability of concrete structures in Marine Environments, 1987, 1991, 1995.

www.SID.ir

Archive of SID

عمق کربناتاسیون mm	چکش اشمیت kg/cm^2	نیم پیل (mV)	پوشش آرماتور cm	محل آزمایش	
۲۵	۳۰۰-۳۸۰	۲۴۰-۴۵۰	۱-۳	ستون ۱	ساختمان شماره (۱)
-	۲۴۰-۴۲۰	۲۵۰-۳۱۰	۳	ستون ۲	
۳۳	۳۰۰-۴۲۰	۲۰۰-۳۸۰	۲-۳	ستون ۳	
-	۲۸۰-۴۶۰	۲۰۰-۳۵۰	۱-۲	ستون ۴	
-	۲۸۰-۳۸۰	۲۰۰-۲۸۰	۲-۳	ستون ۱	ساختمان شماره ۰ (۲)
۳۳	۲۰۰-۳۳۰	۲۰۰-۳۰۰	۱-۲	ستون ۲	
۲۰	۳۰۰-۴۶۰	۲۰۰-۲۷۰	۱-۲	ستون ۳	
۳۰	۲۲۰-۲۸۰	۲۸۰-۳۲۰	۱/۲-۱/۵	ستون ۱	ساختمان شماره ۰ (۳)
۲۵	۲۰۰-۴۶۰	۲۰۰-۳۹۰	۰/۸-۱/۲	ستون ۲	
-	۳۰۰	۳۸۰-۵۴۰	۳-۳/۴	دیواره	اسکله (۱)
۱۸	۳۸۰	۷۱۰-۷۲۰	۴-۷/۳	جان تیر	
-	۲۴۰	۴۲۰-۴۶۰	۱/۹-۲/۵	زیر تیر روسری	اسکله (۲)
۲۵	۲۴۰	۳۰۰-۳۷۰	۴/۶-۶/۲	پیشانی تیر	اسکله (۳)
۳۲	۲۰۰	۴۶۰-۵۲۰	۲/۶-۳/۵	زیر تیر روسری	
۱۵	۲۰۰	۳۹۰-۴۵۰	۴/۷-۵/۱	زیر تیر روسری	اسکله (۴)
۲۰	۲۴۰	۲۷۰-۲۹۵	۲/۱-۴/۱	پیشانی تیر	اسکله (۵)

جدول شماره (۱) : بخشی از نتایج آزمایشات غیر مخرب در ساختمانها و اسکله های بندر در سواحل جنوب

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار مجاز	مقدار کلراید به درصد وزن ملات	محل مغزه	شماره مغزه
۰/۱	۰/۱۳-۰/۲۴ تا عمق ۱۰ سانتیمتری	ستون (۸) ساختمان(۳)	۲
۰/۱	۰/۱۴-۰/۳۱ تا عمق ۱۲ سانتیمتری	ستون (۱) ساختمان (۲)	۴
۰/۱	۰/۱۰-۰/۲۴ تا عمق ۱۲ سانتیمتری	ستون (۱۲) ساختمان (۲)	۵
۰/۱	۰/۱۴-۰/۲۲ تا عمق ۱۲ سانتیمتری	ستون (۱) ساختمان (۱)	۶
۰/۱	۰/۱۲-۰/۷۸ تا عمق ۱۰ سانتیمتری	ستون (۲) ساختمان (۶)	۹
۰/۱	۰/۱۳-۰/۲۳ تا عمق ۱۰ سانتیمتری	ستون (۱) ساختمان (۱۰)	۱۴
۰/۱	۰/۱۳-۰/۸۲ تا عمق ۸ سانتیمتری	تیر روسری اسکله (۳)	۳۲
۰/۱	۰/۰۴-۰/۳۵ تا عمق ۸ سانتیمتری	جان تیر اسکله (۴)	۳۷
۰/۱	۰/۰۹-۰/۵۹ تا عمق ۸ سانتیمتری	دیواره اسکله (۶)	۴۴
۰/۱	۰/۰۴-۰/۵ تا عمق ۱۲ سانتیمتری	دیواره اسکله (۸)	۵۰

جدول شماره (۲) : بخشی از نتایج آزمایش تعیین میزان کلرور در نمونه های مغزه در ساختمانها و اسکله‌های بندر در سواحل جنوب

مقدار مجاز	مقدار یون سولفات به درصد وزن سیمان	محل مغزه	شماره مغزه
۱/۳	۰/۲۲-۰/۲۹ تا عمق ۱۲ سانتیمتری	ستون (۸) ساختمان (۳)	۲
۱/۳	۰/۳۰-۰/۴۰ تا عمق ۱۲ سانتیمتری	ستون (۱) ساختمان (۱۰)	۱۵
۱/۳	۰/۲۴-۰/۳۷ تا عمق ۱۲ سانتیمتری	تیر روسری اسکله (۵)	۳۹
۱/۳	۰/۲۱-۰/۴۴ تا عمق ۱۲ سانتیمتری	دیواره اسکله (۸)	۵۰

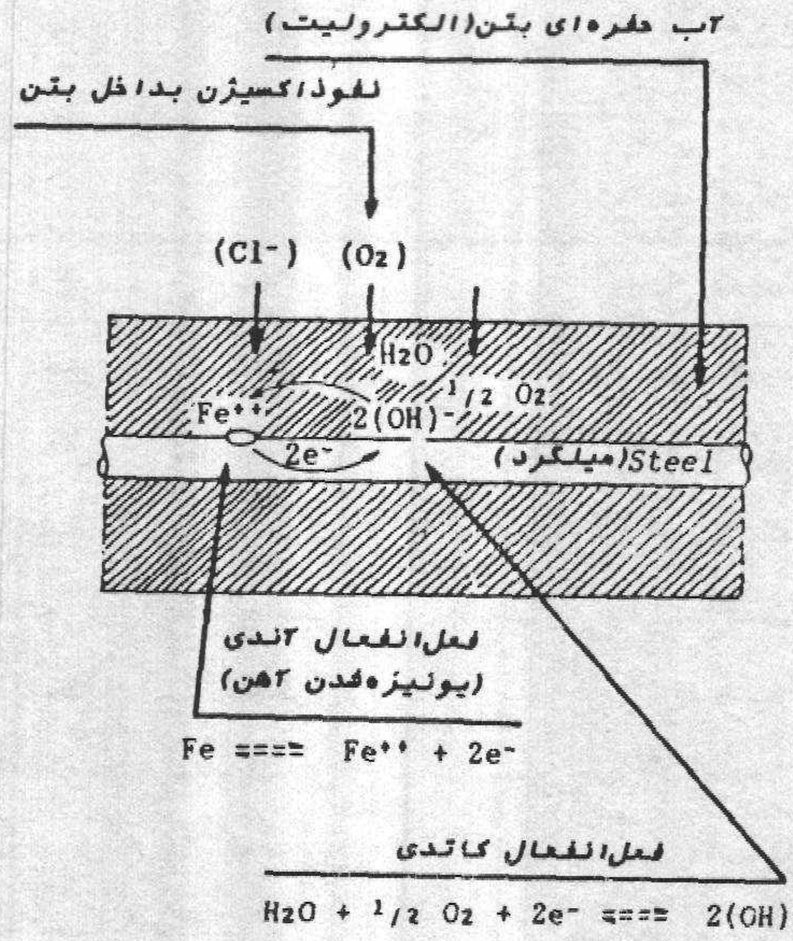
جدول شماره (۳) : بخشی از نتایج آزمایش تعیین میزان یون سولفات در نمونه های مغزه در ساختمانها و اسکله های بندر در سواحل جنوب

درصد جذب آب	محل مغزه	شماره مغزه
۴/۴۱	ستون (۸) ساختمان (۳)	۲
۲/۹۷	ستون (۱) ساختمان (۲)	۴
۳/۱۸	ستون (۲) ساختمان (۶)	۹
۵/۸۳	جان تیر اسکله (۴)	۳۷
۳/۰۳	دیواره اسکله (۶)	۴۴
۳/۲۶	دیواره اسکله (۸)	۵۰

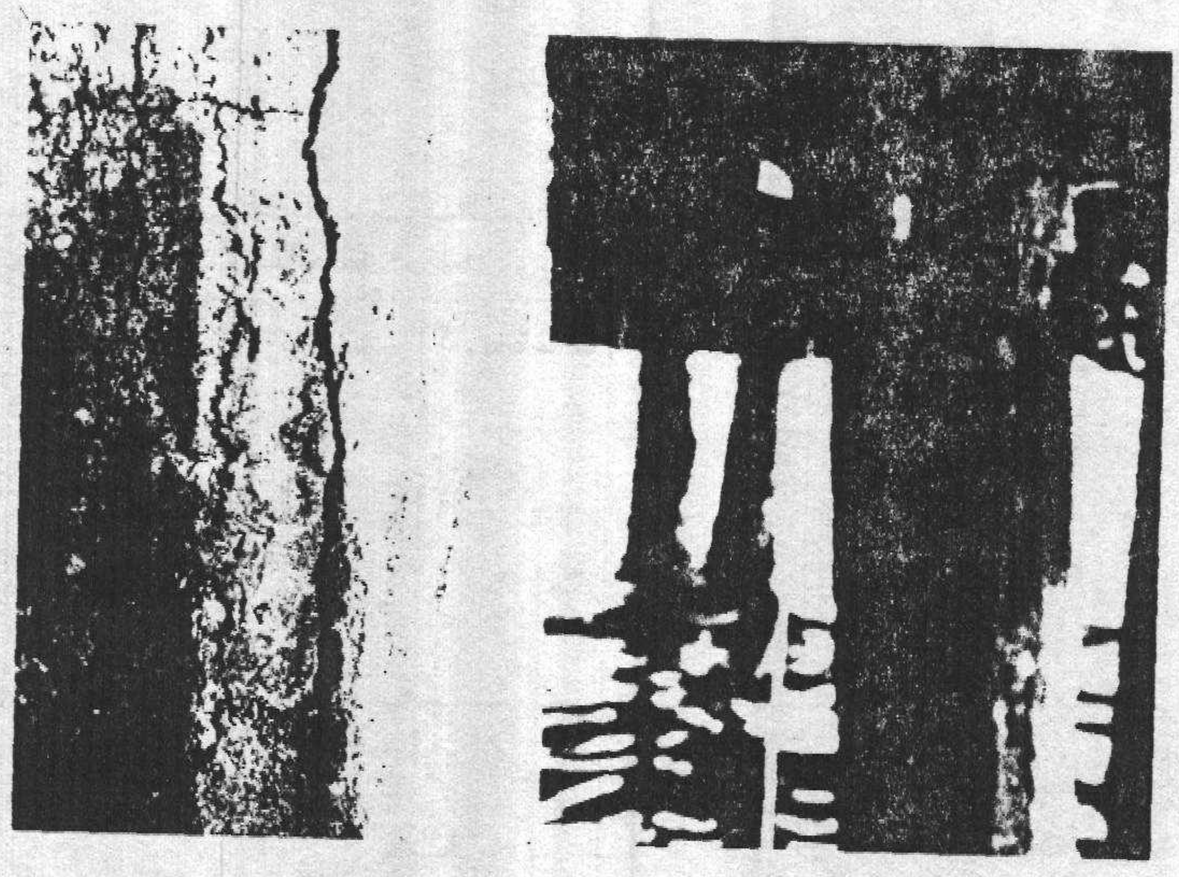
جدول شماره (۴) : بخشی از نتایج آزمایش تعیین درصد جذب آب در نمونه های مغزه ساختمانها و اسکله‌های بندر در سواحل جنوب

www.SID.ir

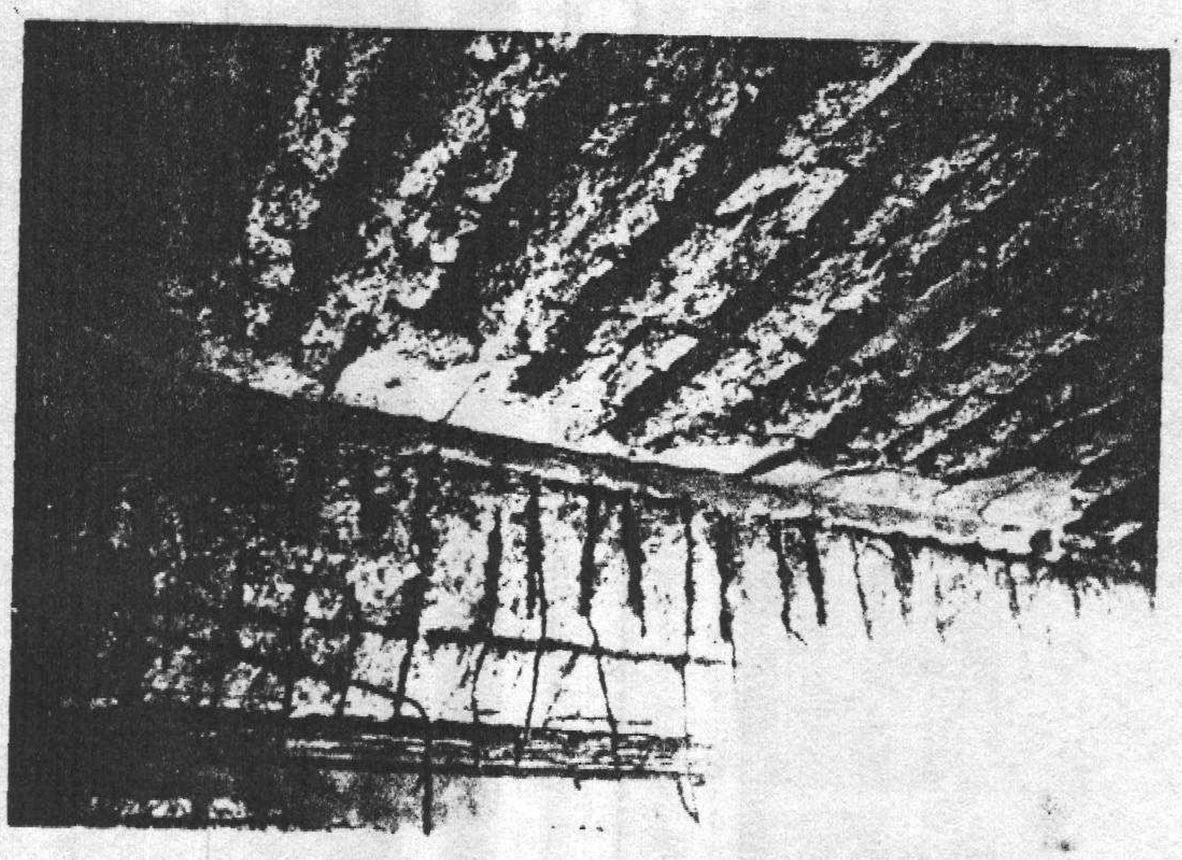
Archive of SID



شکل (۱) : مدل ساده شده فرایند خوردگی الکتروشیمیایی آهن در بتن



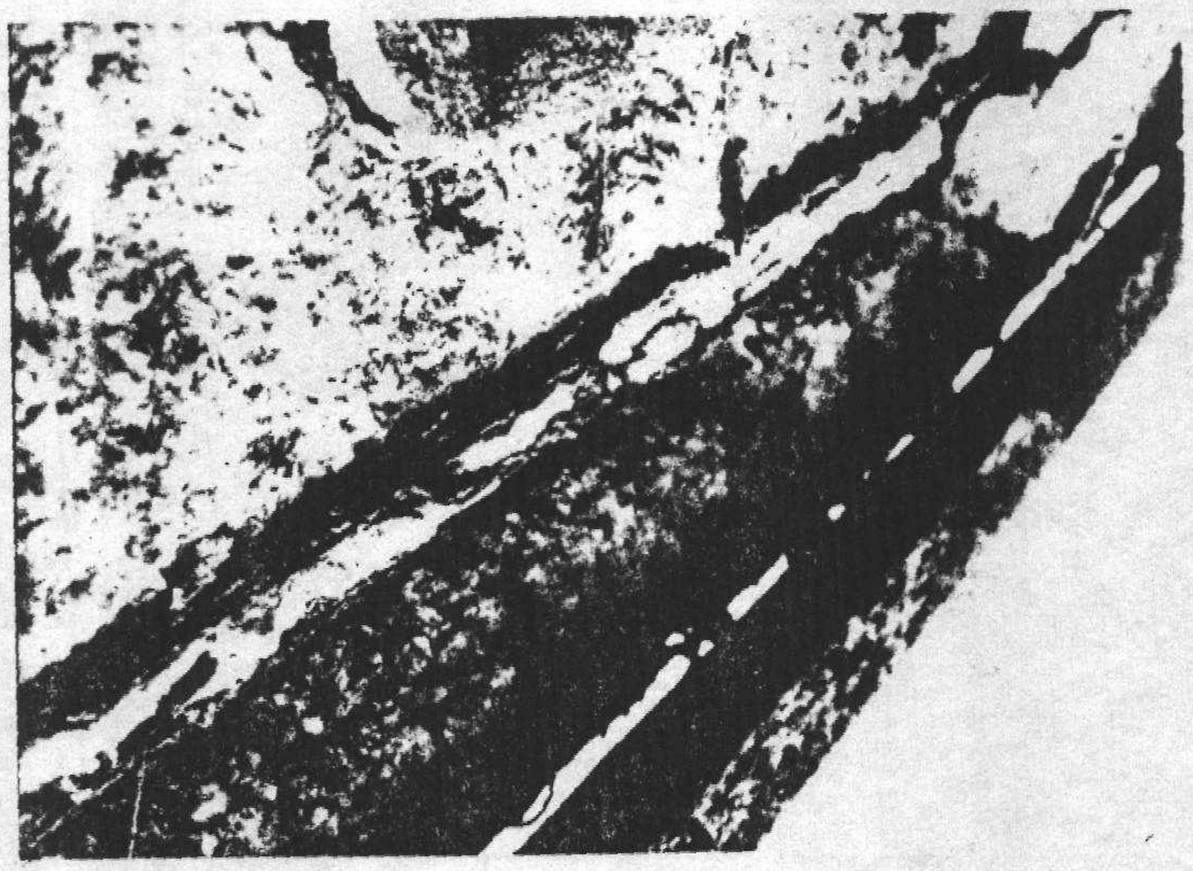
شکل (۲) : خرابی ناشی از خوردگی آرماتورها در پایه اسکله های بندر در سواحل جنوب



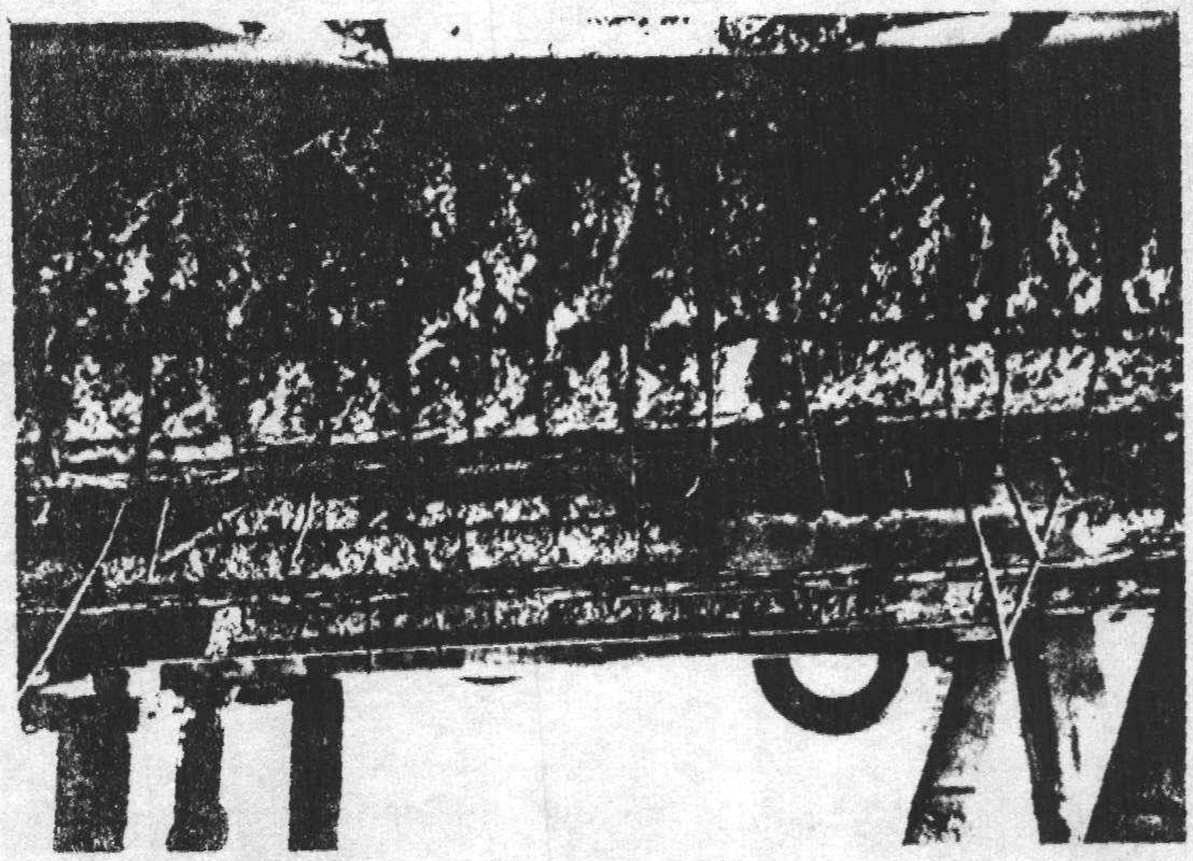
شکل (۳) : خرابی ناشی از خوردگی آرماتورها در تیر روسری اسکله ها در سواحل جنوب

www.SID.ir

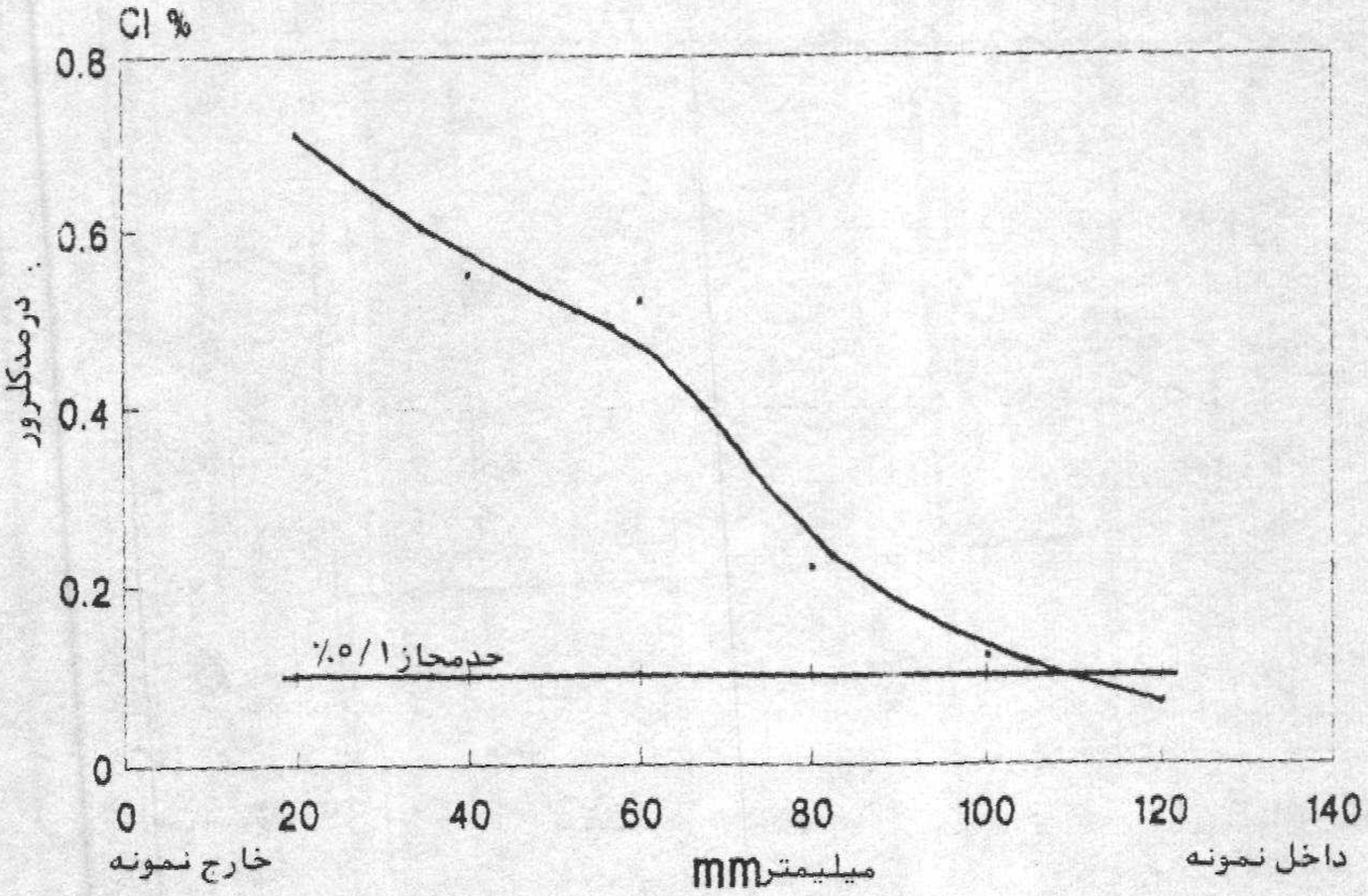
Archive of SID



شکل (۴) : خرابی ناشی از خوردگی آرماتورها در پیشانی تیر روسری اسکله ها در سواحل جنوب



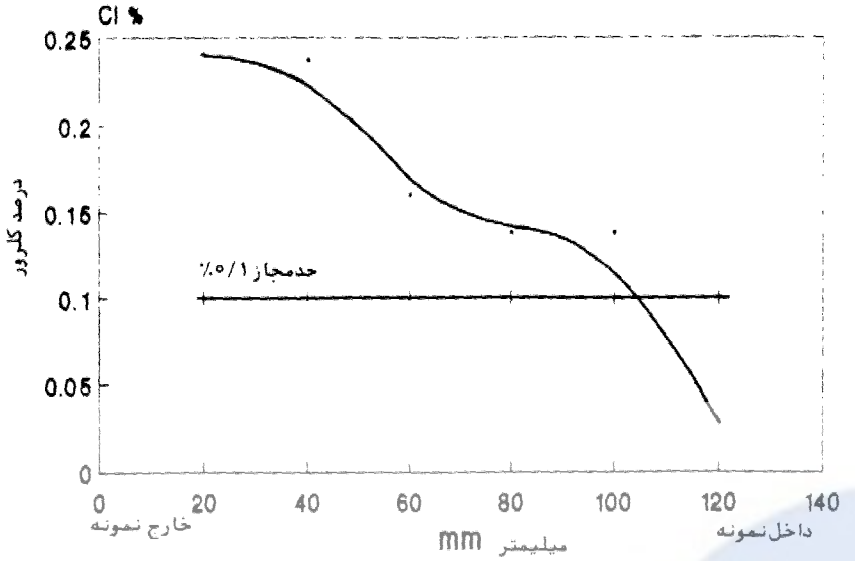
شکل (۵) : خرابی ناشی از خوردگی آرماتورها دز پیشانی تیر روسری اسکله ها در سواحل جنوب



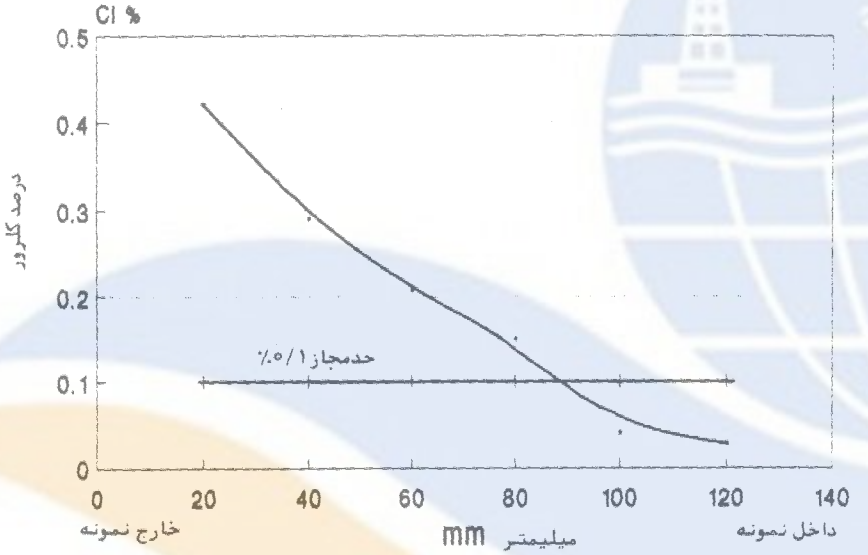
شکل (۶) : تغییرات کلرور موجود در ستون شماره (۸) ساختمان (۴) (مغزه شماره ۸)

www.SID.ir

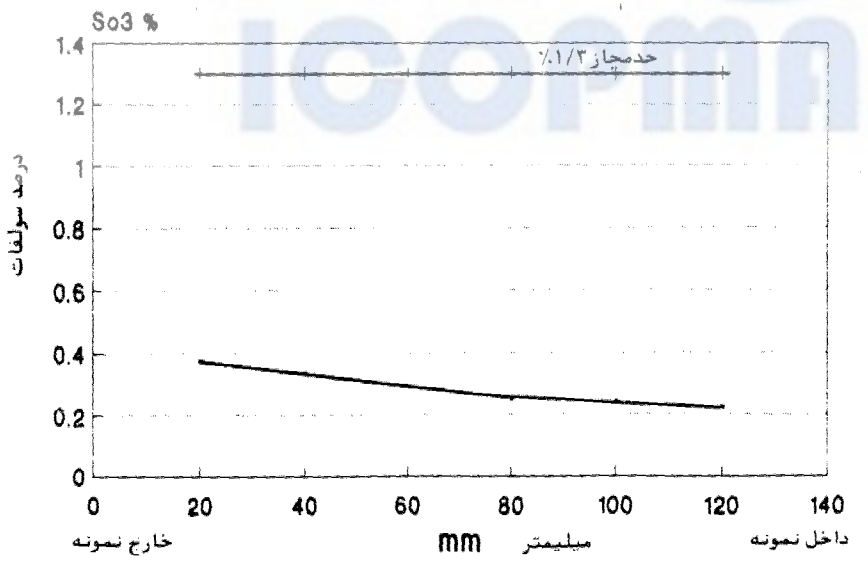
Archive of SID



شکل (۷) : تغییرات کلرور موجود در ستون شماره ۸ ساختمان شماره (۳) (مغزه شماره ۲)



شکل (۸) : تغییرات کلرور موجود در جان دیواره اسکله شماره (۱۰) (مغزه شماره ۴۲)



شکل (۹) : تغییرات سولفات موجود در تیر اسکله شماره (۵) (مغزه شماره ۳۹)

www.SID.ir

Archive of SID

Chloride Ion Penetration and Destruction of Concrete Structures in the Persian Gulf

A. A. Ramezanianpour, Ph.D. – F. Mowdi, Eng.

Amirkabir University of Technology

Abstract

Concrete has always been considered as one of the most usable and durable construction materials for building different structures such as marine and berth constructions. If the materials and the techniques are chosen properly and with suitable preservation, this structure will have a great deal of durability. However, inadequate materials, inappropriate and low-quality implementation techniques and processing deficiency causes damage to the concrete structures and armed concrete, especially in warm climates. In this article, near-coastal and port structures in the south of Iran on the Persian Gulf were investigated, using theoretical experiments along with non-destructive, physical and chemical experiments and samplings on these constructions. The chloride ion penetration experiments and its amount have indicated that the critical factor for these structures destruction is armature erosion, and the cracks and scathes on the concrete are because of the penetration of this ion. The carbonation and half-cell supplementary experiments also indicated the same result. In some cases, improper implementation and the lack of the necessary casing in highly eroded regions causes the destruction to appear much earlier than expected. After presenting the results of the mentioned experiments, and elaborating on the reasons, some recommendations and suggestions in order to increase the durability of the mentioned marine structures, especially for warm coastal regions in the south are presented at the end.

Keywords: chloride ion penetration; concrete destruction; Persian Gulf

www.SID.ir