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 تحقیقات و اطلاعات علمی ایران

www.SID.ir

دوام بتن درمحیط خلیج فارس

علی دوستی: کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران

فرید مرادی مرنی: کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران

محمد شکرچی زاده: سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران

alidousti@ut.ac.ir
Faridmoradi@ut.ac.ir
Shekarch@ut.ac.ir

چکیده

خلیج فارس به عنوان یکی از مهاجم ترین شرایط محیطی، از لحاظ دوام سازه های بتنی مسلح در دنیا محسوب می‌شود. در این منطقه نفوذ وانتشار یون کلرید به داخل بتن علاوه بر اینکه موجب خورده شدن آرماتورها دربتن شده و زمینه‌ی کاهش عمر مفید سازهای بتنی را فراهم می آورد، هر ساله نیز خسارات مالی فراوانی را بر کشور تحمیل می کند.

در این مقاله نخست به مطالعه دوام سازه های بتنی در منطقه خلیج فارس پرداخته می شود و سپس در زمینه کیفیت تعمیر یک سازه آسیب دیده که توسط انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران انجام پذیرفته، مطالبی ارایه می‌شود. طراحی بر اساس دوام و عمر مفید سازه یکی از بهترین روش های بهبود عملکرد

Archive of SID

www.SID.ir

سازه‌های بتنی در مناطق خورنده و مهاجم است. براین اساس نرم افزار DuraPGulf با در نظر گرفتن این دو عامل می‌تواند به منظور پیش بینی عمر مفید سازه های بتنـی در منطقه خلیج فارس مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی :

خلیج فارس، دوام، سازه های بتنی، عمر مفید، DuraPGulf

مقدمه

بتن به عنوان یکی از مهم‌ترین مصالح به نـسبت ارزان، قـرن هاسـت کـه درسـاخت سازه‌های مختلفی چون ساختمان ها، اسکله ها و بنادر، مخازن، پل‌ها وسازه های متنـوع دیگر، مورد استفاده قرارگرفته‌است. هم چنین این ماده نـسبت بـه بقیـه مـواد و مـصالح ساختمانی ازدوام وپایداری مناسبی‌دربرابرشرایط مهاجم برخورداراست. هرچند دلایلی از جمله استفاده از مصالح و اجزای نامناسب‌درساخت بـتن، ضـعف‌درسـاخت وعمـل آوری، نداشتن علم کافی در مورد مکانیزم‌های‌خرابی و علل تخریـب سـازه هـای بتنـی مـسلح موجب می شود تا هرساله شاهد تخریب وکاهش سرویس دهی تعدادی از این سـازه هـا به خصوص در مناطق مهاجم باشیم.

خلیج فارس به‌عنوان یکی‌از مهاجم ترین مناطق‌از لحاظ خوردگی آرماتوردرسازه‌هـای بتنی نسبت به دریاهای دیگر در دنیا در دهه‌های اخیر با رشد شدیدی‌درسـاخت و سـاز سازه‌های بتنی(اعم از سازه های ساحلی یا فرا ساحلی) مواجه شده اسـت. بـا توجـه بـه عوامل موثر در دوام بتن در این منطقه ما شاهد خرابی‌های بسیاری به ویژه در سازه‌های ساحلی هستیم که در آن‌ها عدم توجه به بحث دوام درطراحی‌ها و تعمیرات، دلیل اصلی خرابی‌ها می باشد. این مساله ما را به این سمت هدایت می‌کند تا در طراحـی و سـاخت

Archive of SID

www.SID.ir

پروژه‌های مختلف این منطقه علاوه بر رعایت عوامل سازه‌ای بحث دوام و پایـایی بـتن را هم مورد توجه قرار دهیم[۱].

عوامل تخریب فیزیکی و شـیمیایی از جملـه خـوردگی آرماتورهـا در بـتن، حمـلات سولفاتی، کربناتاسیون بتن، تنش ناشی از کریستالیزه شـدن نمـک‌هـادر حفـرات بـتن و هم چنین نیروهای هیدرولیکی وغیره، از یک طرف، به همـراه پارامترهـای آب و هـوایی شامل نوسانات دما و رطوبت در طول شبانه روز و ماه از طرف دیگر، از جملـه‌ی عـواملی هستند که موجب شکل گیری شرایط حاد برای تخریب طیف وسیعی از سازه های بتنی این منطقه می‌شوند.

ضمن اذعان به ناشناختگی خطوط ساحلی واقع در جنوب کـشور بـرای کارشناسـان داخلی و خارجی، می‌توان گفت کم‌تر تلاشی صورت گرفته است تا گزارش‌هـای مکتـوبی دال براهمیت این منطقه در ضرورت توجه به این موضوع داده شود. به همین دلیل ایـن مقاله با این هدف نگارش شده تا علاوه بر توصیف شرایط حاد جغرافیایی، آب و هـوایی و غیره که همگی بر دوام بتن‌در این ناحیه تاثیر می‌گذارند به ارایه راه‌کارهایی در ایـن نیـز زمینه بپردازد. در ادامه مقاله توضیحاتی در رابطه با نرم افزار DuraPGulf بـه عنـوان یک ابزار به منظـور پـیش بینـی عمـر مفیـد سـازه هـای بتنـی واقـع شـده در منطقـه خلیج فارس ارایه شده است.

چرا خلیج فارس یک منطقه مهاجم است؟

خلیج فارس دریایی‌است که از همه طرف منتهی به خشکی و تنها از یک سوآن هـم به صورت محدود توسط تنگه هرمز به‌دریای عمان واز آنجا به‌اقیانوس هنـد متـصل مـی شود. طول‌خلیج‌فارس بالغ بر ۹۹۰ کیلومتر و عمق متوسط آن ۳۱ متر است. میزان جزر

Archive of SID

www.SID.ir

و مد آب در این خلیج در نقاط مختلف آن متفاوت است ولی بالغ بر۲ تا۴ متر در قسمت شمالی و ۱ تا ۲ متر در نقاط دیگر آن گزارش شده است[۳]. مقایسه میان غلظت نمک موجوددرآب این منطقه با دیگر مناطق دنیا حاکی از اختلاف شدید آن در این منطقه با دیگر مناطق می باشد به طوری که غلظت میانگین نمک در این منطقه ۳۸/۹ گرم بر لیتر گزارش شده است[۴]. در واقع به لحاظ شرایط خاص جغرافیایی حاکم بر منطقه (از جمله بسته بودن محیط و ارتباط کم آن با آب‌های آزاد)، غلظت مواد شیمیایی مختلف موجود در آب دریا (به خصوص نمک) نسبت به جاهای دیگر زیادتر بوده و از این حیث بسیار حایز اهمیت است.

دما و رطوبت زیاد و غلظت فراوان نمک موجود در آب دریا در این منطقه یک چالش بزرگ برای سازه های ساحلی‌دراین منطقه محسوب می شود. در سازه های واقع شده‌درآب و هوای گرم، دمای زیاد هوا خود به تنهایی به عنوان یک پارامتر منفی عمل کرده و موجب سرعت بخشیدن به مکانیزم های خرابی در بتن می شود به نحوی که مطابق روابط تئوری موجود میان دما و نرخ واکنش های شیمیایی، با افزایش تنها ۱۰ درجه سانتی گراددما ی محیط، روندتخریب سازه های بتنی حدودا ۲ برابر می‌شود[۵].

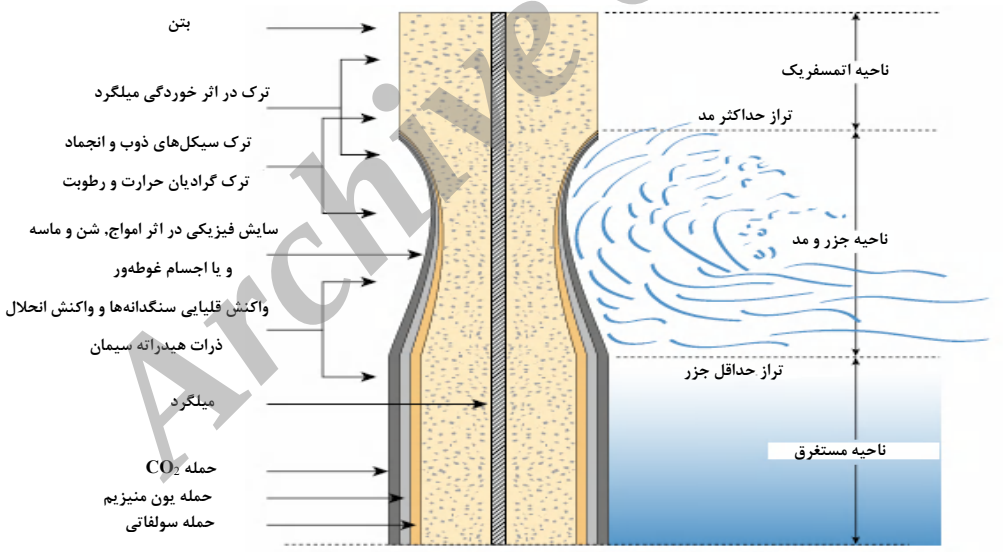
آب و هوا درقسمت‌های شرقی خلیج فارس نسبت به قسمت‌های دیگر بسیار گرم‌تر به نظر می رسد به طوری که دما تا ۳۰ درجه قابل تغییر است. در مورد رطوبت هوا تغییرات بین ۴۰ تا ۹۵ درصد درطول شبانه روز گزارش شده است. کم‌ترین و بیش‌ترین دمای هوا در این منطقه به ترتیب ۳ و ۵۰ درجه سانتی گراد و کم‌ترین و بیش‌ترین رطوبت هوا به ترتیب ۵ و ۹۵ درصد گزارش شده است. تفاوت زیاد موجود میان حداقل و حداکثر رطوبت و دمای محیط موجب می شود تا بتن به دلیل ایجاد تنش های حرارتی و مکانیکی ترک خورده و نفوذ یون های مهاجم به راحتی صورت پذیرد[۱].

Archive of SID

www.SID.ir

عوامل تخریب بتن مسلح در محیط‌های دریایی

از مطالعه تاریخچه پایایی بتن در مناطق دریایی چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بسیاری از عوامل فیزیکی و شیمیایی تخریب بتن، درمحیط‌های دریایی وجود دارد. آب‌دریا شامل بسیاری از یون‌های مخرب بادرصدهای نسبتاً زیاد برای بتن می‌باشد. در بیش‌تر محیط‌های دریایی, شرایط حرارتی-رطوبتی برای ایجاد بسیاری از واکنش‌های مخرب بتن مناسب می‌باشد. به‌علاوه، نیروهای مکانیکی ناشی از کنش امواج دریا با سازه‌ها، می‌تواند برای ایجاد و توسعه برخی از انواع خرابی‌ها در بتن موثر باشد. شکل(۱) خرابی‌های امکان پذیر در بتن دریایی را به هم راه موقعیتی که بیش‌ترین آن‌ها به صورت شماتیک نشان می‌دهد. با توجه به تنوع خرابی‌ها در این شکل، می‌توان نتیجه گرفت که سازه‌های بتنی در محیط‌های دریایی در معرض یکی از حادترین محیط‌های طبعی می‌باشند[۱۴].



شکل ۱- خرابی‌های محتمل و محل آن‌ها در یک ستون بتنی در آب دریا

Archive of SID

www.SID.ir

بررسی مشکل عمده سازه های بتنی در منطقه خلیج فارس

خلیج فارس باداشتن شرایط آب و هوایی حاد و موقعیت جغرافیایی استثنایی، هم برای بتن سخت شده و هم برای بتنی که تازه ریخته می شود، منطقه ای مهاجم و خطرناک است. تجربه ها در این منطقه حاکی از آن است که آب و هوای‌گرم و مرطوب، کیفیت نامناسب بتن به هم راه کمبود نیروی کار ماهر و متخصص از جمله عوامل اصلی ضعف دراجرای سازه‌های بتن آرمه دراین منطقه می باشند. هم چنین هر عاملی که موجب گسترش ترک‌ها ومیکرو ترک‌ها شود (مانند جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن، جمع شدگی پلاستیک، خزش، تاثیر بارهای زیاد و غیره) به عنوان زنگ خطری که نهایتا منجر به‌کاهش مقاومت و دوام بتن دراین منطقه خواهدشد باید مد نظر قرارگیرد. این مساله ازآن جهت حایز اهمیت است که ترک‌ها به نوبه خود مسیر مستقیم برای نفوذ یون های مهاجم به‌داخل بتن می باشند و منجر به تخریب زودهنگام سازه می شوند.

خوردگی میلگردهای فولادی دربتن به عنوان عامل اصلی تخریب بتن درمحیط های دریایی محسوب می شود. مکانیزم خوردگی به این صورت است که وقتی یون کلریدکه مهم‌ترین وخطرناک‌ترین یون مهاجم از دیدگاه پایایی درآب دریا محسوب می شود به‌درون بتن نفوذ می‌کند باعث می شودکه لایه قلیایی محافظ بر روی میلگرد کم‌کم از بین برود. با از بین رفتن لایه محافظ برروی میلگرد وتشکیل پیل خوردگی، آرماتور شروع به خورده شدن می‌کند به طوری که بعداز مدتی باکاهش سطح مقطع میلگرد به‌عنوان تنها عضوکششی سازه ازیک طرف، به همراه تشکیل اکسیدهای آهن‌که حجم‌اشان چندین برابر(بین ۲تا ۷ برابر) حجم اولیه میلگرداست ازطرف دیگر، نهایتا منجر به ترک خوردگی وطبله شدن سطح بتن می شود[۶].

Archive of SID

www.SID.ir

به این ترتیب بسیاری از سازه‌ها عملا بعد از ۵ تا۱۰ سال تخریب شده و دیگر قابل استفاده نخواهند بود. از این دسته سازه ها در سواحل جنوبی ایران واقع درمنطقه خلیج فارس بسیار یافت می شوندکه اکثرا بعد از دهه ۱۹۹۰ میلادی ساخته شده‌اندو در حال‌حاضر بعداز حدود۱۰ تا ۱۵ سال از تاریخ ساخت‌در معرض تخریب قرارگرفته وکارایی لازم را ندارند.

امروزه به لطف پیشرفت علم واهمیت بحث دوام وکارایی سازه های ساحلی، بسیاری از عوامل موثر بر دوام بتن شناسایی شده و به طور مستمر مورد آزمایش قرار می گیرند. استفاده از پوزولان ها از جمله دوده سیلیس به عنوان افزودنی به دلایل مختلفی (از جمله کاهش آب انداختگی بتن و کاهش جمع شدگی پلاستیک و هم چنین کاهش نفوذپذیری بتن) دردهه های اخیر توانسته است نظر مهندسین را به خود جلب کند تا حدی که بتن ساخته شده با دوده سیلیس چنان چه به خوبی نگه داری وعمل‌آوری شود موجب افزایش مقاومت الکتریکی بتن خواهد شد[۷و۸].آیین نامه های مختلف از جمله[۹] CIRIA-1984 در انگلستان، [۱۰] BHRC-2006 در ایران،[۱۱] ARAMCO-1994 درعربستان سعودی برای ساخت یک بتن پایا در شرایط محیطی مهاجم مهندسین را ملزم به رعایت یک سری محدودیت ها می‌کنند به نحوی که رعایت این محدودیت ها در نهایت منجر به‌کاهش نفوذ وانتشار یون کلریددر بتن می شود جدول(۱) تعدادی از این معیارها را علاوه بردوده سیلیس‌در آیین نامه های مختلف با هم مقایسه می کند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- مشخصات بتن بادوام در منطقه خلیج فارس

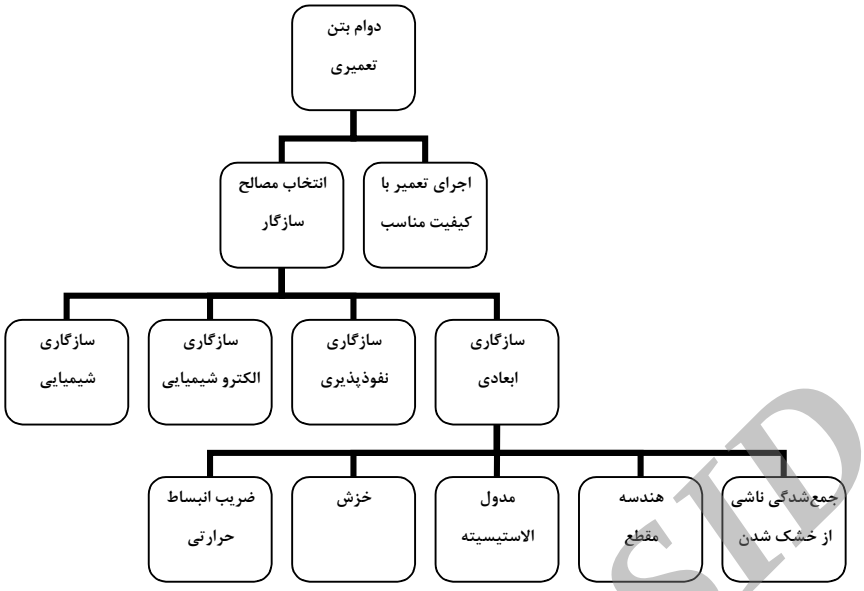
آیین نامه	مواد پوزولانی			نسبت آب به سیمان	کم‌ترین ضخامت پوشش بتن روی آرماتور	مواد سیمانی کل (kg/m^3)
	Silica fume (% Cement)	Fly ash (% Cement)	GGBS (% Cement)			
BHRC	۶-۸	۲۰-۵۰	-	<۰,۴	۵۵-۹۰	<۴۲۵
CIRIA	۵-۱۰	۲۵-۳۰	۵۰-۶۰	<۰,۴۵	۷۵-۱۰۰	-
ARAMCO	۷-۸	-	-	<۰,۴	۷۵	۳۶۰-۴۰۰

خنک کردن بتن با آب سرد وقطعات یخ، قرار نـدادن بـتن در معـرض هـوای گـرم و تابش مستقیم نور آفتاب، قرار ندادن بتن در معرض وزش باد به ویژه زمانی کـه رطوبـت بتن کم است، از جمله مواردی هستند که برای بتن ریزی در هوای گرم باید مورد توجه قرارگرفتـه شـوند. دررعایـت همـه‌ایـن مـوارد توصـیه اکیـد شـده چنانچـه بـتن ریـزی درهوای‌گرم آن هم واقع در منطقه خلیج فارس انجـام مـی پـذیرد درانتخـاب معیارهـا و محدودیت ها بایددقت بیشتری به عمل آید.

با گذشت زمان وعمرمفید یک سازه بتنی، نگهداری و تعمیر، مناسب ترین گزینه بـه منظور افزایش کارایی و عمرمفید آن سازه خواهد بود. نگهداری و تعمیر یک سازه بتنـی به این معنی نیست که سازه باید حتما خراب شده باشد به طوری که دیگر قابل استفاده نباشد. بلکـه بایـد همـواره یـک تـیم متـشکل از متخصـصین بـا تجربـه بـا بررسـی هـا وآزمایش‌های مداوم از سازه نگه داری کنند ودر نهایت بعد از گذشت سال‌های متمـادی اقدام به تعمیرآن کنند[۱۲]. ترمیم بتن نیز به نوبه خود نیاز به دانش خاصی دارد و باید توسط کارشناسان باتجربه صورت پذیرد. در ترمیم یک سازه بتنی مهم‌ترین اصـل ایجـاد سازگاری میان بتن پایه و ملات تعمیری است. درشکل (۲) نموداری را ارایه شـده اسـت که به بررسی عوامل موثر در سازگاری میان بتن پایه و بتن تعمیری می پردازد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- عوامل موثر در سازگاری میان بتن پایه و ملات ترمیمی

به طور معمول وقتی یک سازه بتنی تخریب شده مورد ترمیم واقع می‌شود، از همان ابتدا ملات ترمیمی مستعد جمع شدگی ناشی از خشک شدن است. از آن جایی که در اغلب فنون تعمیری ملات ترمیمی به طرقی به بتن پایه گیر داده می‌شود و اصطلاحا مقید می شود باگذشت زمان در اثر فرآیند جمع شدگی درملات تعمیری آثاری از ترک، جداشدگی‌ها و حتی قلوه‌کن شدن قابل مشاهده می‌باشد، به طوری که بعضا بتن پایه و ملات ترمیمی از هم جدا می شوند. در ادامه تاثیر منفی یک تعمیر نامناسب در یکی از اسکله‌های موجود درکشورمان توضیح داده خواهد شد.

بررسی یک اسکله تخریب شده

در این بخش به بررسی تاثیر منفی یک تعمیر نامناسب بر تسریع درامر خرابی یکی از اسکله های جنوبی کشور پرداخته خواهد شد. این بررسی از سال ۱۳۸۴ توسط

Archive of SID

www.SID.ir

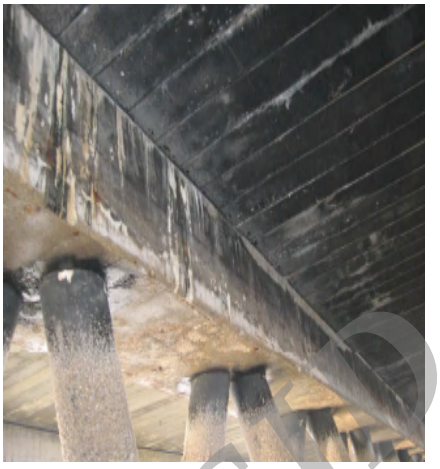
انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران انجام پذیرفت و مشخص شد اجرای نامناسب ملات ترمیمی به همراه ناسازگاری مشخصات بتن پایه و ملات ترمیمی دلایل اصلی تخریب دراین سازه بوده‌اند. همان گونه که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد ما بتن سازه را ترمیم می‌کنیم تا به این وسیله برکارایی و عمر مفید سازه بیفزاییم ولی متاسفانه اجرای بد و ناسازگاری دو بتن دراین پروژه موجب تسریع در تخریب بتن سازه شده است.

اسکله مورد نظردرسواحل شمالی خلیج فارس‌درآب و هوایی گرم و مرطوب قرار دارد. این اسکله در سال۱۹۷۶ میلادی ساخته شده و حدود ۳۰ سال از عمرآن می‌گذرد. دما و رطوبت زیاد هوا دراین منطقه و نداشتن دانش کافی در مورد علل تخریب بتن این سازه از یک طرف، به هم راه عدم توجه به مشخصات و خصوصیاتی که یک بتن برای استفاده دراین منطقه باید داشته باشد (از جمله محدودیت در نسبت آب به سیمان، اجزا و مواد سیمانی، نداشتن دانش کافی در مورد تاثیر منفی بعضی از مواد افزودنی از جمله کلرید کلسیم به عنوان زودگیرکننده در بتن) از طرف دیگر، از جمله دلایل اصلی تخریب بتن این اسکله ۱۵ سال بعد از تاریخ ساخت به شمار می روند. از آن به بعد به منظور حفظ این اسکله و افزایش عمرمفید و کارآیی آن بتن این سازه مورد تعمیر قرارگرفته است. متاسفانه چون این عملیات بدون داشتن دانش کافی در زمینه تئوری واجرا انجام شده گزینه تعمیر هم در نهایت موثر واقع نشده است. شکل (۳) نمایی از تعمیرات در سرشمع های این اسکله را به تصویر می کشد با توجه به این تصاویر ناسازگاری میان بتن پایه این سازه و ملات ترمیمی به خوبی مشخص است.

Archive of SID

www.SID.ir

(a)



(b)

(c)

شکل ۳- (a) ترک طولی روی ملات ترمیمی , (b) شوره زدگی روی ملات ترمیمی , (c) جداشدن ملات تعمیری از بتن پایه

Archive of SID

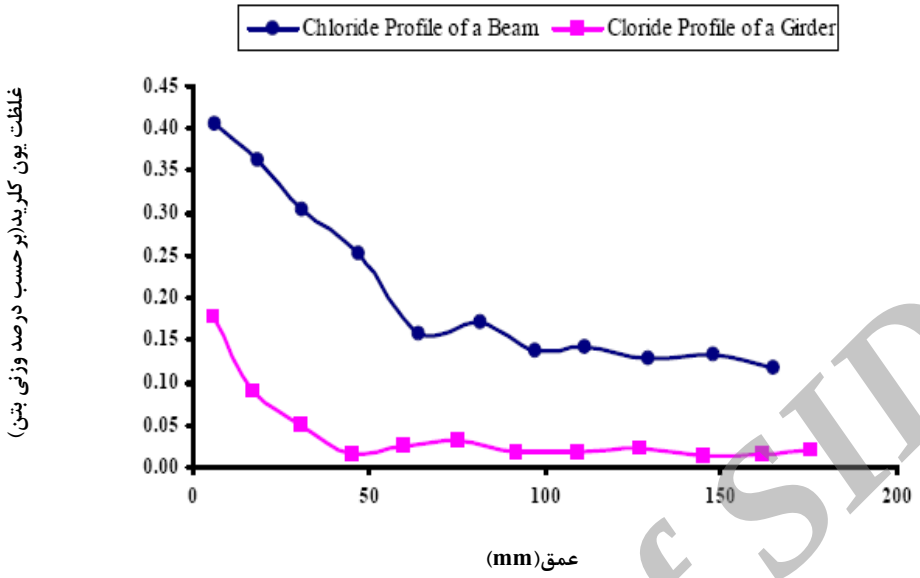
www.SID.ir

الگوی ترک ها، جداشدگی ها و خرابی های این سازه همگی گواه بر اجرای یک سیستم نامناسب تعمیر در این سازه می باشد. ناسازگاری های فیزیکی، شیمیایی و الکتروشیمیایی مصالح و مواد ترمیمی (از جمله ترک‌های طولی در راستای میلگردهای فولادی‌که حاکی ازخوردگی میلگردها می باشد، جمع شدگی ناشی ازخشک شدن ملات ترمیمی، جداشدن ملات ترمیمی از بتن پایه درمحل اتصال این‌دو به هم، شوره زدگی در محل ملات ترمیمی، تشکیل آند تکوینی در مجاورت محل تعمیر شده و غیره) از جمله‌دلایل اصلی تخریب در بتن این سازه به شمار می روند که با رعایت نکاتی دراجرای بتن اصلی وملات ترمیمی متناسب با بتن پایه وشرایط منطقه امکان جلوگیری از تخریب زودهنگام میسر بوده است.

یکی از نکاتی که باید همواره در اجرای ملات ترمیمی مد نظر قرار گیرد بحث عمل آوری ملات تعمیری است. این مساله تا آن جا حایز اهمیت است که چنانچه رعایت نشود ملات ترمیمی سریعا از بتن پایه جدا شده وعملا فایده‌ای نخواهد داشت. شکل(۴) پروفیل یون‌کلرید مربوط به دو بتنی است که هر دو سن یکسانی دارند. به این تفاوت که یکی مربوط به تیرهای از پیش ساخته شده اسکله که از قبل ساخته شده و در محل نصب شده‌اند می‌باشد و دیگری مربوط به بتن سرشمع بوده که به صورت درجا ریخته شده است. مطابق شکل مشاهده می شود که نفوذ یون کلرید به نحو قابل ملاحظه‌ای در بتن سرشمع بیش‌تر از بتن تیر پیش ساخته است و به این ترتیب عمرمفید سازه پیش ساخته به مراتب بیش‌تر از بتن سرشمع که درجا ریخته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴- پروفیل یون کلرید مربوط به بتن سرشمع وتیرپیش ساخته

طراحی بر اساس دوام و عمرمفید سازه

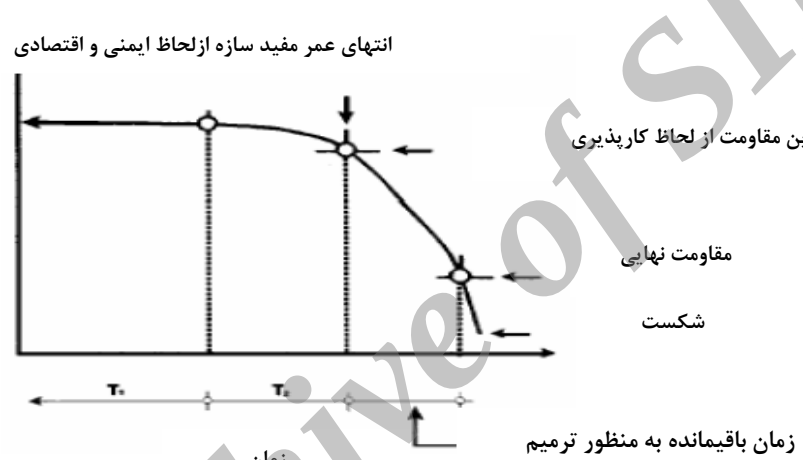
بررسی پروژه های مختلف در منطقه خلیج فارس نشان از عدم اجرای یک آیین نامه طراحی سازه های بتنی بر اساس دوام و عمر مفید آن‌ها در این منطقه دارد. طراحی یک سازه بتن آرمه در این منطقه بدون در نظرگرفتن پارامترهای دوام بتن و تنها با اتکا بر طراحی براساس مقاومت مکانیکی، در نهایت منجر به تخریب سریع‌سازه بعد از مدتی‌کوتاه می شود. خوشبختانه آیین نامه‌های جدید نسبت به گذشته بیش‌تر به بحث دوام و عمرمفید سازه درشرایط مهاجم پرداخته است به طوری که دردهه های اخیر شاهد پیشرفت‌هایی دراین زمینه هستیم که همگی در نهایت منجر به طراحی بر اساس دوام و عمر مفید سازه شده است. در این روش، طراحی براساس روش‌های احتمالاتی با

Archive of SID

www.SID.ir

در نظرگرفتن شرایط مهاجم محیطی، مکانیزم های تخریب و خصوصیات مصالح و مواد مصرفی صورت می پذیرد.

پیش بینی عمر مفید سازه ها مفهومی است که دردهه اخیر توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است زیرا در این روش طراحی، این که یک سازه عملا تا چه مدتی می‌تواند کارایی لازم را داشته باشد بسیار مهم است. شکل(۵) مفهوم عمر مفید سازه را به طور نمادین نشان می دهد.



شکل ۵- نمایی از عمر مفید سازه

امروزه مدل های کامپیوتری مختلفی به منظور پیش بینی عمر مفید درسازه ها، به ویژه سازه های واقع شده در محیط های مهاجم که‌درمعرض حملات یون‌کلرید قراردارند طراحی شده اند که از آن جمله می توان به Life365، DuraNet و DuraCrete اشاره کرد. براساس مطالعات خوردگی درشمال امریکا، سواحل اروپا و

Archive of SID

www.SID.ir

سازه‌هایی است که درمعرض نمک های یخ زدا (مانند پل‌ها) قراردارند. لازم است به‌این نکته اشاره کردکه تا قبل‌از سال ۲۰۰۰ میلادی هیچ گونه مدل کامپیوتری به منظور پیش بینی عمر مفید سازه‌ها درمنطقه خلیج فارس طراحی نشده است که دلیل آن دردسترس نبودن اطلاعات کافی در زمینه نفوذ و انتشار یون‌کلرید به‌داخل بتن است. اما انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران با احداث یک سایت تحقیقاتی دوام بتن در این منطقه اقدام به تهیه اطلاعاتی معتبر در زمینه نفوذ، انتشار و خوردگی آرماتوردر این منطقه نموده و موفق به تهیه اولین نسخه از نرم افزار DuraPGulf به منظور پیش بینی عمر مفید سازه ها شده است [۱۶-۱۵] ، به طوری که انتشار مقاله‌ای در خصوص همین نرم افزار در نشریه معتبر CI (ارگان موسس ACI) در ماه دسامبر سال ۲۰۰۷ مورد استقبال زیاد متخصصین در کشورهای مختلف جهان قرار گرفت[۱۷]. اطلاعاتی که در این نرم افزار از آن‌ها استفاده شده است شامل نمونه‌های بتنی است که درمحیط خلیج فارس قرار گرفته اند و پارامترهای مختلفی از جمله : نسبت آب به سیمان، استفاده از میکروسیلیس، شرایط عمل آوری، شرایط رویارویی، شرایط دمایی و پوشش های بتنی مختلف در آن‌ها مورد مطالعه قرارگرفته است.

مدل کامپیوتری (DuraP Gulf)

در گام اول و به منظور طراحی یک مدل کامپیوتری برای پیش بینی عمر مفید سازه‌ها نیاز به یک سری اطلاعات جامع در زمینه نفوذ و انتشار یون‌کلرید در بتن است. درهمین راستا با احداث سایت تحقیقاتی انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران در شهر بندرعباس این اطلاعات اولیه به مرور زمان دراختیار این انستیتو قرارگرفت. نمونه‌های بتنی که در این راستا ساخته شدند دارای یک سری مشخصات ویژه بوده که

Archive of SID

www.SID.ir

همگی فرا خور شرایط جغرافیایی وآب و هوایی منطقه در نظر گرفته شده اند.

۱۲۰ نمونه بتنی منشوری به ابعاد۶۰ ۱۵ ۱۵ سانتی متر و با طرح اختلاط های متفاوت در ۵ ناحیه مغروق، جزر ومد، پاشش، زیر خاک و اتمسفردرست مطابق آن چیزی که در عمل اتفاق می افتد قرارگرفتند. این نمونه ها به مدت ۰، ۳، ۷ و۲۸ روز عمل‌آوری شده و سپس درسه بازه زمانی ۳ ، ۹و۳۶ ماهه (واخیرا ۵ ساله) مورد آزمایش واقع شدند(شکل۵). در نهایت نتایج آزمایش‌های انجام شده طی نمونه گیری‌های مداوم وارد نرم افزار شدند.

(a)

(b)

Archive of SID

www.SID.ir

(c)

(d)

(e)

شکل۵- نمونه های قرار گرفته در(a) اتمسفر(b) زیر خاک (c) مغروق (d) جزر و مد(e) پاشش

در طراحی این نمونه ها وطرح اختلاط ها سعی شده است تا به گونه ای عمل شود که نتایج آن بتواند طیف وسیعی از سازه های بتنی ساخته شده درمنطقه خلیج فارس شامل شود. در طول زمان سعی شده است تا نمونه ها درشرایط کاملا طبیعی قرار گیرند و سپس دربازه‌های زمانی ذکر شده از آن‌ها پروفیل‌گیری شده و مورد آزمایش تعیین یون‌کلرید قرار گیرند. در ادامه با حل معادله انتشار فیک برای پروفیل‌های یون‌کلرید، میزان غلظت یون‌کلرید درعمق‌های مختلف با دقت زیادی محاسبه شده و در نهایت

Archive of SID

www.SID.ir

ضریب انتشار یون کلرید(D_c) و یون کلرید سطحی (C_s) با استفاده از روش حداقل مربعات به دست آید. شکل(۶) نمایی از این نرم افزار است به نحوی که اطلاعات ورودی برای آن عبارتند از: خصوصیات سازه (شامل نسبت آب به سیمان، ضخامت پوشش بتن و غیره)، شرایط محیطی شامل‌دما و رطوبت منطقه، شرایط رویارویی، مدت زمان عمل‌آوری و نوع پوشش سطحی. در نهایت خروجی های این نرم افزار عبارتند از: زمان آغاز خوردگی، تغییرات پروفیل یون کلرید در طی زمان به همراه ترسیم آن و در پایان توصیه هایی برای طراحی بهتر و مطمئن تر به منظور دسترسی به عمر مفید لازم.

شکل۶- نمایی از نرم افزار DuraP Gulf

باید دقت کردکه اساسا عمر مفید یک سازه بتنی واقع در یک محیط مهاجم شامل دو مرحله است: مرحله اول مدت زمان لازم به منظور آغازخوردگی است و مرحله دوم مدت زمان لازم برای گسترش خوردگی تا حدی است که علایم آن به صورت ظاهری پدیدارشود[۱۹]. مدل‌سازی برروی مرحله دوم کاری بس زمان بر و شامل حل معادلاتی

Archive of SID

www.SID.ir

پیچیده است. هم چنین به دلیل این که در این مرحله سطح بتن ترک خواهد خورد و یون‌کلرید از راه این ترک‌ها به داخل بتن نفوذ خواهد کرد باعث می شود کار پیچیده تر شود.

نتیجه گیری

پایایی سازه های بتن آرمه در مناطق مهاجمی مانند خلیج فارس بزرگ‌ترین چالشی است که این نوع سازه ها با آن مواجه هستند. بحث تخریب سازه های نوسازبه دلیل ایجاد مکانیزم های مختلف فیزیکی یا الکتروشیمیایی (عمدتا نفوذ یون‌کلرید) در این مناطق، بحث ساخت مجدد، و یا تعمیر آن‌ها که زمان بر و نیاز به صرف هزینه های اقتصادی زیادی دارد باعث می شوند تا در ساخت سازه های جدید در این گونه مناطق مهاجم بیش‌تر مورد توجه قرار گیرند. این توجه ما را بر آن می‌دارد تا طراحی را بر اساس دوام و عمر مفید سازه انجام دهیم. درهمین راستا نرم افزار DuraPGulf به منظور پیش بینی عمر مفید سازه های بتنی در منطقه خلیج فارس(که بر اساس داده های جدید درحال تکمیل می باشد) طراحی شده است و آماده ارایه به جامعه مهندسی کشور می باشد.

مراجع

[1] Neville, A., *Good Reinforced Concrete in the Arabian Gulf*, Materials and Structures, Vol. 33, December 2000, pp. 655-664.
[2] Höpner, Th., Ebrahimipour, H., & Kazem Marasch, S. M., Five Intertidal Areas of the Persian Gulf, Wadden Sea Newsletter, 2000-2, pp. 30-33.
[3] Zwarts, L., Wadden en wadvogels in de Golf, Waddenbulletin 1991-2, pp. 65-68.

Archive of SID

www.SID.ir

[4] Chini, M., Study on the Effect of Silica Fume and Water to Binder ratio on the Diffusion of Chloride Ion in Persian Gulf Region (In Persian), M. s. Thesis, University of Tehran, Iran, June2004,127 page s.
[5] Mehta, P.K., Concrete in Marine Environment, Taylor & Francis Books, 2003, 206 pages.
[6] ACI 222R-01, Protection of Metals in Concrete against Corrosion, Reported by ACI Committee 222, American Concrete Institute (ACI), 2005, 41 pages.
[7] Ghalibafian M., Shekarchi M., Zare, A., & Tadayon M., Chloride Penetration Testing of Silica Fume Concretes under Persian Gulf Conditions, The 6th CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Thessaloniki, Greece, 2003, pp. 737-753.
[8] Shekarch, M., Tadayon, M., Hoseini, M., Chini, M., Montazer, SH., Alizadeh, R. & Ghods, P. Application of the Water Absorption as a Criterion for the Durability of Concrete Structures in Marine Environments, 4th international Conference on Concrete under Severe Conditions, CONSEC‘04, Seoul, Korea, 2004, pp. 369-376.
[9] CIRIA, The CIRIA Guide for Concrete Construction in the Gulf Region, Spec. Pub.31, Construction Industry Research and Information Association, Ministry of Housing and Construction, Department of the Environment, London, 1984.
[10] BHRC-PN S 428, Code of Practice for Concrete Durability in the Persian Gulf and Oman Sea (In Persian), Building and Housing Research Center, Ministry of Housing and Urban Development, Tehran, Iran, 2006, 87 pages.
[11] ARAMCO, The Saudi Arabian Oil Company concrete specification09 SAMSS-097, Clause 5.1, Saudi Aramco, Dhahran, Saudi Arabia, 1994.
[12] Maslehuddin, M., Alidi, S. H., Mehthel, M., Shameem, M., Ibrahim, M., Performance evaluation of repair systems under varying exposure conditions, Cement & Concrete Composites, Vol. 27, 2005, pp. 885–897.

Archive of SID

www.SID.ir

[13] Emmons, E. H., Vaysburd, A. M., & McDonald, J. E., A Rational Approach to Durable Concrete Repairs, Concrete International, Vol. 15, No. 9, 1993, pp. 40-45.
[14]Mehta P K & Monteiro P J M. "Concrete: Structure and Materials". Prentice Hall, Englewood Cliffs,
[15] Alizadeh, R., Ghods, P., Chini, M., Hosseini, M., & Shekarchi M., Durability Based Design of RC Structures in Persian Gulf Area Using DuraPGulf Model, First International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR 2005), Cape Town, South Africa, pp. 391-394.
[16] Shekarchi M., Alizadeh R., Ghods P., Chini M., and Hosseini M. (2008) Durability based design of RC structures in South of Iran using DuraPGulf model.AJSE, The Arabian Journal for Science and Engineering, Saudi Arabic, Vol.33,No. 1B,pp. 77-88.
[17] Ghods P., Alizadeh RChini M., Hosseini M., Ghalibafian M. and shekarchi M.(2007) Durability-based design in the Persian Gulf. CI, Concrete International ,Dec. 2007,pp.50-55.
[18] Crank, J., The mathematics of diffusion, Clarendon Press, Oxford, UK, 1975.
[19] Maage, M., Helland, S., Vennesland, E. and Carlsen, J.E., Service Life Prediction of Existing Concrete Structures Exposed to Marine Environment, ACI Material Journal, Vol.93, No.6, 1996, pp. 1-8.

Archive of SID

www.SID.ir