



مرکز ملی باوردهای علمی و فناوری

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

دوام بتن در محیط 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 می شود. در این منطقه نفوذ و انتشار یون کلرید به داخل بتن علاوه بر اینکه موجب خورده شدن آرماتورها در بتن شده و زمینه ی کاهش عمر مفید سازه های 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 ارائه می شود. طراحی بر اساس دوام و عمر مفید سازه یکی از بهترین روش های بهبود عملکرد

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 بتنی 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 مهم ترین مصالح به نسبت ارزان، قرن هاست که در ساخت سازه‌های مختلفی چون ساختمان ها، اسکله ها و بنادر، مخازن، پل ها و سازه های متنوع دیگر، مورد استفاده قرار گرفته است. هم چنین این ماده نسبت به بقیه مواد و مصالح ساختمانی از دوام و پایداری مناسبی در برابر شرایط مهاجم برخوردار است. هر چند دلایلی از جمله استفاده از مصالح و اجزای نامناسب در ساخت بتن، ضعف در ساخت و عمل آوری، نداشتن علم کافی در مورد مکانیزم های خرابی و علل تخریب سازه های بتنی مسلح موجب می شود تا هر ساله شاهد تخریب و کاهش سرویس دهی تعدادی از این سازه ها به خصوص در مناطق مهاجم باشیم.

خلیج فارس به عنوان یکی از مهاجم ترین مناطق از لحاظ خوردگی آرماتور در سازه های بتنی نسبت به دریا های دیگر در دنیا در دهه های اخیر با رشد شدیدی در ساخت و ساز سازه های بتنی (اعم از سازه های ساحلی یا فرا ساحلی) مواجه شده است. با توجه به عوامل موثر در دوام بتن در این منطقه ما شاهد خرابی های بسیاری به ویژه در سازه های ساحلی هستیم که در آنها عدم توجه به بحث دوام در طراحی ها و تعمیرات، دلیل اصلی خرابی ها می باشد. این مساله ما را به این سمت هدایت می کند تا در طراحی و ساخت

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

عوامل تخریب فیزیکی و شیمیایی از جمله خوردگی آرماتورها در بتن، حملات سولفاتی، کربناتاسیون بتن، تنش ناشی از کریستالیزه شدن نمک‌هادر حفرات بتن و هم چنین نیروهای هیدرولیکی وغیره، از یک طرف، به همراه پارامترهای آب و هوایی شامل نوسانات دما و رطوبت در طول شبانه روز و ماه از طرف دیگر، از جمله‌ی عواملی هستند که موجب شکل‌گیری شرایط حاد برای تخریب طیف وسیعی از سازه‌های بتنی این منطقه می‌شوند.

ضمن اذعان به ناشناختگی خطوط ساحلی واقع در جنوب کشور برای کارشناسان داخلی و خارجی، می‌توان گفت کم‌تر تلاشی صورت گرفته است تا گزارش‌های مکتوبی دال براهمیت این منطقه در ضرورت توجه به این موضوع داده شود. به همین دلیل این مقاله با این هدف نگارش شده تا علاوه بر توصیف شرایط حاد جغرافیایی، آب و هوایی و غیره که همگی بر دوام بتن در این ناحیه تاثیر می‌گذارند به ارایه راه‌کارهایی در این نیز زمینه بپردازد. در ادامه مقاله توضیحاتی در رابطه با نرم افزار DuraPGulf به عنوان یک ابزار به منظور پیش‌بینی عمر مفید سازه‌های بتنی واقع شده در منطقه خلیج فارس ارایه شده است.

چرا خلیج فارس یک منطقه مهاجم است؟

خلیج فارس دریایی است که از همه طرف منتهی به خشکی و تنها از یک سوآن هم به صورت محدود توسط تنگه هرمز به دریای عمان واز آنجا به اقیانوس هند متصل می‌شود. طول خلیج فارس بالغ بر ۹۹۰ کیلومتر و عمق متوسط آن ۳۱ متر است. میزان جزر

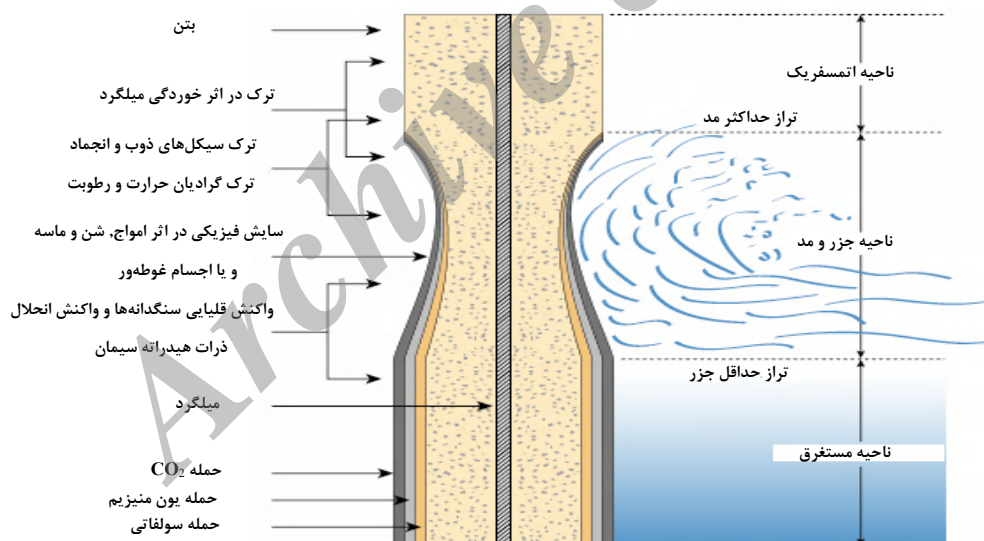
و مد آب در این خلیج در نقاط مختلف آن متفاوت است ولی بالغ بر ۲ تا ۴ متر در قسمت شمالی و ۱ تا ۲ متر در نقاط دیگر آن گزارش شده است [۳]. مقایسه میان غلظت نمک موجود در آب این منطقه با دیگر مناطق دنیا حاکی از اختلاف شدید آن در این منطقه با دیگر مناطق می باشد به طوری که غلظت میانگین نمک در این منطقه ۳۸/۹ گرم 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 آب های 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 ساحلی در این منطقه محسوب می شود. در سازه های واقع شده در آب 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 گراد دمای محیط، روند تخریب سازه های بتنی حدوداً ۲ برابر می شود [۵].

آب و هوا در قسمت های شرقی خلیج فارس نسبت به قسمت های دیگر بسیار گرم تر به نظر می رسد به طوری که دما تا ۳۰ درجه قابل تغییر است. در مورد رطوبت هوا تغییرات بین ۴۰ تا ۹۵ درصد در طول 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].

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، در محیط‌های دریایی وجود دارد. آب دریا شامل بسیاری از یون‌های مخرب با درصدهای 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 حادث‌ترین محیط‌های طبیعی می‌باشند [۱۴].



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

بررسی مشکل عمده سازه های بتنی در منطقه خلیج فارس

خلیج فارس با داشتن 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 هوای گرم و مرطوب، کیفیت نامناسب بتن به هم راه کمبود نیروی کار ماهر و متخصص از جمله عوامل اصلی ضعف در اجرای سازه های بتن آرمه در این منطقه می باشند. هم چنین هر عاملی که موجب گسترش ترک ها و میکرو ترک ها شود (مانند جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن، جمع شدگی پلاستیک، خزش، تاثیر بارهای زیاد و غیره) به عنوان زنگ خطری که نهایتاً منجر به کاهش مقاومت و دوام بتن در این منطقه خواهد شد باید مد نظر قرار گیرد. این مساله از آن جهت حایز اهمیت است که ترک ها به نوبه خود مسیر مستقیم برای نفوذ یون های مهاجم به داخل بتن می باشند و منجر به تخریب زود هنگام سازه می شوند.

خوردگی میلگردهای فولادی در بتن به عنوان عامل اصلی تخریب بتن در محیط های دریایی محسوب می شود. مکانیزم خوردگی به این صورت است که وقتی یون کلرید که مهم ترین و خطرناک ترین یون مهاجم از دیدگاه پایایی در آب دریا محسوب می شود به درون بتن نفوذ می کند باعث می شود که لایه قلیایی محافظ بر روی میلگرد کم کم از بین برود. با از بین رفتن لایه محافظ بر روی میلگرد وتشکیل پیل خوردگی، آرماتور شروع به خورده شدن می کند به طوری که بعد از مدتی با کاهش سطح مقطع میلگرد به عنوان تنها عضو کششی سازه از یک طرف، به همراه تشکیل اکسیدهای آهن که حجمشان چندین برابر (بین ۲ تا ۷ برابر) حجم اولیه میلگرد است از طرف دیگر، نهایتاً منجر به ترک خوردگی و طبله شدن سطح بتن می شود [۶].

به این ترتیب بسیاری از سازه‌ها عملاً بعد از ۵ تا ۱۰ سال تخریب شده و دیگر قابل استفاده نخواهند بود. از این دسته سازه‌ها در سواحل جنوبی ایران واقع در منطقه خلیج فارس بسیار یافت می‌شوند که اکثراً بعد از دهه ۱۹۹۰ میلادی ساخته شده‌اند و در حال حاضر بعد از حدود ۱۰ تا ۱۵ سال از تاریخ ساخت در معرض تخریب قرار گرفته و کارایی لازم را ندارند.

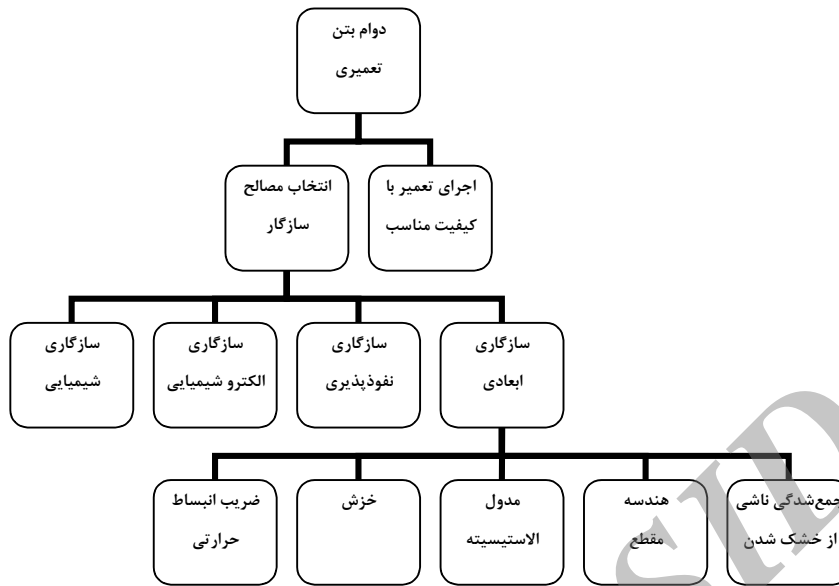
امروزه به لطف پیشرفت علم و اهمیت بحث دوام و کارایی سازه‌های ساحلی، بسیاری از عوامل موثر بر دوام بتن شناسایی شده و به طور مستمر مورد آزمایش قرار می‌گیرند. استفاده از پوزولان‌ها از جمله دوده سیلیس به عنوان افزودنی به دلایل مختلفی (از جمله کاهش آب انداختگی بتن و کاهش جمع‌شدگی پلاستیک و هم‌چنین کاهش نفوذپذیری بتن) در دهه‌های اخیر توانسته است نظر مهندسين را به خود جلب کند تا حدی که بتن ساخته شده با دوده سیلیس چنان‌چه به خوبی نگه‌داری و عمل‌آوری شود موجب افزایش مقاومت الکتریکی بتن خواهد شد [۷ و ۸]. آیین‌نامه‌های مختلف از جمله [۹] CIRIA-1984 در انگلستان، [۱۰] BHRC-2006 در ایران، [۱۱] ARAMCO-1994 در عربستان سعودی برای ساخت یک بتن پایا در شرایط محیطی مهاجم مهندسين را ملزم به رعایت یک سری محدودیت‌ها می‌کنند به نحوی که رعایت این محدودیت‌ها در نهایت منجر به کاهش نفوذ و انتشار یون کلرید در بتن می‌شود جدول (۱) تعدادی از این معیارها را علاوه بر دوده سیلیس در آیین‌نامه‌های مختلف با هم مقایسه می‌کند.

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 و قطعات یخ، قرار ندادن بتن در معرض هوای گرم و تابش مستقیم نور آفتاب، قرار ندادن بتن در معرض وزش باد به ویژه زمانی که رطوبت بتن کم است، از جمله مواردی هستند که برای بتن ریزی در هوای گرم باید مورد توجه قرار گرفته شوند. در رعایت همه این موارد توصیه اکید شده چنانچه بتن ریزی در هوای گرم آن هم واقع در منطقه خلیج فارس انجام می پذیرد در انتخاب معیارها و محدودیت ها باید دقت بیشتری به عمل آید.

با گذشت زمان و عمر مفید یک سازه بتنی، نگهداری و تعمیر، مناسب ترین گزینه به منظور افزایش کارایی و عمر مفید آن سازه خواهد بود. نگهداری و تعمیر یک سازه بتنی به این معنی نیست که سازه باید حتما خراب شده باشد به طوری که دیگر قابل استفاده نباشد. بلکه باید همواره یک تیم متشکل از متخصصین با تجربه با بررسی ها و آزمایش های مداوم از سازه نگه داری کنند و در نهایت بعد از گذشت سال های متمادی اقدام به تعمیر آن 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 مهم ترین اصل ایجاد سازگاری میان بتن پایه و ملات تعمیر است. در شکل (۲) نموداری را ارائه شده است که به بررسی عوامل موثر در سازگاری میان بتن پایه و بتن تعمیر می پردازد.



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 تعمیر ملات ترمیمی به طرقی به بتن پایه گیر داده می‌شود و اصطلاحاً مقید می‌شود باگذشت زمان در اثر فرآیند جمع شدگی در ملات تعمیر آثاری از ترک، جداسدگی‌ها و حتی قلوه‌کن شدن قابل مشاهده می‌باشد، به طوری که بعضاً بتن پایه و ملات ترمیمی از هم جدا می‌شوند. در ادامه تاثیر منفی یک تعمیر نامناسب در یکی از اسکله‌های موجود در کشورمان توضیح داده خواهد شد.

بررسی یک اسکله تخریب شده

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

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 در این سازه بوده‌اند. همان گونه که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد ما بتن سازه را ترمیم می‌کنیم تا به این وسیله بر کارایی و عمر مفید سازه بیفزاییم ولی متأسفانه اجرای بد و ناسازگاری دو بتن در این پروژه موجب تسریع در تخریب بتن سازه شده است.

اسکله مورد نظر در سواحل شمالی خلیج فارس در آب و هوایی گرم و مرطوب قرار دارد. این اسکله در سال ۱۹۷۶ میلادی ساخته شده و حدود ۳۰ سال از عمر آن می‌گذرد. دما و رطوبت زیاد هوا در این منطقه و نداشتن دانش کافی در مورد علل تخریب بتن این سازه از یک طرف، به هم راه عدم توجه به مشخصات و خصوصیات که یک بتن برای استفاده در این 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 می‌روند. از آن به بعد به منظور حفظ این اسکله و افزایش عمر مفید و کارایی آن بتن این سازه مورد تعمیر قرار گرفته است. متأسفانه چون این عملیات بدون داشتن دانش کافی در زمینه تئوری و اجرا انجام شده گزینه تعمیر هم در نهایت موثر واقع نشده است. شکل (۳) نمایی از تعمیرات در سرشمع‌های این اسکله را به تصویر می‌کشد با توجه به این تصاویر ناسازگاری میان بتن پایه این سازه و ملات ترمیمی به خوبی مشخص است.



(a)

(b)



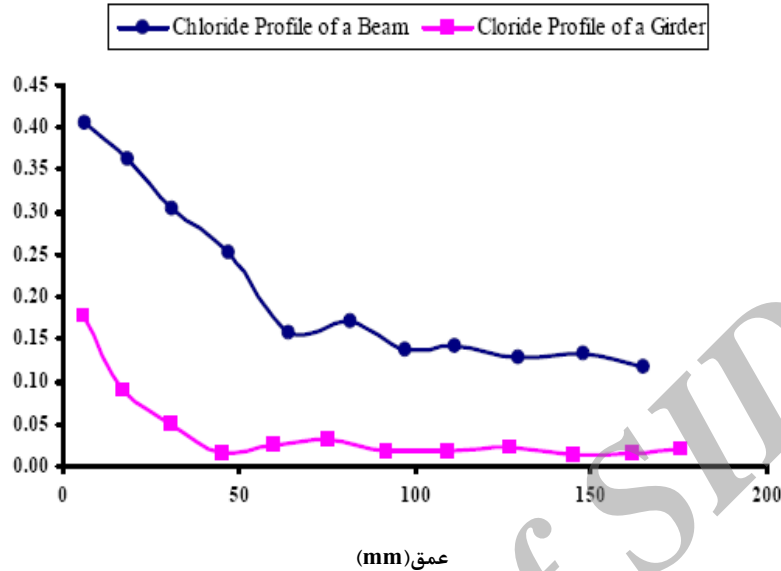
(c)

شکل ۳- (a) ترک طولی روی ملات ترمیمی , (b) شوره زدگی روی ملات ترمیمی , (c) جداسدن ملات

تعمیری از بتن پایه

الگوی ترک ها، جداسدگی 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 ترک های طولی در راستای میلگردهای فولادی که حاکی از خوردگی میلگردها می باشد، جمع شدگی ناشی از خشک شدن ملات ترمیمی، جداسدن ملات ترمیمی از بتن پایه در محل اتصال این دو به هم، شوره زدگی در محل ملات ترمیمی، تشکیل آند تکوینی در مجاورت محل تعمیر شده و غیره) از جمله دلایل اصلی تخریب در بتن این سازه به شمار می روند که با رعایت نکاتی در اجرای بتن اصلی و ملات ترمیمی متناسب با بتن پایه و شرایط 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 و عملا فایده ای نخواهد داشت. شکل (۴) پروفیل یون کلرید 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 شده اند می باشد 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 ملاحظه ای در بتن سرشمع بیش تر از بتن تیر پیش ساخته است و به این ترتیب عمر مفید سازه پیش ساخته به مراتب بیش تر از بتن سرشمع که درجا ریخته شده است.



شکل ۴- پروفیل یون کلرید مربوط به بتن سرشمع و تیرپیش ساخته

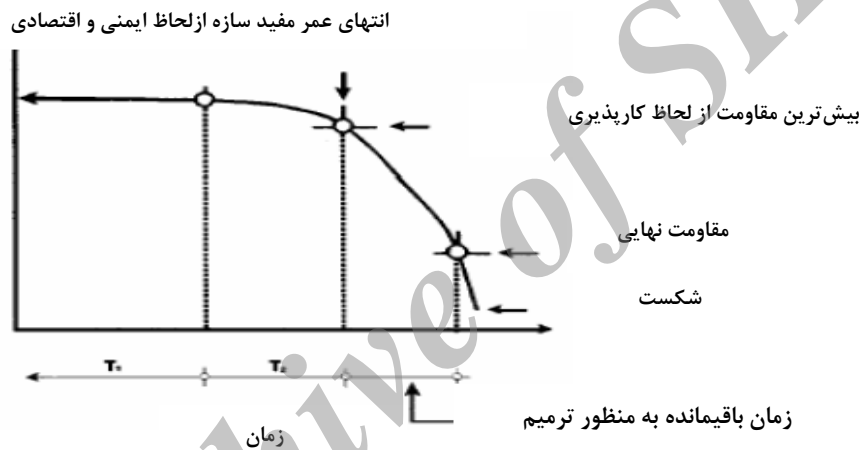
طراحی بر اساس دوام و عمر مفید سازه

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 آن ها در این منطقه دارد. طراحی یک سازه بتن آرمه در این منطقه بدون در نظر گرفتن پارامترهای دوام بتن و تنها با اتکا بر طراحی براساس مقاومت مکانیکی، در نهایت منجر به تخریب سریع سازه بعد از مدتی کوتاه می شود. خوشبختانه آیین نامه های جدید نسبت به گذشته پیش تر به بحث دوام و عمر مفید سازه در شرایط مهاجم پرداخته است به طوری که در دهه های اخیر شاهد پیشرفت هایی در این زمینه هستیم که همگی در نهایت منجر به طراحی بر اساس دوام و عمر مفید سازه شده است. در این روش، طراحی براساس روش های احتمالاتی با

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

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

گنجایش بار
(مقاومت)



شکل ۵- نمایی از عمر مفید سازه

امروزه مدل های کامپیوتری مختلفی به منظور پیش بینی عمر مفید در سازه ها، به ویژه سازه های واقع شده در محیط های مهاجم که در معرض حملات یون کلرید قرار دارند طراحی شده اند که از آن جمله می توان به DuraNet، Life365 و DuraCrete اشاره کرد. براساس مطالعات خوردگی در شمال امریکا، سواحل اروپا و

سازه‌هایی است که در معرض نمک‌های یخ‌زدا (مانند پل‌ها) قرار دارند. لازم است به این نکته اشاره کرد که تا قبل از سال ۲۰۰۰ میلادی هیچ گونه مدل کامپیوتری به منظور پیش‌بینی عمر مفید سازه‌ها در منطقه خلیج فارس طراحی نشده است که دلیل آن در دسترس نبودن اطلاعات کافی در زمینه نفوذ و انتشار یون کلرید به داخل 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 آرماتور در این منطقه نموده و موفق به تهیه اولین نسخه از نرم افزار DuraPGulf به منظور پیش‌بینی عمر مفید سازه‌ها 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 در محیط خلیج فارس قرار گرفته‌اند و پارامترهای مختلفی از جمله: نسبت آب به سیمان، استفاده از میکروسیلیس، شرایط عمل‌آوری، شرایط رویارویی، شرایط دمایی و پوشش‌های بتنی مختلف در آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است.

مدل کامپیوتری (DuraP Gulf)

در گام اول و به منظور طراحی یک مدل کامپیوتری برای پیش‌بینی عمر مفید سازه‌ها نیاز به یک سری اطلاعات جامع در زمینه نفوذ و انتشار یون کلرید در بتن است. در همین راستا با احداث سایت تحقیقاتی انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران در شهر بندرعباس این اطلاعات اولیه به مرور زمان در اختیار این انستیتو قرار گرفت. نمونه‌های بتنی که در این راستا ساخته شدند دارای یک سری مشخصات ویژه بوده که

همگی فرا خور شرایط جغرافیایی و آب و هوایی منطقه در نظر گرفته شده اند. ۱۲۰ نمونه بتنی منشوری به ابعاد ۶۰ ۱۵ ۱۵ سانتی متر و با طرح اختلاط های متفاوت در ۵ ناحیه مغروق، جزر ومد، پاشش، زیر خاک و اتمسفر درست مطابق آن چیزی که در عمل اتفاق می افتد قرار گرفتند. این نمونه ها به مدت ۰، ۳، ۷ و ۲۸ روز عمل آوری شده و سپس در سه بازه زمانی ۳، ۹ و ۳۶ ماهه (و اخیرا ۵ ساله) مورد آزمایش واقع شدند (شکل ۵). در نهایت نتایج آزمایش های انجام شده طی نمونه گیری های مداوم وارد نرم افزار شدند.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

شکل ۵- نمونه های قرار گرفته در (a) اتمسفر (b) زیر خاک (c) مغروق (d) جزر و مد (e) پاشش

در طراحی این نمونه ها و طرح اختلاط ها سعی شده است تا به گونه ای عمل شود که نتایج آن بتواند طیف وسیعی از سازه های بتنی ساخته شده در منطقه خلیج فارس شامل شود. در طول زمان سعی شده است تا نمونه ها در شرایط کاملا طبیعی قرار گیرند و سپس در بازه های زمانی ذکر شده از آن ها پروفیل گیری شده و مورد آزمایش تعیین یون کلرید قرار گیرند. در ادامه با حل معادله انتشار فیک برای پروفیل های یون کلرید، میزان غلظت یون کلرید در عمق های مختلف با دقت زیادی محاسبه شده و در نهایت

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 شامل دما و رطوبت منطقه، شرایط رویارویی، مدت زمان عمل آوری 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.



شکل ۶- نمایی از نرم افزار DuraP Gulf

باید دقت کرد که اساساً عمر مفید یک سازه بتنی واقع در یک محیط مهاجم شامل دو مرحله است: مرحله اول مدت زمان لازم به منظور آغاز خوردگی است و مرحله دوم مدت زمان لازم برای گسترش خوردگی تا حدی است که علایم آن به صورت ظاهری پدیدار شود [۱۹]. مدل سازی بر روی مرحله دوم کاری بس زمان بر و شامل حل معادلاتی

پیچیده است. هم چنین به دلیل این که در این مرحله سطح بتن ترک خواهد خورد و یون کلرید 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 بزرگ ترین چالشی است که این نوع سازه ها با آن مواجه هستند. بحث تخریب سازه های نوساز به دلیل ایجاد مکانیزم های مختلف فیزیکی یا الکتروشیمیایی (عمدتا نفوذ یون کلرید) 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 بیش تر مورد توجه قرار گیرند. این توجه ما را بر آن می دارد تا طراحی را بر اساس دوام و عمر مفید سازه انجام دهیم. در همین راستا نرم افزار DuraPGulf به منظور پیش بینی عمر مفید سازه های بتنی در منطقه خلیج فارس (که بر اساس داده های جدید در حال 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.

- [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.

- [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 Arabia, Vol.33, No. 1B, pp. 77-88.
- [17] Ghods P., Alizadeh R, Chini 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