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

بررسی عوامل موثر در تخریب اسکله های بتنی بندر امام خمینی (ره) و چگونگی نحوه پیشگیری و بهسازی و ترمیم آنها

علیرضا کبریایی
کارشناس ارشد سازه های دریایی- دانشگاه تهران

مقدمه

در چند دهه اخیر بتن مسلح بعلت ویژگی های خاص خود کاربرد وسیعی در ساخت ابنیه های خشکی و سازه‌های دریایی در سراسر جهان داشته است. متاسفانه خرابی های زود هنگامی که برای سازه های بتنی که در مجاورت آب دریا و یا خاک شور واقع شده اند اتفاق افتاده باعث نگرانی های جدی از استفاده بتن در اینگونه سازه ها شده است. تخریب در سازه های بتنی اجرا شده در مجاور آب دریا در مناطق گرمسیر عموما و در منطقه خلیج فارس خصوصا از سرعت و شدت بیشتری برخوردار بوده به نحوی که عمر مفید آنها را به کمتر از ۳۰ درصد تنزل داده است. خسارت مالی بسیار زیادی که این امر به تاسیسات مذکور در ایران و کشورهای مجاور خلیج فارس تحمیل نموده باعث شده است که در حال حاضر توسط مراکز علمی و تحقیقاتی در ایران و اکثر کشورها موضوع مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد.

بررسی عوامل موثر در تخریب اسکله های بتنی بندر امام خمینی (ره) و نحوه عملکرد آنها:

بطور کلی عوامل موثر در تخریب اینگونه سازه ها را به دو بخش فیزیکی و شیمیایی تقسیم می کنند. عوامل فیزیکی موثر در تخریب سازه های دریایی بتنی از قبیل ضربه، بارگذاری اضافی، یخ زدگی و ... می باشند که به دلیل اینکه تخریبهای حادث شده در اسکله های بتنی بندر امام خمینی (ره) ناشی از عوامل فیزیکی نبوده لذا این بخش خارج از موضوع بحث حاضر می باشد. عوامل شیمیایی موثر در تخریب اینگونه سازه ها از قبیل نفوذ سولفاتها، کلرورها واکنشهای قلیایی سنگ دانه ها در داخل جسم بتن مسلح و زنگ زدگی میله گرد و که نهایتا منجر به تخریب بتن میشوند، می باشند.

املاح مذکور یا به همراه آب دریا و از طریق ترکهای مویی و یا سطحی و یا تخلخلهای موجود در جسم بتن و نفوذ از طریق خاصیت مویینه و کم بودن پوشش بتن به داخل جسم بتن مسلح نفوذ کرده و یا وجود خارج از حد استاندارد املاح مذکور در مصالح و یا آب مورد استفاده در ساخت اولیه بتن بوده و در داخل بتن موجود و مترصد ایجاد شرایط مناسب جهت فعال شدن می باشند.

عمده تخریبهای حادث شده برای سازه های دریایی از جمله اسکله های بندر امام خمینی (ره) در منطقه جذر و مدی (TIDAL ZONE) و پاشش آب (SPLASH ZONE) بوده است. البته در ابنیه بتنی مجاور خاک های شور عمده خرابی در محدوده حداکثر حدود ۷۰ سانتی متری بالای فصل مشترک سازه با خاک می باشد. بتن دارای خاصیت قلیایی و عموما دارای PH > ۱۳ می باشد که این خاصیت خود باعث ایجاد لایه نازک در اطراف میله گرد و حفاظت سطح میله گرد داخل بتن می باشد. نفوذ آب حامل انواع املاح مضر علی الخصوص یون کلر و تماس با میله گرد داخل بتن (اگر املاح مذکور از قبل توسط مصالح مصرفی در ساخت بتن وجود داشته باشند به محض نفوذ آب، محیط برای فعالیت املاح مذکور آماده خواهد شد) و وجود اکسیژن در آب مذکور باعث کاهش شدید میزان قلیایی محیط اطراف میله گرد به میزان PH < ۱۱ شده و این امر باعث از بین رفتن لایه نازک محافظ میله گرد گردیده و در نتیجه میله گرد داخل بتن تحت یک روند الکترو شیمیایی ناشی از ایجاد پیلها دچار خوردگی و زنگ زدگی می‌گردند. میله گرد پس از اکسیداسیون و زنگ زدگی دچار افزایش حجم (تا ۶ برابر) گردیده و بتن اطراف آن تحت تاثیر فشار ناشی از آن دچار ترک خوردگی و موجب تکرار چرخه مذکور شده تا حدی که بتن پوششی دچار تخریب و نهایتا جدا شدن از بتن های اطراف خواهد شد. البته ابنیه های مجاور خاکهای شور علاوه بر فرایند بالا سطح خارجی بتن نیز به شدت دچار تخریب ناشی از کریستالیزه شدن نمکهای محلول در رطوبت خاک که به واسطه خاصیت موئینه ای به طرف بالا حرکت کرده و در فاصله حدود ۷۰ سانتی متری سطح زمین آب آن تبخیر و نمک آن در داخل بتن متبلور و این تبلور باعث ایجاد افزایش حجم قابل توجه نمک شده و این امر نیز باعث تخریب بتن در سطح و بخشی از آن نیز از طریق زنگ زدگی میله گرد داخل آن و تخریب در عمق (درمنطقه پوششی بتن) شده و نهایتا عمل تخریب با شدت بیشتری انجام خواهد شد.

مشخصات اسکله های ۱۰ و ۱۴ پست بندر امام

اسکله های مذکور جمعا بطول حدود ۵۰۰۰ متر و عرض ۵۰ متر و به صورت شمع و عرشه بتنی بوده و در سه دهه قبل احداث شده اند. شمعهای استفاده شده در این اسکله ها در ایران منحصر به فرد می‌باشد. شمعهای مذکور استوانه ای تو خالی، پیش تنیده، تابیده و پیش

www.SID.ir

Archive of SID

ساخته بتنی مسلح و بطول ۳۲ متر الی ۳۵ متر و قطر داخلی و خارجی آنها به ترتیب ۵۶ و ۸۰ سانتی متر و با ضخامت ۱۲ سانتی متر و به طریق سانتریفوژ ساخته شده اند. قطعات پیش ساخته بتنی دیگر نیز پس از کوبیدن شمعها و اجرای سرشمعها به عنوان عرشه بر روی آنها مستقر و سپس فضای بین آنها و همچنین تونل سرویس جلوی اسکله و دیواره خارجی آن (پیشانی اسکله) بتن ریزی در محل انجام گردید. جالب توجه می باشد که کلیه قطعات و اجزای پیش ساخته اسکله پس از حدود ۲۵ سال از زمان ساخت علیرغم استفاده از بتن با تکنولوژی آن زمان بدون هیچگونه صدمه دیدگی کاملا سالم بوده ولی برعکس بخشهایی که توسط بتن‌ریزی در محل، اجرا شده اند دچار تخریب و آسیب دیدگی های جدی گردیده اند.

مراحل بهسازی و ترمیم اسکله های بتنی بندر امام خمینی (ره):

عملیات ترمیم اسکله های مذکور در چهار مرحله متوالی و پیوسته انجام گردیده است:

الف: مرحله اول تخریب سطوح آسیب دیده و یا در معرض آسیب دیدگی: در این مرحله سطوح بتنی که ناشی از زنگ زدگی میله گرد و افزایش حجم آن دچار ترک قابل مشاهده شده اند و یا سطوحی که با ضربه چکش دارای صدای پوکی ناشی از جدا شدگی سطح بتن پوششی بوده ولی هنوز به مرز ترک نرسیده اند شناسایی و کاملا تخریب می گردند. عمل تخریب در این مناطق تا ۵ سانتی متر زیر سطح میله گرد ادامه پیدا خواهد کرد تا بتن هایی که احتمال نفوذ یون کلر به داخل و آلوده شدن آنها وجود شبده نیز تخریب و از محل خارج گردند. ذکر این نکته ضروری است که می بایست از وسایل مناسبی برای تخریب استفاده کرد که ضربات ناشی از استفاده آنها ایجاد ترکهای جدیدی در سازه ننمایند.

ب: مرحله دوم پاکسازی و آماده سازی سطوح مورد ترمیم و محافظت از آب دریا: در این مرحله در صورتی که میله گردهای داخل بتن از بین رفته و یا غیر قابل استفاده و یا دچارصدمه دیدگی جدی شده باشند (براساس دستورالعملها و توصیه های آئین نامه ای) تقویت و ترمیم و یا با همان مشخصات جایگزین و مجددا احیا می گردند. سپس کلیه میله گردهای سطوح تخریبی سندبلاست و سطح تخریبی و میله گرد موجود از مواد زائد و گرد و خاک تمیز و توسط آب شیرین شستشوی کامل شده و سطح بتنی آماده اجرای مرحله بعدی ترمیم میگردد. با توجه به اینکه ارتفاع جذر و مد در بندر امام خمینی (ره) تا حدود ۵ متر نیز می باشد و در این شرایط امکان اجرای عملیات مشکل می باشد. لذا مبادرت به طراحی و ساخت یک محفظه بزرگ فلزی شد تا پس از نصب فضای داخل برای کار در پیشانی اسکله ها در شرایط جذر و مد را میسر نماید و توسط روش خاص محفظه فوق پس از نصب از ورود آب دریا کاملا ایزوله نموده و ارتباط پیشانی اسکله بطول حدود ۱۰ متر با آب دریا در تمامی شرایط قطع گردید. نصب این محفظه فلزی اجرای کلیه مراحل ترمیم بدون اینکه آب دریا با سطح مورد نظر تماس داشته باشد را امکانپذیر نمود.

ج: مرحله سوم اجرای بتن جایگزین با استفاده از بتن ویژه و محافظت از آب دریا: پس از انجام مرحله آماده سازی، سطح بتن مورد ترمیم با آب شیرین تا حدودی اشباع نموده (بدلیل عدم جذب آب بتن جدید) و سپس بتن جایگزین آن با استفاده از بتن ویژه اجرا گردید.

د: مرحله چهارم – عمل آوری مناسب بتنهای جدید اجرا شده که بخشی توسط مواد افزودنی مربوطه تامین گردیده و همچنین توسط حفاظت بتن جهت جلوگیری از تبخیر آب آن با استفاده از چتایی و مرطوب نگهداشتن آن توسط آب شیرین تامین میشود. محافظت از آب دریا به مدت حداقل ۱۴ روز یا رسیدن بتن به مقاومت حداقل ۷۰ درصد ضروری می باشد. البته می بایست به این نکته توجه کرد که تمامی مراحل چهارگانه فوق از درجه اهمیت و حساسیت یکسان برخوردار می باشند و عدم دقت و رعایت موارد اشماره شده در هر مرحله سایر مراحل را که با دقت کافی انجام شده اند را تحت شعاع قرار داده و زحمات و هزینه های انجام شده را بلااثر می نماید. اجرای بتن جایگزین با توجه به ضخامت کم بتن جایگزین و ارتفاع نسبتا زیاد سطوح مورد ترمیم، امکان قالببندی و بتن ریزی مناسب وجود نداشته و به صورت پاششی و از روش شاتکریت خشک انجام شده است. منظور از بتن ویژه بتنی است با مقاومت و پایایی و نفوذ ناپذیری بالا می باشد. بتن ویژه مورد استفاده در این پروژه دارای مشخصات فنی به شرح ذیل می باشد:

۱- دارای طرح اختلاط مناسب با توجه به شن و ماسه و سیمان و افزودنی های مورد استفاده می باشد.

۲- از شن و ماسه با مشخصات فیزیکی و مکانیکی مناسب که توسط آب شیرین نیز شسته شده و املاح موجود آنها بسیار کمتر از حداقل استاندارد می باشد استفاده شده است.

۳- به لحاظ اینکه حرارت ناشی از ئیدراسیون سیمان منجر به بروز ترک در سطح بتن نشود (با توجه به اینکه بتن ترمیمی در ضخامت نسبتا کم اجرا می شود) و حرارت حاصله با سرعت کمتری بوجود آید از سیمان تیپ II که فرایند گیرش آن کندتر صورت می گیرد و هم به لحاظ ترکیب نزدیک به سیمان تیپ V می باشد استفاده شده است.

۴- استفاده از آب شرب (شیرین و غیر آلوده) در ساخت بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸.

www.SID.ir

Archive of SID

۵- استفاده از میکرو سیلیس تولید کارخانه فروسیلیس سمنان و یا ازنا به مقدار ۷ درصد وزنی سیمان.
۶- استفاده از فوق روان کننده (SUPER PLASTICIZER) از نوع SIKAMEMT 520 ساخت کارخانه سیلکا سوئیس به مقدار ۲ درصد وزنی سیمان.
۷- استفاده از عمل آورنده سطحی (CURING COMPOUND) از نوع ANTIZOL E ساخت کارخانه سیلکا سوئیس.
۸- استفاده از چسب بتن برای چسبندگی بیشتر بتن قدیم با بتن جدید (ترمیمی) از نوع SIKA LATEX در محلهای مورد نظر.
۹- رعایت حداقل ۵۰ میلیمتر ضخامت پوشش بتن.
۱۰-رعایت کامل توصیه های مربوط به ساخت و اجرای بتـن در مناطق گرمسـیر از جملـه چگونگـی نحـوه نگـهداری مصـالح مصرفـی (حتی الامکان در فضای سرپوشیده) نحوه کنترل و رعایت درجه حرارتهای محیط و مصالح مصرفی و ...

بتنی که با رعایت موارد فوق تولید و اجرا شده باشند علاوه بر مقاومت بالا دارای نفوذ ناپذیری زیادی بوده به نحوی کـه از نفـوذ آب و املاح مضر به داخل آن در امان خواهد ماند.

نتایج آزمایشات انجام شده جهت اندازه گیری میزان نفوذ پذیری بتن اجرا شده:

در حین اجرای پروژه شرکتهای زیادی مراجعه و مواد تولیدی کشورهای مختلف را پیشنهاد و مدعی بودند که استفاده از آن مواد بصورت پوششی باعث کاهش شدید نفوذی پذیری بتن خواهد شد. ولی اکثرا قادر به ارائه موارد استفاده شده از موادشـان در مـوارد مشـابه و در هـر نقطه از دنیا و امکان بررسی و ملاحظه نتایج آنها نبودند. یکی از شرکتها ماده ای با نام پنترون را معرفی و مدعی شد که برای ترمیم اسکله های بنادر در چند کشور مدتها قبل استفاده و عملکرد مثبتی نیز داشته است. به شرکت مذکور پیشنهاد گردید که برای آزمایش، به هزینه و توسط خود شرکت در بندر امام خمینی (ره) در چند محل مشخص شده مواد خود را اجرا و پس از زمـان مشـخص شـده توسـط شـرکت از محلهای فوق و چند محل دیگر کر گرفته شد. لازم به توضیح می باشد که پنترون ماده ای پلیمری بوده که جهت عایق بندی سطح بتن از آن استفاده میشود. مکانیزم عمل این ماده مطابق اعلام فروشنده، نفوذ از سطح بداخل بتن تا حدود یک اینچ، تشکیل پیوندهای شیمیایی بـا عناصر بتن و در نتیجه بستن مجاری آن می باشد. بدین ترتیب نفوذ پذیری بتن کاهش می یـابد. از آنجـا کـه در پـروژه مـورد نظـر مقـدار نفوذپذیری بتن در مقابل یون کلر حائز اهمیت می باشد از فروشنده درخواست شد مقدار نفوذپذیری بتنی را که بـه ایـن مـاده آغشـته شـده است، اعلام نماید. مطابق اعلام فروشنده این مقدار حدود ۸۴۰ کولمب میباشد.

به منظور بررسی کیفیت بتن ساخته شده در کارگاه و ارزیابی تاثیر پنترون نیاز به انجام آزمایش تعیین نفوذپذیری یون کلر در بتـن بـود، متعاقبا آزمایش مذکور بشرح زیر انجام شد.

نمونه شماره ۹۰۵۴ بتن معمولی (محوطه بندر خارج اسکله ها) بدون میکروسیلیس و بدون PENERTON،نمونه شماره ۹۰۷۲ بتـن معمولـی (خـارج اسـکله هـا) بـدون میکـرو سـیلیس بـا PENERTON.نمونـه شـماره ۶۲۹۷۸ شـاتکریت طـرح ترمیـم بـدون PENERTON.نمونه شماره ۳۴۰۶ شاتکریت طرح ترمیم با PENERTON.توضیح اینکه از هر نمونه دو آزمایش (B, A) انجـام شده است.

بررسی نتایج آزمایشات مشخص نمود که:

نفوذ پذیری بتن معمولی بدون کاربرد میکروسیلیس و مواد مضاف بیش از ۴۰۰۰ کولمب

نفوذپذیری بتن فوق پس از استعمال پنترون	۸۴۰ کولمب
نفوذپذیری بتن مورد استفاده طرح ترمیم	۲۳۰ کولمب
نفوذپذیری بتن طرح ترمیم پس از استعمال پنترون	۱۹۰ کولمب

از آنجا که مطابق آئین نامه های موجود، بتنی که نفوذپذیری آن در مقابل یون کلر کمتر از ۱۰۰۰ کولمب باشد، در مقـابل نفـوذ یـون کلر مقاومت کافی دارد و از طرف دیگر استعمال پنترون روی بتن طرح کاهش قابل توجه ای در نفوذپذیری نداشته زیرا که بتن طـرح خودش در حد ایده آل نفوذ ناپذیر بوده و از طرف دیگر خرید پنترون مستلزم هزینه ارزی (حدود 5$/m2) می باشد، لذا از استفاده آن در این پروژه صرف نظر گردید.

انواع روشهای پیشگیری تخریب بتن مسلح مورد استفاده در سازه های دریایی:

۱- استفاده از میله گردهایی با پوشش رنگ اپوکسی و یا روکش لاستیکی و یا استنلس استیل و گالوانیزه
۲- استفاده از روشهای حفاظت کاتدیکی (CATODIC PROTECTION)

www.SID.ir

Archive of SID

۳- محافظت بتن با استفاده از روشهای پوششی بر روی سطح بتنی از قبیل رنگهای اپوکسی
۴- تهیه بتن تا حد امکان نفوذ ناپذیر، در صورت حصول به این مهم بتن سازه مورد نظر خود ذاتا نفوذناپذیر بوده و نفوذ املاح مضر به داخل آن به حداقل ممکن خواهد رسید.
۵- رعایت ضخامت پوشش بتن به میزان حداقل ۵۰ میلیمتر(در تمامی روشهای فوق الذکر لازم الاجرا می باشد).
۶- استفاده از FRP بعنوان جانشینی در نقش فولاد در بتن مسلح.

نتیجه:

۱- از انواع روشهای ارائه شده جهت پیشگیری تخریب بتن مسلح مورد استفاده در سازه های دریایی روش تهیه و اجرای بتن تا حد امکان نفوذناپذیر با توجه به اینکه امکان نفوذ آب دریا و ورود املاح به داخل آن به حداقل ممکن میرسد خود محافظ بوده و ضمن پویایی و مقاومت در،مقابل عوامل جوی منطقه، نگهداری چندانی نیز نیاز ندارد. در پروژه مذکور با استفاده از سیمان تیپ II ، میکروسیلیس به میزان ۷ درصد وزن سیمان (که باعث افزایش مقاومت بتن در مقابل سایش و پر کردن کلیه منافذ موجود در بتن به دلیل ابعاد فوق العاده ریز آنها و جلوگیری از ایجاد تخلخل در بتن و ...)، استفاده از آب شیرین و قابل شرب در ساخت بتن نسبت آب به سیمان فوق العاده پایین ۰/۳۸ = W (و نتیجتا استفاده از فوق روان کننده های مناسب، استفاده از چسب مناسب به منظور ایجاد چسبندگی بتن جدید و قدیم (چالب است که در آزمایشات کششی انجام شده بر روی نمونه های برداشت شده از محل، گسیختگی بتن در محلی به غیر از فصل مشترک بتن قدیم و جدید بوده و این امر مؤید چسبندگی کامل دو لایه می باشد)، استفاده از مواد افزودنی مناسب جهت عمل آوری بتن، دقت در استفاده از مصالح سنگی غیر آلوده، عمل آوری مناسب، محافظت بتن جدید از آب دریا به مدت حداقل ۱۴ روز یا تا حصول ۷۰ درصد مقاومت فشاری بتن رعایت کلیه موارد توصیه شده در تهیه و اجرای بتن در مناطق گرمسیر استفاده از افراد متخصص و آموزش دیده، استفاده از تجهیزات مناسب ما را در تهیه بتن با نفوذپذیری بسیار کم و مقاومت و پایایی بالا یاری کرده نتایج آزمایشات بعمل آمده نیز موید این مطلب می باشد.

۲- در پروژه های جدید بطور کلی استفاده از قطعات بتن مسلح پیش ساخته و پیش تنیده ای که از بتن با روش بالا تهیه شده باشد بدلیل قابلیت کنترل و در تهیه و عمل آوری درشرایط ویژه، عملکرد مطلوبی در بندر امام خمینی (ره) و سایر بنادر حوزه خلیج فارس خواهد داشت. علی الخصوص استفاده از شمعهای پیش ساخته، پیش تنیده تابیده استوانه ای توخالی و تهیه شده توسط سیستم سانتریفوژ (در صورت پاسخ مثبت دادن شرایط ژئوتکنیکی منطقه) و با استفاده از بتن تهیه شده با روش بالا تقریبا سازه ها را در مقابل کلیه شرایط و عوامل جوی نامناسب منطقه ایمن خواهد کرد.

در خاتمه ضمن تشکر از مسئولین سازمان بنادر و کشتیرانی و سایر برگزار کنندگان همایش بهاس تلاش و زحمات بعمل آمده در برگزاری این همایش از خداوند متعال آرزوی موفقیت برای همه عزیزان را دارم.

مراجع:

- مشکل خوردگی و بتن مناسب در ساختارهای بندری – دکتر علی اکبر رمضانپور – مهندس منصور پیدایش
- تحلیل و ارزیابی عملکرد دالهای بتنی تقویت شده با FRP تحت بار ضربه ای
AYAHO – MIYAMOTO – MICHEAL W.KING – MASUMI GOTOM
- بتن در مناطق گرمسیر از نشریه STNVD عضو هلندی FIP ترجمه و تدوین توسط مهندس فریدون علی پناه و مهندس سید اکبر هاشمی.
- گزارشات مهندسین مشاور سکو

www.SID.ir

Archive of SID

Factors Affecting Destruction of Concrete Berths in Imam Khomeini Port and Methods to Protect, Optimize and Repair Them

Alireza Kebriayi

MSc in Marine Structures, Tehran University

Abstract

Thanks to its special features, reinforced concrete has been extensively used in the past decades for building land and marine structures all around the world. Unfortunately, early detriments to concrete structures located in the vicinity of seawater or salty earth has caused serious concerns for using concrete in such structures. This destruction is even more rapid, and more dangerous in horrid climates, such as the Persian Gulf, actually reducing their life span by 30 percent. The huge financial damage of this phenomenon to such structures in Iran and other Persian Gulf Littoral States has led research and scientific centers in these countries to action, and this paper focuses on the factors bringing about this phenomenon in the concrete berths of Imam Khomeini Port.

Keywords: concrete structures, destructive factors, Imam Khomeini Port, Persian Gulf

www.SID.ir