

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت مسکن و شهرسازی

توصیه‌هایی برای تعمیر سازه‌های بتنی در سواحل جنوبی ایران

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

نشریه شماره: ض - ۵۰۴

چاپ اول: ۱۳۸۷

عنوان و نام پدیدآور	: توصیه‌هایی برای تعمیر سازه‌های بتنی در سواحل جنوبی ایران / مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری	: ن، ۱۶۱ ص: مصور
فروست	: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن: نشریه شماره: ض - ۵۰۴
شابک	: 978-964-9903-67-5
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
یادداشت	: ص. ع. به انگلیسی: Recommendations for concrete repaire in the Persian Gulf
یادداشت	: کتبله: ص ۱۵۹ - ۱۶۰
موضوع	: سازه‌های بتنی - - خلیج فارس - - نگهداری و تعمیر
موضوع	: سازه‌های بتنی - - خوردگی
موضوع	: بتن - - تأثیر آب و هوا
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
رده‌بندی کنگره	: TA۶۸۱/ت۹ ۱۳۸۷
رده‌بندی دیوبی	: ۶۲۴/۱۸۳۴-۹۵۵۷۳۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۳۴۱۱۸۶
مصوبه شماره ۸۷/۵۳۸ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن	



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

توصیه‌هایی برای تعمیر سازه‌های بتنی در سواحل جنوبی ایران

نشریه شماره: ض - ۵۰۴، چاپ اول: ۱۳۸۷

ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

تنظیم برای چاپ: نسرین مقدس

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بها: ۱۵۰۰۰ ریال

لینوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.

کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، خیابان پاس‌فرهنگیان، خیابان ارشاد، خیابان سوم صنوبر پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵

تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

پست الکترونیکی: president@bhrc.ac.ir صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

دفتر فروش: تهران، خیابان ولی‌عصر، میدان ولی‌عصر، مجتمع اناری - تجاری ولی‌عصر، واحد ۸۲ تلفن: ۸۸۹۴۰۳۶۰

ISBN: 978-964-9903-67-5

شماره شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۹۹۰۳-۶۷-۵

پیشگفتار

اجرای پروژه‌های بزرگ عمرانی و ساخت سازه‌های مهم در کشورهای دنیا و به ویژه حاشیه خلیج فارس در ۳۰ - ۴۰ سال گذشته، افزایش چشمگیری داشته است. در طول این مدت، پروژه‌های بزرگ مانند بنادر، فرودگاه‌ها، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، نیروگاه‌ها، پل‌ها، سدها و سایر تاسیسات صنعتی اجرا شده است. همچنین در شهرهای ایجادشده، ساختمان‌های مدرن بتنی ساخته شده است. نتیجه این ساخت و سازها قرار دادن بتن در زمره یکی از مصالح ساختمانی پر مصرف، مهم و کارآ و با دامنه مصرف وسیع بوده است. تا جایی که امروز بتن نقش کلیدی و ممتازی در گسترش صنعت ساختمان دارد.

اما عملیات ساخت و ساز در سواحل جنوبی ایران، برای صنعت، خالی از مشکل نبوده است. برخی از این مشکلات عبارتند از:

- تجربه قبلی در دیگر نقاط دنیا در مورد ساخت سازه‌های بتنی در دمای بالا و محیط‌های مهاجم، موجود و یا در دسترس نبوده و یا فناوری مناسب آن، دور از دسترس بوده است.
 - فقط بخشی از منابع مصالح برای ساخت بتن با کیفیت بالا در منطقه وجود داشته و همچنین دست‌اندرکاران ساخت و ساز، تجربه کافی ندارند.
 - در بسیاری از نواحی، آب مناسب برای ساخت یا عمل آوری بتن وجود ندارد.
 - بیشتر عوامل محیطی برای ساخت بتن با کیفیت مطلوب، مناسب نیستند، مانند سطح آب‌های زیرزمینی که در نزدیکی سطح زمین بوده و مقدار نمک موجود در آن زیاد است و همچنین وجود نمک‌هایی که در خاک موجود است.
 - روش‌های اجرای سازه‌های بتنی در منطقه خلیج فارس متفاوت از شرایط اقلیمی دیگر در کشور است و نیاز به آیین‌کارهای خاص است.
- این عوامل باعث شده‌اند بسیاری از سازه‌های بتنی، دوام پیش‌بینی شده را نداشته و به دنبال آن انواع مشکلات مربوط به نگهداری و تعمیر سازه‌های بتنی به وجود آیند. از این رو، توجه به آن هم در حال حاضر و هم در آینده ضروری و پر اهمیت است.
- خرابی سازه‌های بتنی در طول زمان رخ می‌دهد و سرعت آن بستگی به عوامل مختلفی دارد. نتیجه این روند پر شتاب خرابی، تغییر در عملکرد سازه و رفتار نامناسب آن تحت شرایط عادی



سرویس‌دهی و ایمنی سازه‌ای است.

در اکثر موارد، آسیب‌دیدگی سازه با نشانه‌هایی مانند ترک‌خوردگی و خیز زیاد تیرها و دال‌ها همراه است. این نشانه‌ها را می‌توان در بازرسی سازه که گاهی در فواصل زمانی کوتاه انجام می‌شود شناسایی کرد. اما در مواردی که کاربری سازه تغییر می‌کند و یا آثار آسیب‌دیدگی شدید است، نیاز به تعمیر اجتناب‌ناپذیر می‌شود. عملیات تعمیر و محافظت سازه باید بر اساس نتایج بررسی‌ها و ارزیابی، به‌گونه‌ای انجام شود که ایمنی و دوام سازه را به دنبال داشته باشد. این ارزیابی شامل بررسی نتیجه آزمایش‌ها، تعیین علل خرابی و همچنین پیش‌بینی رفتار سازه در آینده است. از طرفی لازم است هزینه تعمیر و محافظت سازه با ارزش سازه در طول عمر سرویس‌دهی باقی‌مانده آن و هزینه‌های خرابی و بهسازی آن، مورد مقایسه قرار گیرد.

اجرای برنامه کامل بررسی و ارزیابی برای تعیین علل خرابی سازه همیشه برای تعیین عملیات اصلاح و تعمیر ضروری است. به عبارت دیگر، تشخیص کامل علل خرابی و عدم تأمین دوام در درازمدت در یک سازه، قبل از برنامه‌ریزی تعمیر و محافظت لازم است. عواملی که در سازه منجر به خرابی می‌شود، ممکن است حاصل چند عامل مانند طراحی اولیه سازه، چگونگی ساخت، مصالح مصرفی، شرایط محیطی هنگام ساخت و سرویس‌دهی سازه و بارهای وارد بر آن باشد. خوشبختانه، اغلب فرآیندهای خرابی در بتن دارای نشانه‌های قابل دیدن و روشنی هستند. از این رو، بازرسی‌های ظاهر سازه، نقش مهمی در آغاز برنامه بررسی و ارزیابی کل سازه دارد.

این توصیه‌نامه که در هشت فصل تدوین شده است، جمع‌بندی نتایج تحقیقاتی است که در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و همچنین برخی کشورها، خصوصاً کشورهای حوزه خلیج فارس انجام شده است. امید است با به کارگیری توصیه‌ها و شیوه‌های ارائه شده، کیفیت عملیات تعمیر در سواحل جنوبی کشور بهبود یابد.

در پایان از کلیه متخصصان، صاحب‌نظران و دست‌اندرکاران کارهای بتنی در کشور که تجربیات ارزشمندی در این خصوص دارند، انتظار است با انتقال تجربیات و ارائه پیشنهادهای کاربردی و موثر خود به مرکز، زمینه‌های گسترش و تقویت آن را فراهم سازند.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

پیشگفتار.....	۵
هدف.....	م
فصل اول: آسیب‌دیدگی و تعمیر سازه‌ها در منطقه خلیج فارس.....	۱
۱-۱ شرایط مهاجم منطقه خلیج فارس.....	۱
۲-۱ راهبردها و سیاست‌های تعمیر.....	۲
۳-۱ قرارداد برای تعمیر.....	۴
فصل دوم: روند خرابی بتن.....	۷
۱-۲ کلیات.....	۷
۲-۲ عوامل مؤثر در نوع و سرعت خرابی.....	۸
۳-۲ مدت زمان ظاهر شدن آثار خرابی.....	۱۰
۴-۲ رابطه بین آسیب دیدگی و خرابی.....	۱۰
۵-۲ خوردگی میلگرد.....	۱۱
۱-۵-۲ مقدمه.....	۱۱
۲-۵-۲ آسیب دیدگی ناشی از خوردگی میلگرد.....	۱۳
۳-۵-۲ مقایسه مشخصه‌های خوردگی‌های ناشی از کربناسیون و نفوذ یون‌های کلرید.....	۱۴
۶-۲ حمله سولفات‌ها.....	۱۶
۱-۶-۲ مشخصات.....	۱۶
۷-۲ هوازگی فیزیکی ناشی از نمک.....	۱۷

۱۷.....	۱-۷-۲ مشخصات.....
۱۸.....	۸-۲ ترک خوردگی.....
۱۹.....	۱-۸-۲ ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری.....
۲۰.....	۲-۸-۲ ترک خوردگی ناشی از نشست خمیری.....
۲۱.....	۳-۸-۲ ترک خوردگی ناشی از انقباض حرارتی در س‌ن‌های اولیه.....
۲۲.....	۴-۸-۲ ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی درازمدت.....
۲۲.....	۵-۸-۲ ترک خوردگی بر اثر تغییرات درجه حرارت.....
۲۵.....	فصل سوم: ارزیابی سازه‌های بتنی.....
۲۶.....	۱-۳ مراحل مختلف ارزیابی.....
۳۰.....	۲-۳ بررسی اولیه - برنامه‌ریزی، ارزیابی و تدارکات.....
۳۰.....	۳-۳ مرحله بررسی مقدماتی.....
۳۱.....	۱-۳-۳ بازرسی سازه.....
۳۲.....	۲-۳-۳ نتایج.....
۳۶.....	۴-۳ اطلاعات تکمیلی سازه.....
۳۷.....	۱-۴-۳ مدارک موجود.....
۳۷.....	۲-۴-۳ طراحی.....
۳۷.....	۳-۴-۳ مصالح.....
۳۸.....	۴-۴-۳ عملیات ساخت.....
۳۸.....	۵-۴-۳ تاریخچه سازه.....
۳۸.....	۶-۴-۳ کاربرد فعلی و آینده سازه.....
۳۹.....	۷-۴-۳ تشخیص اولیه آسیب‌دیدگی.....
۳۹.....	۵-۳ مرحله بررسی اصلی.....
۳۱.....	فصل چهارم: آزمایش‌ها برای ارزیابی.....
۴۲.....	۱-۴ هدف از انجام آزمایش‌ها.....
۴۲.....	۲-۴ انتخاب محل‌های نمونه‌برداری و آزمایش.....
۴۴.....	۳-۴ دسترسی به محل‌های نمونه‌برداری و آزمایش.....
۴۵.....	۴-۴ نمونه‌برداری و آزمایش.....



- ۴-۴-۱ انواع آزمایش‌ها ۴۵
- ۴-۴-۲ محل‌های آزمایش ۴۹
- ۴-۴-۳ نمونه‌برداری ۴۹
- ۴-۴-۳-۱ مغزه‌گیری ۵۰
- ۴-۴-۳-۲ نمونه‌برداری پودری از بتن ۵۱
- ۴-۴-۴ بازسازی محل‌های آزمایش ۵۲
- ۴-۵ آزمایش‌های محلی ۵۲
- ۴-۵-۱ مقدمه ۵۲
- ۴-۵-۲ سختی سطح ۵۳
- ۴-۵-۳ سرعت پالس مافوق صوت ۵۴
- ۴-۵-۴ سختی بتن نزدیک به سطح ۵۵
- ۴-۵-۵ عمق و موقعیت میلگردها ۵۵
- ۴-۵-۶ عمق کرناسیون ۵۶
- ۴-۵-۷ پتانسیل نیم پیل ۵۷
- ۴-۵-۸ مقاومت الکتریکی ۵۹
- ۴-۵-۹ جذب سطحی ۶۰
- ۴-۶ بررسی‌های آزمایشگاهی ۶۱
- ۴-۶-۱ مقدمه ۶۱
- ۴-۶-۲ تعیین مقاومت مغزه‌ها ۶۲
- ۴-۶-۳ نمونه‌های پودر بتن ۶۲
- ۴-۶-۴ بررسی‌های پتروگرافی ۶۳
- ۴-۶-۵ نفوذپذیری نسبت به آب ۶۴
- فصل پنجم: ارزیابی وضعیت سازه ۶۵
- ۵-۱ اهداف ۶۶
- ۵-۲ تفسیر نتایج آزمایش‌های غیرمخرب ۶۶
- ۵-۲-۱ کلیات ۶۶
- ۵-۲-۲ عمق کرناسیون ۶۷
- ۵-۲-۳ پروفیل کلر ۶۷

۶۹.....	۱-۳-۲-۵ پیش‌بینی رفتار سازه در آینده.....
۷۰.....	۴-۲-۵ مقاومت بتن و چگالی آن.....
۷۰.....	۵-۲-۵ سرعت پالس مافوق صوت.....
۷۱.....	۶-۲-۵ جذب سطحی اولیه (I.S.A.T.).....
۷۱.....	۷-۲-۵ پتانسیل خوردگی.....
۷۲.....	۸-۲-۵ مقاومت الکتریکی.....
۷۴.....	۳-۵ تفسیر نتایج.....
۷۵.....	۴-۵ پیش‌بینی رفتار سازه در آینده.....
۷۷.....	فصل ششم: روش‌های تعمیر.....
۷۸.....	۱-۶ انواع روش‌های تعمیر.....
۷۹.....	۱-۱-۶ روش تعمیر موضعی.....
۸۰.....	۱-۱-۱-۶ کاربرد و محدودیت‌ها.....
۸۱.....	۲-۱-۱-۶ جداسازی قسمت‌های آسیب‌دیده.....
۸۴.....	۳-۱-۱-۶ تمیز کردن میلگرد.....
۸۷.....	۴-۱-۱-۶ مواد اندود چسبندگی.....
۸۹.....	۲-۱-۶ ملات‌های تعمیری در روش تعمیر موضعی.....
۸۹.....	۱-۲-۱-۶ بتن و ملات‌های سیمانی اصلاح شده با مواد پلیمری (PCC).....
۹۳.....	۳-۱-۶ روش تعمیری قالب بندی مجدد.....
۹۷.....	۴-۱-۶ بتن پاشیدنی.....
۱۰۳.....	۵-۱-۶ به‌کارگیری آندهای قربانی‌شونده.....
۱۰۴.....	۲-۶ مصالح تعمیری.....
۱۰۴.....	۱-۲-۶ سیمان.....
۱۰۶.....	۲-۲-۶ سنگدانه.....
۱۰۷.....	۳-۲-۶ افزودنی‌های شیمیایی.....
۱۰۷.....	۴-۲-۶ افزودنی‌های معدنی.....
۱۰۸.....	۵-۲-۶ افزودنی پلیمری.....
۱۱۰.....	۳-۶ انتخاب ملات و بتن تعمیری.....
۱۱۱.....	۱-۳-۶ پایداری ابعاد و چسبندگی.....



- ۱۱۱.....۲-۳-۶ ضریب انبساط حرارتی
- ۱۱۱.....۲-۳-۶ مدول الاستیسیته
- ۱۱۲.....۴-۳-۶ مقاومت کششی
- ۱۱۳.....۵-۳-۶ تخلخل و مقاومت الکتریکی
- ۱۱۳.....۶-۳-۶ نفوذپذیری
- ۱۱۳.....۷-۳-۶ سازگاری شیمیایی
- ۱۱۳.....۸-۳-۶ سازگاری جمع شدگی
- ۱۲۰.....۴-۶ کنترل کیفیت و آزمایش
- ۱۲۱.....۵-۶ پوشش‌های سطحی بتن
- ۱۲۱.....۱-۵-۶ موارد کاربرد و محدودیت‌ها
- ۱۲۲.....۲-۵-۶ مصالح
- ۱۲۵.....۳-۵-۶ کاربرد
- ۱۲۶.....۴-۵-۶ کنترل کیفیت و آزمایش‌های مربوط
- ۱۲۷.....۶-۶ تزریق ترک‌ها
- ۱۲۸.....۱-۶-۶ کاربرد و محدودیت‌ها
- ۱۲۸.....۲-۶-۶ مواد و مصالح
- ۱۲۸.....۳-۶-۶ روش تزریق
- ۱۳۱.....۴-۶-۶ کنترل کیفیت و آزمایش‌ها
- ۱۳۱.....۷-۶ بازدارنده‌های خوردگی
- ۱۳۲.....۱-۷-۶ مواد افزودنی بازدارنده خوردگی
- ۱۳۲.....۲-۷-۶ مواد بازدارنده خوردگی با قابلیت نفوذی
- ۱۳۲.....۳-۷-۶ موارد کاربرد و محدودیت‌های مواد بازدارنده خوردگی با قابلیت نفوذی....
- ۱۳۳.....۴-۷-۶ روش اجرای مواد بازدارنده خوردگی نفوذی
- ۱۳۴.....۵-۷-۶ کنترل کیفیت و آزمایش مواد بازدارنده خوردگی
- ۱۳۴.....۸-۶ حفاظت کاتدی
- ۱۳۵.....۱-۸-۶ سیستم آند قربانی شونده
- ۱۳۵.....۲-۸-۶ سیستم جریان اعمال شده
- ۱۳۶.....۳-۸-۶ کنترل کیفیت و آزمایش



۹-۶	ایجاد قلیابیت مجدد	۱۳۷
۱-۹-۶	کنترل کیفیت و آزمایش	۱۳۸
۱۰-۶	استخراج کلرید (نمک زدایی)	۱۳۸
۱-۱۰-۶	کنترل کیفیت و آزمایش	۱۳۹
۱۴۱	فصل هفتم: انتخاب روش‌های تعمیر	۱۴۱
۱-۷	عملکرد مورد انتظار	۱۴۱
۲-۷	عملیات موقت	۱۴۱
۳-۷	عملکرد سیستم‌های تعمیر و حفاظتی غیرالکتروشیمیایی	۱۴۲
۴-۷	سیستم‌های الکتروشیمیایی	۱۴۳
۵-۷	مقایسه هزینه‌ها و عملکرد	۱۴۵
۱۴۷	فصل هشتم: توصیه‌ها	۱۴۷
۱۵۹	منابع	۱۵۹

هدف

این گزارش راهنمایی برای انواع فرآیندهای تعمیر سازه‌های بتنی در منطقه خلیج فارس است. در این گزارش اطلاعات لازم برای هر مرحله از این فرآیند ارائه شده است. البته تأکید اصلی برای سازه‌هایی است که میلگردهای آن دچار خوردگی شده‌اند، چون این فرآیند متداول‌ترین علت خرابی سازه‌های بتنی در منطقه خلیج فارس است.

نتایج تحقیقات به عمل آمده که در این گزارش به آنها استناد شده است، علل اصلی و فرآیندهای خرابی متداول بتن در منطقه خلیج فارس را به طور خلاصه مربوط به موارد زیر می‌داند:

- مشکلات موجود در خود سازه مانند طراحی و اجرای نامطلوب، مصرف مصالح نامناسب و طرح مخلوط نامناسب؛

- مشکلاتی که هنگام ساخت و یا بلافاصله پس از عملیات ساخت ظاهر می‌شود؛

- نقش و عملکرد شرایط محیطی در سازه تکمیل شده.

فرآیند خرابی سازه بتنی ممکن است یک علت اصلی داشته باشد، ولی در اغلب موارد عوامل متعددی در آن مؤثرند.

در ارزیابی سازه، سه مرحله زیر برای تعمیر و محافظت موفقیت آمیز نقش اساسی دارند:

۱- بررسی وضعیت فعلی سازه؛

۲- تحلیل نتایج، بررسی و ارزیابی که منجر به درک کامل علل خرابی و ارزیابی عملکرد سازه در آینده خواهد شد؛

۳- بررسی و در نظر گرفتن گزینه‌های موجود برای تعمیر و محافظت و انتخاب مناسب‌ترین روش.



دوام یک سازه، همواره تحت تأثیر شرایط محیطی است. شرایط محیطی منطقه خلیج فارس برای بتن و میلگرد مسلح‌کننده آن بسیار مهاجم و مخرب است. برای انتخاب فرآیند مناسب تعمیر و محافظت سازه، باید از چگونگی تأثیر شرایط محیطی در سازه و آسیب‌دیدگی ناشی از آن، شناخت و درک کافی وجود داشته باشد.