راهنمای تعمیرات بتن

(الزامات استاندارد جهت تعمیر و نگهداری بتن، M-47)

Kurt F. von Fay
Laboratory of Bureau of Reclamation

مترجمین:
مهندس رضا شاه‌ولی
مهندس علیرضا برون

ملاحظات

خواننده‌ی گرامی، ترجمه‌ی پیش رو حاصل تلاش یک‌ساله‌ی متجرمان آن است و برگردان آن پس از مکاتبه با ناشر نسخه‌ی اصلی کتاب و اخذ اجازه‌ی آن‌ها انجام‌شده‌است.
در این ترجمه تلاش شده‌است که متن روان باشد و از کلمات تخصصی موجود در زبان فارسی استفاده شود تا به‌کارگیری آن آسان‌تر شود. علی‌رغم تلاش بسیار جهت خالی بودن این ترجمه از هرگونه اشکال، وجود خطا در آن محتمل است. از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی تقاضا می‌شود هرگونه اشکال و نقص در این کتاب و یا پیشنهادات خود در رابطه با آن را از طریق ناشر با مترجمان در میان بگذارید.

نسخه‌ی رنگی تصاویر موجود در این کتاب از وبگاه ناشر قابل دریافت است.

قدردانی

«از استاد گرامی جناب دکتر نوید سیاه‌پلو که در دوران تحصیل همواره مشوق من بودند کمال تشکر و قدردانی را دارم و به خاطر نظرات و راهنمایی‌های ایشان پیرامون این کتاب سپاسگزارم.»

رضا شاه‌ولی

«سپاس ایزد منان را که در راه رسیدن این حقیر به دانش از هیچ محبتی دریغ نکرد و در تمام مراحل زندگی پشتیبان من بود.

از خانواده، دوستان و همکارانم به جهت تشویق و کمک‌هایشان در مسیر ترجمه این کتاب تشکر ویژه کرده و برای همه آن‌ها سعادت و سلامتی آرزو دارم.

امیدوارم که این خدمت ناچیز و حاصل زحمات ما مطلوب جامعه علمی کشور قرار گیرد.»

علیرضا برون

پیشگفتار

بهره‌برداری طولانی‌مدت از هر سازه‌ی فولادی یا بتنی در گروی تدوین و اجرای برنامه‌ی تعمیر و نگه‌داری با جزئیات دقیق است. با گذشت زمان، بسته به شرایط محیط بهره‌برداری از یک سازه‌ی بتنی، ناگزیر به تعمیر آن خواهیم شد. اما بهترین روش تعمیرات کدام است و فرآیند اجرای این تعمیرات باید چگونه باشد؟ هدف راهنمای پیش روی شما، ارائه‌ی پاسخ به این سؤالات است. این راهنما، با ارائه‌ی یک روش نظام‌مند در هفت گام، خواننده را به یافتن پاسخ مناسب این سؤالات نزدیک‌تر خواهد کرد. بر اساس این راهنما، در صورت مواجهه با یک عضو بتنی آسیب‌دیده، ابتدا علت یا علل اصلی آسیب‌دیدگی تعیین می‌شود؛ سپس با ارزیابی میزان آسیب‌دیدگی، باید تصمیم گرفته‌شود که آیا نیازی به تعمیر سازه هست یا می‌توان با تغییر یا بهبود برنامه‌ی نگه‌داری، شرایط مطلوب بهره‌برداری را ایجاد کرد و یا حتی عمرمفید سازه را افزایش داد. از طرفی درصورتی‌که عضو بتنی نیاز به تعمیرات داشته باشد، باید روش و مصالح مناسب با شرایط پروژه را انتخاب کرد تا پس از آماده‌سازی سطح آسیب‌دیده، شرایط اجرای تعمیرات میسر شود. آخرین و مهم‌ترین گام پس از اتمام اجرای تعمیرات، عمل‌آوری صحیح و کامل لایه‌ی تعمیراتی است که مستقیماً عمرمفید تعمیرات را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

راهنمای پیش رو در دو بخش ارائه‌شده‌است: فصول اصلی و بخش پیوست‌ها. گام‌های تعمیرات در فصل‌های ۱ تا ۵ با جزئیات تشریح‌شده‌است. پس از آن، در پیوست ۱ پیرامون سنگ‌نگاری بتن نکاتی عنوان شده و در پیوست ۲، روش‌شناسی گام‌های هفت‌گانه‌ی تعمیرات به شکل خلاصه توضیح داده‌شده‌است. پیوست ۳ نیز شامل الزامات استاندارد تعمیر و نگه‌داری M-47 اداره‌ی احیای اراضی ایالات‌متحده است که برای هر یک از روش‌های تعمیرات ارائه‌شده در فصول اصلی راهنما، دستورالعمل‌های دقیقی را بر اساس روش‌شناسی عنوان‌شده ارائه کرده‌است. این دستورالعمل شامل مباحث ضروری مربوط به قرارداد بین کارفرما و پیمانکار مجری تعمیرات، معرفی سایر استانداردهای مختص هر

پروژه‌ی تعمیراتی، مدارک و صلاحیت‌های موردنیاز برای مصالح تعمیراتی و مجریان تعمیرات؛ معرفی مصالح تعمیراتی، نحوه‌ی اجرا و عمل‌آوری مصالح و معرفی تجهیزات موردنیاز در فرآیند تعمیرات است. با وجود این فرآیند گام‌به‌گام، مطالعه‌ی این راهنما می‌تواند برای محققان، کارفرمایان، پیمانکاران و مجریان تعمیرات سازه‌های بتنی گره‌گشا باشد.

مهندس رضا شاه‌ولی

پاییز ۱۴۰۲

فهرست مطالب

فصل ۱. تعمیر و نگه‌داری بتن ۱

۱-۱. مقدمه ۱
۱-۱-۱. سیستم تعمیر و نگه‌داری بتن ۳
۱-۱-۲. نگه‌داری بتن ۵
۱-۱-۳. الزامات عمومی جهت اجرای تعمیرات باکیفیت ۱۲

فصل ۲. استفاده از سیستم تعمیر و نگه‌داری بتن اداره‌ی احیای اراضی ۱۹

۲-۱. یافتن علت (یا علت‌های) آسیب‌دیدگی ۲۰
۲-۲. ارزیابی میزان آسیب‌دیدگی ۲۴
۲-۳. ارزیابی نیاز به اجرای تعمیرات ۲۸
۲-۴. انتخاب روش و مصالح مناسب جهت تعمیرات ۳۶
۲-۵. آماده‌سازی بتن موجود پیش از اجرای تعمیرات ۳۷
۲-۵-۱. برش‌زدن محیط ناحیه‌ی آسیب‌دیده به کمک اره/دستگاه سنگ‌زنی ۳۸
۲-۵-۲. تخریب بتن آسیب‌دیده ۴۲
۲-۵-۳. آماده‌سازی فولاد تقویت‌کننده ۴۸
۲-۵-۴. تمیزکاری اولیه ۵۱
۲-۵-۵. محافظت از ناحیه‌ی آماده‌شده ۵۲
۲-۵-۶. تمیزکاری مجدد ۵۳
۲-۶. اجرای تعمیرات ۵۵
۲-۷. عمل‌آوری صحیح و کامل مصالح/مواد تعمیراتی اجراشده ۵۶

فصل ۳. عوامل آسیب‌رسان به بتن ۵۷

۳-۱. آب اضافه در مخلوط بتن ۵۸
۳-۲. اشکال در طراحی ۶۱
۳-۳. عیوب ساخت‌وساز ۶۶
۳-۴. خرابی ناشی از سولفات‌ها ۷۰

۳-۵. واکنش قلیایی سنگ‌دانه‌ها ۷۴
۳-۶. تخریب ناشی از چرخه‌ی یخزدگی و ذوب‌شدن ۷۹
۳-۷. آسیب‌دیدگی ناشی از سایش-فرسایش ۸۶
۳-۸. آسیب‌دیدگی در اثر حفره‌زدگی ۹۱
۳-۹. خوردگی فولاد آرماتوربندی ۹۶
۳-۱۰. آسیب‌دیدگی ناشی از اسید ۹۸
۳-۱۱. ترک‌خوردگی ۱۰۱
۳-۱۲. آسیب‌دیدگی در اثر اضافه‌بار سازه‌ای ۱۱۳
۳-۱۳. آسیب‌دیدگی در اثر علل مختلف ۱۱۵

فصل ۴. روش‌های استاندارد تعمیر بتن **۱۱۹**

۴-۱. درزگیرها و پوشش‌ها ۱۲۱
۴-۱-۱. ترکیبات پلیمری متاکریلات با وزن مولکولی بالا (HMWM) ۱۲۵
۴-۱-۲. درزگیرهای اپوکسی با ویسکوزیته‌ی پایین ۱۲۹
۴-۱-۳. ترکیبات درزگیر بر پایه‌ی سیلان و سیلوکسان ۱۳۴
۴-۱-۴. ترکیبات پوششی بتن ۱۳۷
۴-۲. تعمیرات با ضخامت کم ۱۴۴
۴-۲-۱. سنگ‌زنی سطح ۱۴۵
۴-۲-۲. ملات سیمان پرتلند ۱۴۶
۴-۲-۳. ملات خشک و ملات خشک با ماده‌ی چسبنده ۱۵۱
۴-۲-۴. بتن پلیمری و ملات اپوکسی ۱۵۸
۴-۲-۵. پیوندزدن بتن جایگزین با اپوکسی ۱۷۱
۴-۲-۶. ملات‌های ترمیم‌گر سیمانی و شیمیایی آماده (کارخانه‌ای) ۱۷۴
۴-۳. تعمیرات با ضخامت زیاد ۱۷۸
۴-۳-۱. بتن جایگزین ۱۷۹
۴-۳-۲. بتن پیش‌آکنده ۱۹۰
۴-۳-۳. بتن شاتکریت ۱۹۷
۴-۳-۴. بتن دوده‌ی سیلیکا ۲۰۲
۴-۴. تعمیرات ترک و نشتی آب ۲۰۷

۴-۴-۱. تزریق رزین ۲۰۹

فصل ۵. شیوه‌های استانداردنشده‌ی تعمیر بتن ۲۳۹

۵-۱. به‌کارگیری شیوه‌ها و مصالح استانداردنشده در تعمیرات بتن ۲۳۹
۵-۱-۱. آماده‌سازی ۲۴۰
۵-۱-۲. مصالح ۲۴۱
۵-۱-۳. اجرا ۲۴۱
۵-۱-۴. عمل‌آوری ۲۴۲

کتاب‌شناسی ۲۴۳

پیوست ۱. تجزیه‌وتحلیل سنگ‌نگاری بتن ۲۵۱

پ-۱-۱. معرفی ۲۵۱
پ-۱-۲. ارزش آزمون سنگ‌نگاری ۲۵۱
پ-۱-۳. اطلاعات ارائه‌شده پس از ارزیابی سنگ‌نگاری ۲۵۲
پ-۱-۴. نمونه‌برداری و گزارش سنگ‌نگاری ۲۵۴
پ-۱-۵. موارد استفاده از گزارش سنگ‌نگاری ۲۵۴
پ-۱-۶. روش‌ها و ابزارهای سنگ‌نگاری ۲۵۵
پ-۱-۷. کتاب‌شناسی ۲۵۸

پیوست ۲. الزامات استاندارد جهت تعمیر و نگه‌داری بتن، M-47 ۲۵۹

پ-۲-۱. مراحل هفت‌گانه‌ی تعمیر و نگه‌داری بتن ۲۶۱
پ-۲-۱-۱. مرحله‌ی اول؛ یافتن علت (یا علت‌های) آسیب‌دیدگی ۲۶۲
پ-۲-۱-۲. مرحله‌ی دوم؛ ارزیابی میزان آسیب‌دیدگی ۲۶۲
پ-۲-۱-۳. مرحله‌ی سوم؛ ارزیابی نیاز به اجرای تعمیرات ۲۶۳
پ-۲-۱-۴. مرحله‌ی چهارم؛ انتخاب روش و مصالح مناسب جهت تعمیرات ۲۶۳
پ-۲-۱-۵. مرحله‌ی پنجم؛ آماده‌سازی بتن آسیب‌دیده پیش از اجرای تعمیرات .. ۲۶۴
پ-۲-۱-۶. مرحله‌ی ششم؛ اجرای تعمیرات ۲۶۴
پ-۲-۱-۷. مرحله‌ی هفتم؛ عمل‌آوری صحیح و کامل مواد تعمیراتی اجراشده ۲۶۵

بتن درجا (بخش 03 30 00) ۲۶۹
بخش ۱. مباحث عمومی ۲۶۹
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۲۸۶
بخش ۳. اجرا ۳۱۳
شاتکریت (بخش 03 37 10) ۳۴۹
بخش ۱. مباحث عمومی ۳۴۹
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۳۵۳
بخش ۳. اجرا ۳۵۷
تخریب بتن (بخش 03 81 10)..... ۳۶۱
بخش ۱. مباحث عمومی ۳۶۱
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۳۶۵
بخش ۳. اجرا ۳۶۵
تعمیر بتن (بخش 03 81 14) ۳۷۴
بخش ۱. مباحث عمومی ۳۷۴
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۳۷۹
بخش ۳. اجرا ۳۸۳
تعمیر سطح بتن با ترکیبات پلیمری (بخش 03 81 15) ۳۹۳
بخش ۱. مباحث عمومی ۳۹۳
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۳۹۵
بخش ۳. اجرا ۳۹۶
تعمیر ترک با گروت اپوکسی (بخش 03 81 16)..... ۳۹۸
بخش ۱. مباحث عمومی ۳۹۸
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۴۰۰
بخش ۳. اجرا ۴۰۱
تعمیر ترک‌خوردگی به کمک گروت شیمیایی (بخش 03 81 17) ۴۰۴
بخش ۱. مباحث عمومی ۴۰۴
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۴۰۶
بخش ۳. اجرا ۴۰۷

ترمیم‌کننده‌ی ترک‌خوردگی بتن و درزگیر نفوذکننده (بخش 03 81 19) ۴۱۲
بخش ۱. مباحث عمومی ۴۱۲
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۴۱۶
بخش ۳. اجرا ۴۱۸
رنگ‌کاری بتن (بخش 09 91 11)..... ۴۲۲
بخش ۱. مباحث عمومی ۴۲۲
بخش ۲. مصالح/محصولات کارخانه‌ای/تجهیزات ۴۲۹
بخش ۳. اجرا ۴۳۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۱. آسیب‌دیدگی ناشی از یخزدگی-ذوب‌شدن. تدوین یک برنامه‌ی نگه‌داری دقیق می‌توانست از این وضعیت جلوگیری کند..... ۶
شکل ۲. تغییر محل خروجی آب می‌توانست به میزان قابل‌ملاحظه‌ای از وسعت آسیب بکاهد..... ۶
شکل ۳. با تغییر در عملکرد تأسیسات و در نتیجه تغییر سطح آب در طول چرخه‌های یخزدگی و ذوب‌شدن، ممکن بود از وسعت آسیب‌دیدگی کاسته شود..... ۱۱
شکل ۴. جهت حفظ درزهای سازه‌ای در لایه‌ی تعمیراتی، از قالب‌بندی استفاده‌شده‌است.....۱۶
شکل ۵. استفاده از سنگ‌دانه‌های بی‌کیفیت در مخلوط بتن، سبب شده است تنها پس از ۴۰ سال عضو بتنی دچار آسیب‌دیدگی شود؛ تعمیر چنین خرابی‌هایی پرهزینه خواهد بود..... ۲۲
شکل ۶. نمونه‌گیری از بتن جهت ارزیابی صحیح علت و میزان آسیب‌دیدگی..... ۲۳
شکل ۷. سنجش وضعیت بتن کف سرریز سد از طریق صدای ایجادشده در اثر ضربه‌زدن به آن با میله‌های فلزی. صدای ایجادشده حاکی از بروز لایه‌لایه‌شدگی بتن کف بوده است.....۲۶
شکل ۸. خرابی تخمین‌زده‌شده (هاشور سیاه) در مقابل بخش تخریب‌شده در عملیات تعمیرات (هاشور سیاه و قرمز)..... ۲۸
شکل ۹. گرچه دیواره‌ی سد در اثر چرخه‌های یخزدگی-ذوب‌شدن دچار خرابی شده است، اما تا چند سال آینده نیازی به تعمیر آن نخواهد بود..... ۲۹
شکل ۱۰. آسیب‌دیدگی ناشی از یخزدگی ذوب‌شدن در این سازه باید پیش از گسترش خرابی تا این مرحله اصلاح می‌شد..... ۳۰
شکل ۱۱. آسیب‌دیدگی ناشی از سنگ‌دانه‌های جاذب رطوبت..... ۳۱
شکل ۱۲. خرابی حاصل از سنگ‌دانه‌های جاذب در اثر چرخه‌های یخزدگی ذوب‌شدن که در عمق بتن نفوذ کرده‌است..... ۳۱
شکل ۱۳. با وجود آسیب‌دیدگی‌ظاهراً جدی در این سرریز، به علت خصوصیات و نحوه‌ی بهره‌برداری از آن و شرایط محیطی، نیازی به تعمیرات آنی نیست..... ۳۲
شکل ۱۴. با وجود اینکه این سرریز وضعیت ظاهری خوبی داشت، بررسی‌های دقیق نشان داد که بخش وسیعی از زیرسازی آن تخریب‌شده‌است (محل حفره‌ها توسط فلش سبزرنگ نشان داده‌شده‌است)..... ۳۲
شکل ۱۵. آسیب‌دیدگی ناشی از سایش-فرسایش در محل پرتابه‌ی جامی (Flip bucket) و مستهلک‌کننده‌های انرژی. قبل از شروع تعمیرات، علت اصلی آسیب‌دیدگی مشخص نشده بود..... ۳۵

شکل ۱۶. پس از شروع عملیات تخریب مشخص شد که میزان خرابی بیش از آن چیزی است که در ابتدا تصور می‌شد. بتن به‌دلیل زوال قابل‌توجه، به‌راحتی تخریب می‌شد..... ۳۵
شکل ۱۷. نمونه‌برداری از بتن شاتکریت برای آزمایش و بررسی آن..... ۳۶
شکل ۱۸. برش زدن بتن به کمک اره‌ای که بر روی ریل نصب‌شده‌است..... ۳۹
شکل ۱۹. پس از تخریب بتن با آب، باید تن باقی‌مانده در محیط ناحیه‌ی آسیب‌دیده با اره برش زده شود..... ۴۰
شکل ۲۰. نمونه‌هایی از نحوه‌ی برش‌زنی ناحیه‌ی تعمیراتی با اره/دستگاه سنگ‌زنی..... ۴۱
شکل ۲۱. توصیه می‌شود گوشه‌های ناحیه‌ی تعمیراتی گرد شوند..... ۴۲
شکل ۲۲. تخریب کف بتنی با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر به کمک فشار آب (فشار ۱۳۷/۹ مگاپاسکال). ۴۳
شکل ۲۳. نتیجه‌ی آزمون کالیبراسیون اولیه، تخریب بیش از حد بتن و خم‌شدن میلگردها بوده است. ۴۵
شکل ۲۴. استفاده از قلم‌چکش برقی کوچک برای تخریب بتن..... ۴۵
شکل ۲۵. استفاده از دستگاه ساچمه‌زنی کوچک پیش از اجرای از ترمیم‌کننده-درزگیر (Healer-Sealer، پوشش و درزگیر). با وجود کوچک بودن، این دستگاه می‌تواند سطح وسیعی را به‌سرعت برای تعمیرات آماده کند..... ۴۶
شکل ۲۶. ماسه‌سایی یک عرشه‌ی بتنی پیش از اجرای ترمیم‌کننده-درزگیر (پوشش و درزگیر).... ۴۷
شکل ۲۷. استفاده از دستگاه تیشه‌زنی برای تخریب بتن..... ۴۸
شکل ۲۸. نمونه‌ای از سرمته‌هایی که در تخریب بتن از آن‌ها استفاده می‌شود. این سرمته‌ها بر روی دستگاه تیشه‌زنی و چکش‌دندانه‌دار قابل نصب است..... ۴۸
شکل ۲۹. روش مناسب آماده‌سازی بتن جهت ترمیم خرابی ناشی از پوسته‌پوسته‌شدگی..... ۵۰
شکل ۳۰. روش مناسب جهت آماده‌سازی یک حفره‌ی وسیع در دیوار بتنی..... ۵۱
شکل ۳۱. کف بتنی محافظ سرریز به‌خوبی جهت اجرای تعمیرات آماده‌سازی شده است..... ۵۱
شکل ۳۲. استفاده از جت‌آب جهت تمیزکاری مجدد (با فشار ۲۷/۵۸ مگاپاسکال)..... ۵۴
شکل ۳۳. آب‌پاشی سطح بتن بستر جهت حفظ حالت اشباع با سطح خشک (SSD) پیش از اجرای لایه‌ی تعمیراتی..... ۵۵
شکل ۳۴. تاب‌آوری بتن با کاهش مقدار آب و وجود هوای محبوس در مخلوط بتن بهبود می‌یابد. ۵۹

شکل ۳۵. ترک حرارتی در دیواره‌ی بتنی ضخیم. علت ایجاد ترک‌ها، دمای بالای بتن در زمان عمل‌آمدن آن و سپس سردشدن سریع آن بوده است. برای تعمیر ترک‌ها از رزین اپوکسی استفاده شده است که در تصاویر مشهود است..... ۶۲
شکل ۳۶. خوردگی میلگردهای فولادی در اثر نمک‌پاشی انجام‌شده در فصل زمستان جهت تسریع در ذوب‌شدن یخ‌های روی پل. ۶۳
شکل ۳۷. آسیب‌دیدگی ناشی از انبساط در درزهایی که در فاصله‌ی بیش از حد نزدیک به‌هم اجراشده‌اند..... ۶۵
شکل ۳۸. جزئیات درز سازه‌ای اصلاح‌شده برای درزهای تحت انبساط‌های زیاد. نحوه‌ی قرارگیری یک دال جدید در کنار دال قبلی نشان داده‌شده‌است..... ۶۶
شکل ۳۹. بتن متخلخل و سنگ‌نماشده که نتیجه‌ی ادغام نامناسب مخلوط بتن است. ۶۸
شکل ۴۰. نمونه‌ای از بتنی که به‌خوبی ادغام نشده و نیاز به تعمیر دارد. ۶۸
شکل ۴۱. اضافه کردن آب یا مواد دیگر به سطح بتن در مرحله‌ی پرداخت، به ایجاد ضعف و آسیب در سطح آن می‌انجامد..... ۶۹
شکل ۴۲. آسیب‌دیدگی سطحی که در اثر اضافه کردن آب در هنگام پرداخت نهایی در بتن تازه، ظاهرشده است. ۷۰
شکل ۴۳. آب مخلوط با نمکی که به‌عنوان یخ‌زدا استفاده‌شده باعث پوسته‌پوسته‌شدن سطح بتن بی‌کیفیت شده است..... ۷۰
شکل ۴۴. آسیب‌دیدگی در اثر حمله‌ی سولفاتی. تعمیرات جدید با استفاده از مواد مقاوم در برابر سولفات انجام شد. ۷۳
شکل ۴۵. مقطعی از گروت پرکننده‌ی سیمانی که در اثر واکنش‌های شیمیایی با تائوماسیت (بخش سفیدرنگ) جایگزین شده است؛ شکل‌گیری تائوماسیت نتیجه‌ی نوعی حمله‌ی سولفاتی است..... ۷۳
شکل ۴۶. واکنش قلیایی-سیلیکایی. ترک‌های پرشده با ژل سیلیسی و حاشیه‌ی واکنشی پیرامون برخی سنگ‌دانه‌ها..... ۷۶
شکل ۴۷. این ترک‌خوردگی‌های گسترده می‌تواند نشانگر واکنش قلیایی-سیلیکایی باشد..... ۷۷
شکل ۴۸. بررسی خرابی بتن ناشی از واکنش قلیایی-سیلیکایی در سازه‌ای که در دهه‌ی ۱۹۷۰م ساخته‌شده‌است..... ۷۹
شکل ۴۹. خرابی ناشی از یخ‌زدگی و ذوب‌شدن در لایه‌های درونی یک دال بتنی که در اثر وضعیت خاصی که گرادیان‌های رطوبت و دما داشته‌اند رخ‌داده است..... ۸۰
شکل ۵۰. خرابی ناشی از یخ‌زدگی و ذوب‌شدن در بخش فوقانی دیواره‌ی سرریز سد. ۸۱

شکل ۵۱. خرابی ناشی از یخزدگی و ذوب‌شدن.عموماً در محل درزها که احتمال آب‌گرفتگی آن‌ها بیش‌تر است، خرابی نیز متمرکزتر است. ۸۲
شکل ۵۲. نمونه‌ای از ترک‌خوردگی-D در اثر یخزدگی و ذوب‌شدن به علت وجود سنگ‌دانه‌های جاذب رطوبت. ۸۴
شکل ۵۳. ضخامت تعمیرات انجام‌شده آن‌قدر اندک بوده که بخش زیرین آن در اثر یخزدگی و ذوب‌شدن دچار آسیب‌دیدگی شده است. ۸۶
شکل ۵۴. چپ: بقایای صفحه‌ی عایق و بتن در کف ایستگاه پمپاژ. راست: تصویر محل اصلی پنل در سقف و زیر عرشه‌ی پارکینگ. ۸۶
شکل ۵۵. آسیب‌دیدگی ناشی از فرآیند سایش-فرسایش در بتن. ۸۷
شکل ۵۶. صیقلی شدن سطح بتن در اثر آسیب‌دیدگی ناشی از فرآیند سایش-فرسایش. ۸۹
شکل ۵۷. تعمیر بتن آسیب‌دیده در اثر فرآیند سایش-فرسایش به کمک مخلوط بتن با دوده‌ی سیلیسی در حوضچه‌ی آرامش سد کلرادو. ۹۰
شکل ۵۸. ترکیب بتن با کیسه‌های ۱/۳۶ تنی دوده‌ی سیلیسی در محل تعمیرات. ۹۱
شکل ۵۹. خرابی حفره‌زدگی متداول در تونل‌های سرریز موسوم به الگوی «درخت کریسمس». ۹۲
شکل ۶۰. خرابی حفره‌زدگی ممکن است بسیار شدید و وسیع باشد؛ در این تصویر مشهود است که خرابی تا عمق قابل‌توجهی در زیر بستر تونل گسترش‌یافته است. ۹۲
شکل ۶۱. مرحله‌ی اولیه‌ی خرابی سایش-فرسایش. آسیب‌های بعدی ممکن است سبب ایجاد حفره‌زدگی شدید در دیواره شوند. ۹۳
شکل ۶۲. مقادیر بالای کلر در آب سبب ایجاد خوردگی در فولاد آرماتوربندی شده که نتیجه‌ی آن لایه‌لایه‌شدن دیواره‌ی بتنی بوده است. ۹۷
شکل ۶۳. آسیب‌دیدگی ناشی از اسید بر روی سطح بتن. ۱۰۰
شکل ۶۴. انواع متعددی از ترک‌خوردگی‌ها در سازه‌های بتنی رخ می‌دهند. ۱۰۲
شکل ۶۵. ترک ناشی از نشست پلاستیک. ۱۰۴
شکل ۶۶. ترک‌های ناشی از آب‌رفتگی در اثر خشک‌شدگی که به‌دلیل از دست رفتن آب بتن پس از سخت‌شدن آن ایجادشده‌اند (چاقوی جیبی قرمز رنگ به جهت مقایسه‌ی اندازه‌ها در تصاویر است). ۱۰۴
شکل ۶۷. ترک‌های ناشی از آب‌رفتگی پلاستیک در شرایط محیطی خشک و گرم. ۱۰۵
شکل ۶۸. به علت نشست فونداسیون، دیوارها دچار ترک‌خوردگی شده‌اند. ۱۰۶
شکل ۶۹. استفاده از سنجش‌گر مدرج جهت نظارت بر تغییرات در اندازه‌ی ترک‌خوردگی. ۱۰۷

شکل ۷۰. استفاده از روش فتوگرامتری در تعیین تغییرات ترک‌خوردگی‌ها و درزها به کمک تصاویر دیجیتالی..... ۱۰۸
شکل ۷۱. نمونه‌ای از تعمیر نادرست ترک‌ها که منجر به ظاهری ناخوشایند شده است. ۱۱۰
شکل ۷۲. ترمیم نادرست ترک‌هامعمولاً عمرمفید آن‌ها را بسیار کوتاه می‌کند. ۱۱۰
شکل ۷۳. ترک‌خوردگی‌های انعکاسی ایجادشده در اثر ترک‌های باقی‌مانده در لایه‌های زیرین بتن پس از انجام تعمیرات نامناسب (چاقوی جیبی قرمز رنگ به جهت مقایسه‌ی اندازه‌ها در تصاویر است). ۱۱۲
شکل ۷۴. طبقه‌بندی شدت آب‌رفتگی در اثر خشک‌شدن..... ۱۱۳
شکل ۷۵. خسارت اضافه‌بار (ترک‌خوردگی) در اثر فروریختن جاده بر روی پایه‌ی سایفون. جاده در اثر جاری شدن سیل از جا کنده‌شده و بر روی پایه فروریخته است. تجزیه‌وتحلیل سازه نشان داد که فولاد تقویت‌کننده تسلیم‌نشده‌است، بنابراین برای ترمیم اسکله از تزریق اپوکسی استفاده شد. ۱۱۵
شکل ۷۶. بتن نمونه‌برداری‌شده از سازه‌ای که در دهه‌ی ۱۹۶۰م ساخته‌شده و هم‌زمان در اثر دو عامل آسیب‌رسان قلیایی-سیلیکایی و یخزدگی-ذوب‌شدن دچار خرابی شده است. برخلاف توصیه‌ها و الزامات موجود، در مخلوط بتن از سنگ‌دانه‌های واکنش‌پذیر استفاده‌شده‌است. ۱۱۶
شکل ۷۷. نمونه‌ای از آسیب‌دیدگی در اثر عوامل مختلف به‌طور هم‌زمان (واکنش قلیایی سنگ‌دانه، یخزدگی-ذوب‌شدن و نزدیک بودن لوله‌های تأسیسات مدفون به سطح بتن)..... ۱۱۷
شکل ۷۸. استفاده از رزین اپوکسی برای ترمیم ترک‌های بتن. رزین به‌خوبی ترک‌ها را پرکرده و درزگیری با موفقیت همراه بوده است..... ۱۲۴
شکل ۷۹. استفاده از HMWM در ترمیم ترک‌های تاج سد..... ۱۲۶
شکل ۸۰. استفاده از درزگیر اپوکسی در ترمیم ترک‌های سطح بتنی..... ۱۳۱
شکل ۸۱. ساچمه‌زنی سطح بتن پیش از استفاده از درزگیر اپوکسی بر روی سطح بتنی..... ۱۳۲
شکل ۸۲. درزگیری سطح بتنی با ترکیب سیلوکسان..... ۱۳۷
شکل ۸۳. ترمیم ترک‌های یک کانال بتنی به کمک پلی‌اوره‌ی الاستومری..... ۱۳۹
شکل ۸۴. ضخامت ناکافی لایه‌ی تعمیراتی بر روی سطح بتنی دیواره‌ی یک سرریز که در معرض یخزدگی-ذوب‌شدن بوده است موجب ناکامی تعمیرات و ایجاد خرابی در نواحی پیرامونی شده است. ۱۴۵
شکل ۸۵. ملات سیمان پرتلند برای ترمیم منافذ ناشی از آزاد شدن حباب‌های هوا و آبی که در زیر قالب‌بندی ایجاد می‌شوند مناسب است، البته درصورتی‌که تعمیرات هرچه زودتر انجام شود. ۱۴۷

شکل ۸۶. استفاده از ملات سیمان پرتلند در ترمیم یک آسیب‌دیدگی کم‌عمق. تفاوت رنگ وصله با بتن قدیمی قابل‌مشاهده است..... ۱۴۸
شکل ۸۷. استفاده از اسپری بادی با فشار کم برای اعمال ملات سیمان پرتلند..... ۱۵۰
شکل ۸۸. عریض‌کردن انتهای حفره کمک می‌کند ملات به‌خوبی در آن جای بگیرد..... ۱۵۳
شکل ۸۹. خشک‌کردن سطح بتن به کمک دستگاه خشک‌کن..... ۱۶۲
شکل ۹۰. گرم‌کردن بخشی از سطح بتن به کمک بخاری در یک فضای محبوس جهت رسیدن به دمای موردنظر..... ۱۶۳
شکل ۹۱. مخلوط‌کردن رزین اپوکسی در سطل میکسر..... ۱۶۵
شکل ۹۲. مخلوط‌کردن مصالح ملات اپوکسی در سطل..... ۱۶۶
شکل ۹۳. اجرای بتن پلیمری با ضخامت کم جهت تعمیر آسیب‌دیدگی کف یک حوضچه..... ۱۶۸
شکل ۹۴. استفاده از ابزارهای متداول بنایی در اجرای ملات اپوکسی..... ۱۶۸
شکل ۹۵. تحکیم بتن پلیمری به کمک ویبراتور مکانیکی..... ۱۶۹
شکل ۹۶. باید از بتن پلیمری تا پیش از سخت‌شدن محافظت کرد..... ۱۷۰
شکل ۹۷. گرم‌کردن سطح بتن پلیمری اجراشده به کمک بخاری جهت تسریع در عمل‌آمدن آن. برای جلوگیری از نفوذ جریان آب به ناحیه‌ی تعمیرات، از خاک‌ریز استفاده شده است..... ۱۷۱
شکل ۹۸. بتن‌ریزی (بتن جایگزین) بر روی عامل چسباننده (رزین اپوکسی)..... ۱۷۴
شکل ۹۹. ترک‌خوردگی‌های قابل‌توجه ایجادشده در ملات تعمیراتی کارخانه‌ای. متأسفانه این پدیده در اغلب ملات‌های تعمیراتی که جهت ترمیم آسیب‌دیدگی‌های کم‌عمق استفاده می‌شوند رخ می‌دهد. ۱۷۶
شکل ۱۰۰. اجرای ملات کم‌آب و فشرده کردن آن جهت ایجاد چسبندگی بهتر با بتن بستر..... ۱۷۸
شکل ۱۰۱. آماده‌سازی کف یک کانال با شبکه‌بندی آن جهت اجرای بتن جایگزین..... ۱۸۳
شکل ۱۰۲. جزئیات قالب‌بندی یک دیوار جهت بتن‌ریزی..... ۱۸۳
شکل ۱۰۳. وجه بالادست سد بارکر که توسط ترکیبی از المان‌های پیش‌ساخته و بتن پیش‌آکنده ترمیم شده است..... ۱۹۲
شکل ۱۰۴. استفاده از شاتکریت در تعمیر کف سرریز سد. این روش به علت دورافتاده بودن محل تعمیرات انتخاب‌شده‌است..... ۱۹۸
شکل ۱۰۵. با وجود فضای اندک در این مجرای آب، به علت هندسه‌ی ناحیه‌ی آسیب‌دیده از شاتکریت استفاده‌شده‌است. پس از تعمیرات، سطح بتن پرداخت شد تاکاملاً صاف و یک‌دست باشد..... ۱۹۹

شکل ۱۰۶. نتایج آزمایشات سایش-فرسایش نشان می‌دهد که بتن دوده‌ی سیلیکا (چپ) نسبت به بتن معمولی (راست) در برابر سایش و فرسایش مقاوم‌تر است. ۲۰۳
شکل ۱۰۷. افزودن تقویت‌کننده‌های اضافه جهت تعمیر یک سایفون قطور. ۲۰۹
شکل ۱۰۸. افزودن پلیمر تقویت‌کننده‌ی فایبرکربن جهت تعمیر یک لوله‌ی بتنی قطور. ۲۰۹
شکل ۱۰۹. تعمیر نشتی‌های آب با حجم زیاد به کمک رزین‌های پلی‌اورتان. ۲۱۳
شکل ۱۱۰. استفاده از پلی‌اورتان آب‌دوست جهت جلوگیری از نشتی آب از درز انقباض. چپ: ذرات پلی‌اورتان در حال پر کردن درز هستند. راست: پرشدن درز با ذرات پلی‌اورتان (بخش روشن‌تر). ۲۱۴
شکل ۱۱۱. تمیزکردن سطح ترک با یک دستگاه سنگ‌زنی پیش از نصب پورت‌ها و تزریق رزین به درون ترک‌ها. ۲۱۶
شکل ۱۱۲. استفاده از دمنده‌ی هوای فشرده جهت تمیزکردن گرده و مصالح سست از محل ترک‌ها. ۲۱۶
شکل ۱۱۳. نصب پورت‌های تزریق رزین در محل ترک‌خوردگی‌ها پیش از تزریق رزین. ۲۱۷
شکل ۱۱۴. درزگرفتن وجه بیرونی ترک‌ها پس از نصب پورت‌های تزریق رزین. ۲۱۷
شکل ۱۱۵. انجام سوراخ‌کاری بافاصله نسبت به شکاف نشتی جهت نفوذ به حفره‌ی ترک که در زیر سطح ایجاد شده است. ۲۱۸
شکل ۱۱۶. پورت‌های نصب‌شده جهت تزریق رزین پلی‌اورتان به درون درز انبساط عرشه‌ی نیروگاه برق که دچار نشتی شده است. محل نصب پورت‌ها به‌گونه‌ای مکان‌یابی شده است که در فضای بین لاستیک آب‌بند و صفحه‌ی فلزی مدفون در بتن قرار بگیرند. ۲۲۰
شکل ۱۱۷. قرار دادن کنف یا نوار اسفنجی آغشته به رزین درون درزها یا ترک‌های با عرض زیاد می‌تواند مانع از خروج رزین پلی‌اورتان تزریق‌شده از این درزها و یا ترک‌ها شود. ۲۲۰
شکل ۱۱۸. سیستم کارتریجی دوجزئی جهت تزریق رزین به درون ترک‌ها. ۲۲۴
شکل ۱۱۹. یک مخزن تحت‌فشار کوچک که از آن برای تزریق اپوکسی رزین مخلوط‌شده به درون ترک‌خوردگی استفاده می‌شود. ۲۲۵
شکل ۱۲۰. یک دستگاه تزریق رزین که به‌طور خاص برای این کار طراحی‌شده‌است. ۲۲۵
شکل ۱۲۱. در محل‌هایی که دسترسی دشوار است، از پمپ‌های دستی برای تزریق رزین استفاده می‌شود. ۲۲۷
شکل ۱۲۲. می‌توان از اسپری‌های رنگ‌آمیزی بدون‌هوا در برخی از تعمیراتی که با تزریق رزین انجام می‌شوند استفاده کرد. با این حال، کارگرانی که از این تجهیزات استفاده می‌کنند، باید به فرآیند تزریق رزین و استفاده از این دستگاه‌ها کاملاً آشنا باشند. ۲۲۷

شکل ۱۲۳. این پمپ تزریق رزین (با فشار بالا) قادر به تزریق هم‌زمان رزین دوجزئی و آب است. ۲۲۸
شکل ۱۲۴. تزریق هم‌زمان رزین به درون ترک‌ها از طریق چندین پورت تزریق. ۲۳۱
شکل ۱۲۵. پس از جداکردن پورت‌های تزریق باید سطح ترک‌خوردگی را با اپوکسی عمل‌آمده پر کرد. ۲۳۲
شکل ۱۲۶. پورت‌های تزریق انواع مختلفی دارند. پورت‌های مکانیکی، پورت‌هایی که با ضربه‌ی چکش در محل قرار می‌گیرند و پورت‌هایی که دارای رزوه هستند و با پیچاندن در محل خود قرار می‌گیرند. ۲۳۳
شکل ۱۲۷. تزریق مواد از یک انتها آغاز شده و تا انتهای دیگر ادامه پیدا می‌کند. پایین‌ترین بخش شکاف ترک توسط کنف آغشته به رزین و سطح ترک با مواد درزگیر مسدود می‌شود، در این صورت، رزین از بالا و پایین محصور می‌گردد. سر پورت‌های تزریق نیز با اتصال گریس‌خور (Grease fitting) مسدود می‌شود. ۲۳۴
شکل ۱۲۸. از این پورت جهت تزریق رزین به اعماق عضو بتنی استفاده می‌شود. قطر این پورت ۷/۶ سانتی‌متر و طول آن ۱/۲۲ متر است. ۲۳۶

فصل ۱. تعمیر و نگه‌داری بتن

۱-۱. مقدمه

دهه‌ها است که اداره‌ی احیای اراضی این راهنما را (راهنمای بتن و استاندارد تعمیر بتن، M-47) مستند و منتشر می‌کند. این راهنما، اساس بسیاری از تعمیرات بتنی انجام‌شده در پروژه‌های اداره‌ی احیای اراضی است. ویرایش اولیه‌ی راهنمای فعلی (Smoak، ۱۹۹۶م) نسخه‌ی تجدیدنظرشده و به‌روز شده‌ی الزامات استاندارد M-47 بود و توصیه‌هایی جهت دستیابی به تعمیرات موفقیت‌آمیز بتن ارائه می‌کرد.

نسخه‌ی دوم راهنمای تعمیر بتن (نسخه‌ی فعلی)، نسخه‌ی تجدیدنظرشده و به‌روز شده‌ی راهنمای اصلی و الزامات استاندارد M-47 است و شامل اطلاعات جمع‌آوری‌شده از طریق کار میدانی، کارگاه‌های بین‌المللی و پروژه‌های تحقیقاتی مشترک در طی ۲۰ سال گذشته است. راهنمای فعلی شامل دو بخش است: بخش اول شامل دستورالعمل‌های تعمیر بتن (فصل‌های ۱ تا ۵) و بخش دوم (پیوست‌ها) شامل الزامات استاندارد به‌روز شده‌ی M-47 است.

اداره‌ی احیای اراضی مسئول بهره‌برداری و نگه‌داری از سازه‌های برق-آبی و سازه‌های بتنی کنترل منابع آب در غرب ایالات‌متحده است. این شرکت پنجمین شرکت بزرگ تولیدکننده‌ی برق در ایالات غربی و بزرگ‌ترین عمده‌فروش آب در کل کشور است که ۳۴۸ مخزن با ظرفیت ذخیره‌سازی ۳۰۲۲۰ میلیون مترمکعب آب دارد (برای مقایسه، حجم آب مصرفی سالانه‌ی یک خانواده‌ی چهارنفره حدود ۱۲۳۳ مترمکعب است). این اداره آب موردنیاز یک‌پنجم کشاورزان ایالت‌های غربی را تأمین می‌کند و برای ۴۰۴۶۸ کیلومترمربع زمین کشاورزی که ۶۰٪ سبزیجات و ۲۵٪ باغات میوه را تولید می‌کنند آب فراهم می‌کند. علاوه بر این، اداره‌ی احیای اراضی، با در اختیار داشتن ۵۸

نیروگاه برق-آبی، سالانه به‌طور متوسط ۴۲۰۰۰ میلیون کیلووات‌ساعت برق تولید می‌کند. این اداره همچنین سالانه ۳۷۸۵۴ میلیارد لیتر آب مصرفی بیش از ۳۱ میلیون نفر را تأمین می‌کند و در مدیریت ۳۰۸ فضای سبز که سالانه ۹۰ میلیون بازدیدکننده دارند مشارکت دارد.

کارشناسان صنعت تعمیرات بتن تخمین می‌زنند که تنها در ایالات‌متحده سالانه ۱۸ تا ۲۱ میلیارد دلار صرف اجرای تعمیر سازه‌های بتنی می‌شود (Vision 2020، ۲۰۰۶م؛ Emmons و Sordyl، ۲۰۰۶م) که از این مبلغ، سالانه حداقل ۱٫۲ میلیارد دلار جهت تعمیرات مخازن بتنی آب، سازه‌های برق-آبی، تأسیسات مدیریت آب و سازه‌های مرتبط به آن‌ها اختصاص می‌یابد (Vision 2020، ۲۰۰۶م).

با این اوصاف، همواره به فرآیندها و ضوابطی جهت نگه‌داری و تعمیر سازه‌های بتنی نیاز خواهد بود. در چاپ اول این راهنما چنین عنوان شده است: «کاملاً واضح است که باید اطلاعات مرتبط با روش‌ها، مصالح و فرآیندهایی که در راهنمای بتن اداره‌ی احیای اراضی (Bureau of Reclamation، ۱۹۷۵م) در رابطه با تعمیر سازه‌های بتنی تشریح شده است، به‌روزرسانی و گسترده‌تر شوند». این مسئله هنوز هم صادق است و روند به‌روزرسانی اطلاعات گفته‌شده، در قالب این راهنما ادامه خواهد داشت. گرچه بسیاری از اطلاعات موجود در راهنمای اصلی امروزه قابل‌استفاده هستند، اما تغییرات قابل‌توجهی نیز در بسیاری از آن‌ها پدید آمده است. این تغییرات نتیجه‌ی برگزاری کارگاه‌های آموزشی و تحقیقات مشترک اداره‌ی احیای اراضی با دیگران[۱] و همچنین دانش کسب‌شده از پروژه‌های میدانی است.

---

[۱] NIST، ۱۹۹۵م و ۱۹۹۹م؛ Naval Facilities Engineering Service Center، ۲۰۰۱م؛ Bureau of Reclamation، ۲۰۰۳م؛ Morency و همکاران، ۲۰۰۵م؛ von Fay و همکاران، ۲۰۰۹م؛ Bissonnette و همکاران، ۲۰۱۲م.

بخش اول این راهنما به تشریح روش‌های نگه‌داری و تعمیر بتن می‌پردازد (فصل‌های ۱ تا ۵) و در واقع مکمل بخش دوم راهنما (پیوست‌ها) یعنی الزامات استاندارد تعمیرات بتن (M-47) است. در بخش اول به عوامل آسیب‌رسان بتن پرداخته می‌شود و توصیه‌هایی در رابطه با انواع روش‌ها و مصالحی که در ترمیم موفقیت‌آمیز آن آسیب‌دیدگی‌ها مؤثر هستند بیان می‌شود. سرانجام، شرح مفصلی از کاربرد، محدودیت و مصالح مربوط به هر یک از روش‌های استاندارد موجود در «الزامات استاندارد جهت تعمیر و نگه‌داری بتن، M-47» ارائه می‌شود.

۱-۱-۱. سیستم تعمیر و نگه‌داری بتن

فرآیند نگه‌داری و تعمیرات بتن پس از اجرای اولین سازه‌ی بتنی زیر نظر اداره‌ی احیای اراضی و در سال ۱۹۰۳م آغاز شد و تاکنون ادامه دارد. متأسفانه، با وجود استفاده از بهترین روش‌ها و باکیفیت‌ترین مصالح موجود در پروژه‌های تعمیراتی مختلف طی سده‌ی اخیر، بسیاری از آن‌ها دچار خرابی شده‌اند. به‌کارگیری یک رویکرد ثابت و منظم در تعمیرات، اولین گام در جهت موفقیت‌آمیز بودن تعمیرات است.

فرآیند تعمیر و نگه‌داری بتن در این راهنما شامل هفت مرحله‌ی اساسی است:

۱. یافتن علت (یا علت‌های) آسیب‌دیدگی
۲. ارزیابی میزان آسیب‌دیدگی
۳. ارزیابی نیاز به اجرای تعمیرات
۴. انتخاب روش و مصالح مناسب جهت تعمیرات
۵. آماده‌سازی بتن آسیب‌دیده پیش از اجرای تعمیرات
۶. اجرای تعمیرات
۷. عمل‌آوری صحیح و کامل مواد تعمیراتی اجراشده

در حال حاضر روش‌ها و سیستم‌هایی مشابه فرآیند بالا جهت تعمیرات بتن وجود دارد. برای مثال، واحد مهندسان ارتش ایالات‌متحده (USACE) در اولین فصل از راهنمایی که با عنوان «ارزیابی و تعمیر سازه‌های بتنی» منتشر کرده‌است (U.S. Army Corps of Engineers، ۱۹۹۵م)، سیستمی مشابه فرآیند بالا ارائه می‌کند. سازمان‌های دیگری همچون موسسه‌ی بتن آمریکا[1] (ACI)، انجمن سیمان پرتلند، انستیتوی بین‌المللی تعمیر بتن[2] (ICRI) و نویسندگان خصوصی (Emmons، ۱۹۹۴م) نیز روش‌های بسیار خوبی برای ترمیم بتن منتشر کرده‌اند.

روش تعمیر هفت مرحله‌ای عنوان‌شده در این راهنما، در طی زمانی طولانی دائماً توسعه‌یافته، اجراشده و مورد ارزیابی قرارگرفته است. این فرآیند برای ترمیم عیوب ایجادشده در حین ساخت‌وساز سازه‌های بتنی تازه‌ساخته‌شده و همچنین بتن قدیمی آسیب‌دیده مناسب است. لازم است که ارزیابی سازه‌ی بتنی مرحله به مرحله و بر اساس ترتیب گفته‌شده انجام شود. تجربه نشان داده است که اغلب اوقات، چگونگی تعمیر یک آسیب‌دیدگی (از چه روش و مصالحی استفاده شود) و هزینه‌ی اجرای تعمیرات اولین موضوعات موردبحث هستند. گرچه یافتن پاسخ این دو سؤال مهم است، اما برای موفقیت‌آمیز بودن تعمیرات، دانستن علت و میزان آسیب‌دیدگی پیش از انتخاب روش و مصالح موردنیاز در تعمیرات ضروری است.

هنگامی‌که سؤالات به ترتیب صحیح پرسیده شوند، می‌توان اطلاعات لازم را جهت طراحی تعمیرات موفقیت‌آمیز به‌دست آورد. البته، اطلاعات جمع‌آوری‌شده باید به‌عنوان بخشی از سیستم سازه‌ای موجود، عامل زوال یا آسیب‌رسانی که سازه دچار آن است و همچنین محیط بهره‌برداری سازه موردتوجه قرار گیرد (Vaysburd و همکاران، ۲۰۱۴م) تا

---

[1] American Concrete Institute
[2] International Concrete Repair Institute

تعمیرات از دوام و ماندگاری بالاتری برخوردار شود. فارغ از اینکه هدف استفاده از سیستم هفت مرحله‌ای عنوان‌شده نگه‌داری از سازه است و یا تعمیر آن، پیروی دقیق از آن‌ها منجر به نتیجه‌ی بهتر و مقرون به‌صرفه‌تری خواهد شد.

۱-۱-۲. نگه‌داری بتن

عموماً تصور می‌شود که بتن نیازی به نگه‌داری ندارد. بتنی که بر اساس روش‌های روز و مصالح مرغوب ساخته می‌شود بسیار بادوام است. در صورت طراحی طرح اختلاط مناسب و اجرای درست، عمرمفید بتن بسیار طولانی است و معمولاً برای مدتی مشخص بدون نیاز به نگه‌داری خاصی می‌توان از آن بهره‌برداری کرد.

با این حال، تعمیر و نگه‌داری بتن جهت افزایش عمرمفید آن ضروری است. بسیاری از سازه‌های بتنی اداره‌ی احیای اراضی بر اساس فناوری‌های اولیه‌ی بتن ساخته‌شده‌اند و بیش از ۵۰ سال در شرایط محیطی سخت از آن‌ها بهره‌برداری شده است. در چنین شرایطی بتن باید به‌طور منظم مورد بازرسی قرار گیرد تا با انجام تعمیرات و نگه‌داری‌های لازم، کارایی آن حفظ شود.

علاوه بر این، بتن تولیدشده با فناوری جدید می‌تواند در محیط‌های بسیار تهاجمی اجرا شود. با ایجاد و اجرای یک برنامه‌ی نگه‌داری دقیق می‌توان عمر چنین بتنی را افزایش داد.

تهیه و اجرای برنامه‌ی نگه‌داری از یک سازه‌ی بتنی جهت افزایش عمرمفید آن، معمولاً بسیار مقرون به‌صرفه‌تر از اجرا نکردن چنین برنامه‌ای است. عدم نگه‌داری مناسب و تعمیر به‌موقع معمولاً منجر به تعمیرات وسیع‌تر و پرهزینه‌تر می‌شود. شکل‌های ۱ و ۲ نمونه‌ای از عواقب نگه‌داری ناکارآمد یا غلط از یک سازه‌ی بتنی را نشان می‌دهند. هزینه‌ی تعمیر این

سازه‌ی آسیب‌دیده، بسیار بیش‌تر از هزینه‌ی برنامه‌ی نگه‌داری پیشگیرانه‌ای است که می‌توانست سرویس‌دهی آن‌ها را افزایش دهد و مانع از بروز چنین خرابی وسیعی شود.

شکل ۱. آسیب‌دیدگی ناشی از یخزدگی-ذوب‌شدن. تدوین یک برنامه‌ی نگه‌داری دقیق می‌توانست از این وضعیت جلوگیری کند.

شکل ۲. تغییر محل خروجی آب می‌توانست به میزان قابل‌ملاحظه‌ای از وسعت آسیب بکاهد.

در طول توسعه‌ی برنامه‌ی تعمیر و نگه‌داری، یا قبل از انجام هرگونه فعالیت‌های خاص نگه‌داری، بهتر است هفت مرحله‌ی فرآیند تعمیر و نگه‌داری بتن مرور شود؛ این مراحل در فصل بعد تشریح شده است. به کمک این رویکرد می‌توان اطمینان حاصل کرد که برنامه و فعالیت‌های مرتبط با نگه‌داری به شکل کارآمدی طرح و اجرا شوند.

یک برنامه‌ی خوب باید شامل بازرسی‌های منظم از سازه باشد. نواحی حساس‌تر باید به‌دقت بررسی شوند. این بازرسی‌ها باید با تصویربرداری و یادداشت‌برداری همراه باشند تا بتوان در صورت نیاز، در آینده به آن‌ها مراجعه کرد.

تولید ابر نقاط سه‌بعدی[1] از وضعیت سازه‌های بتنی به کمک فتوگرامتری یا سایر روش‌ها می‌توانند اطلاعات ارزشمندی را فراهم کنند (Klein، ۲۰۱۴م). از این اطلاعات می‌توان جهت بررسی پیشرفت آسیب‌دیدگی‌ها، تغییر در وضعیت ترک‌ها و یا حرکت دال‌ها و دیوارها استفاده کرد.

بسیاری از فعالیت‌های تعمیر و نگه‌داری سازه‌های بتنی به‌خصوص سازه‌های مجاور آب بر روی دور نگه‌داشتن ترکیبات متهاجم از بتن متمرکز هستند. برنامه‌های نگه‌داری از بتن معمولاً به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که تا جای ممکن نفوذ آب به بتن را محدود کنند؛ این مسئله برای بتن‌های بی‌کیفیت و یا بتن‌های قدیمی که هوادهی نشده‌اند به‌طور ویژه‌ای اهمیت دارد. بسته به کیفیت بتن موجود و شرایط محیطی، آلاینده‌هایی نظیر کلریدها، دی‌اکسید کربن و سولفات‌ها می‌توانند به بتن آسیب برسانند.

تجربه‌ی اداره‌ی احیای اراضی نشان داده است که بخش‌های خاصی از سازه‌های بتنی نسبت به سایر بخش‌ها به میزان بیش‌تری در معرض زوال در اثر یخ‌زدگی قرار دارند. سطوح

---

[1] منظور از ابر نقاط (Point Cloud) مجموعه‌ای از نقاط در سامانه‌ی مختصات سه‌بعدی است که سطح خارجی اجسام را توصیف می‌کنند.

فوقانی دیوارها، اسکله‌ها و عرشه‌ها، ستون‌ها، نرده‌ها و دیواره‌ی جان‌پناه‌ها؛ همچنین جدول‌کاری‌ها، تیرک‌های آستانه، لبه‌ها، سرواره‌ها، قرنیزها، گوشه‌ها و نیز سطوحی که در اقلیم‌های سرد در تماس مستقیم و یا غیرمستقیم با آب هستند از جمله‌ی بخش‌هایی است که آسیب‌پذیری بیش‌تری دارند. با نگه‌داری و محافظت این سطوح به کمک ضدآب کردن آن‌ها با ترکیبات آب‌بندی بتن، می‌توان دوام و قابلیت سرویس‌دهی آن‌ها را به‌طور قابل‌توجهی بهبود داد (رجوع شود به بخش ۴-۱).

پیش از در دسترس بودن مواد و ترکیبات مدرن، بسیاری از سازه‌های بتنی به کمک روغن دانه‌ی کتان، تربانتین و رنگ‌کاری در برابر خرابی ناشی از هوازدگی محافظت می‌شدند. این ترکیبات در صورت اجرای درست در جلوگیری از هوازدگی مؤثر بودند. امروزه ترکیبات آب‌بندی مدرن اجرای آسان‌تری دارند و در محافظت از بتن کارآمدتر هستند. لازم به تذکر است که در حال حاضر استفاده از روغن دانه‌ی کتان توصیه نمی‌شود.

از آب‌بندهای نفوذکننده نظیر سیلان‌ها و سیلوکسان‌ها می‌توان جهت محافظت از سطوح سازه‌های بتنی موجود و یا تازه‌اجراشده استفاده کرد؛ اجرای این ترکیبات از نظر اقتصادی نیز به‌صرفه است. در صورت اجرای صحیح این مصالح آب‌بند، می‌توان بتن را در برابر کلریدها و رطوبت حفظ کرد تا دوام آن در برابر آسیب‌دیدگی ناشی از خوردگی آرماتوربندی و چرخه‌ی یخ‌زدگی-ذوب‌شدن افزایش یابد. اجرای این ترکیبات بر روی سطوح عریان نمای بیرونی ساختمان‌های بتنی، سازه‌های پارکینگ و عرشه‌ی پل‌ها متداول است. ترکیبات آب‌بندی را می‌توان جهت محافظت از تعمیرات اجراشده و یا در زمان ساخت سازه‌ی بتنی، به‌عنوان بخشی از برنامه‌ی نگه‌داری آن بر روی سطوح اعمال کرد.

متاکریلات با وزن مولکولی بالا[1] (HMWM) و اپوکسی‌های مناسب با ویسکوزیته‌ی پایین برای آب‌بندی سازه‌های بتنی (به‌خصوص سازه‌های در مجاورت آب) که در سطح آن‌ها ترک‌های کوچکی وجود دارد مناسب هستند (von Fay و Pepin، ۲۰۱۳م). برای مؤثر بودن این محصولات در تعمیرات باید ویسکوزیته‌ی آن‌ها کم‌تر از ۲۰۰ سانتی‌پویز[2] باشد. در حال حاضر اپوکسی‌های با ویسکوزیته‌ی کم‌تر از ۱۰۰ سانتی‌پویز در دسترس هستند و بسیاری از ترکیبات HMWM نیز ویسکوزیته‌ی زیر ۵۰ سانتی‌پویز دارند. در تعمیر ترک‌های مرطوب، کارآمدی اپوکسی‌ها بیش‌تر از HMWM است، اما این مسئله تابع پیروی از نسبت‌های اختلاط صحیح ازپیش‌تعیین‌شده است. ترکیبات HMWM را می‌توان با نسبت‌های مختلفی مخلوط کرد تا زمان‌گیرش به مقدار دلخواه نزدیک شود. این مواد در چسباندن لبه‌های ترک‌های کوچک به هم و بیرون نگه‌داشتن رطوبت از محل ترک‌خوردگی بسیار خوب عمل می‌کنند.

انتخاب مؤثرترین روش محافظت از بتن تا حد قابل‌توجهی به ارزیابی صحیح شرایط محیطی بتن بستگی دارد. برای مثال، ترکیبات و پوشش‌های آب‌بندی بتن که در محیط‌های خشک به‌خوبی مانع از هوازدگی بتن می‌شوند، ممکن است در صورت اجرا در شرایط محیطی مرطوب (نظیر حاشیه و نرده‌ی پل‌ها، دیوارهای حوضچه‌های آرامش و اسکله‌ها) عملکرد ضعیفی داشته باشد. انواع مختلفی از ترکیبات و پوشش‌های آب‌بندی بتن شامل روغن دانه‌ی کتان، فلوسیلیکات‌ها، رنگ‌های اپوکسی و لاتکس، لاستیک کلردار، ترکیبات ضدآب و آب‌بندهای نفوذکننده در آزمایشگاه تحت چرخه‌ی یخزدگی-ذوب‌شدن ارزیابی شده است. این آزمایشات نشان می‌دهد که اپوکسی‌ها، سیلوکسان‌ها و سیلان‌ها و ترکیبات

---

[1] High molecular weight methacrylate

[2] پویز یا پوآز (poise) واحد ویسکوزیته در دستگاه CGS است و با cP یا cps نمایش داده می‌شود. یک پویز معادل یک‌دهم پاسکال-ثانیه (Pa·s) در دستگاه SI است.

HMWM در شرایط حضور آب، به‌وضوح در برابر خرابی ناشی از یخ‌زدگی-ذوب‌شدن مقاومت بیش‌تری دارند. با این حال، هیچ‌یک از این ترکیبات بتن را کاملاً ضدآب نخواهد کرد (به‌عنوان مثال، این ترکیبات مانع از جذب آب و در نتیجه اشباع‌شدن بتنی که در شرایط غوطه‌وری طولانی‌مدت و یا کامل قرار دارد نخواهند شد).

در شرایط محیطی معمولی، ترکیبات آب‌بندی بتن معمولاً روی سازه‌های بتنی جدید اعمال نمی‌شوند. این ترکیبات معمولاً بر روی سطوح بتن‌های قدیمی و پس از نمایان شدن اولین نشانه‌های هوازدگی در آن‌ها اجرا می‌شوند. بهتر است که این روش پیش از اینکه زوال بتن به مرحله‌ای برسد که مواد آب‌بندی نتواند از سرعت فرآیند زوال به‌طور مؤثری بکاهد و یا آن را کاملاً متوقف کند، استفاده شود. هوازدگی عمدتاً در ابتدا به‌صورت ترک‌خوردگی‌های سطحی ریزی نمایان می‌شود که در نزدیکی و به‌موازات لبه‌ها و گوشه‌های سازه‌های بتنی ایجاد می‌شوند. ممکن است پس از مشاهده‌ی ترک‌های سطحی الگودار [1]، پوسته‌پوسته‌شدن [2] سطح یا جداشدن ماسه از سطح (ماسه‌ریزی) [3] و ترک‌خوردگی ناشی از آب‌رفتگی [4] نیاز به حفاظت از بتن بیش از پیش آشکار شود. با نگه‌داری و ترمیم بخش‌های آسیب‌پذیر سطح بتن در مراحل اولیه‌ی خرابی، ممکن است از تعمیرات بعدی جلوگیری شود و یا حداقل نیاز به تعمیرات به تعویق بیفتد.

نگه‌داری از بتن می‌تواند شامل ایجاد تغییرات در عملکرد تأسیسات برای محافظت از آن نیز باشد. عمرمفید بتنی که در معرض آسیب‌دیدگی ناشی از چرخه‌ی یخ‌زدگی-ذوب‌شدن است را می‌توان با کاهش تعداد چرخه‌های انجماد و ذوب و درحالی‌که بتن کاملاً اشباع‌شده‌است افزایش داد. این کار را می‌توان با عایق‌بندی بتن یا با ایجاد تغییر در فرآیند

---

[1] Pattern cracking
[2] Scaling
[3] Spalling
[4] Shrinkage cracking

سرویس‌دهی آن از طریق نگه‌داشتن نواحی حساس بتن در زیر آب (که مانع از یخ زدن آن بخش می‌شود) در هوای سرد، یا تغییر عمق آب در طول سال برای جلوگیری از متمرکز شدن آسیب‌دیدگی در یک تراز از عضو بتنی انجام داد (شکل ۳).

شکل ۳. با تغییر در عملکرد تأسیسات و در نتیجه تغییر سطح آب در طول چرخه‌های یخ‌زدگی و ذوب‌شدن، ممکن بود از وسعت آسیب‌دیدگی کاسته شود.

بتنی که در مجاورت جریان آب با سرعت بالا قرار دارد، نیازمند تدابیر ویژه‌ای است. در چنین شرایطی جابه‌جایی‌های کوچک در درزهای سازه‌ای، ترک‌ها و یا منافذ سطحی بتن، می‌تواند منجر به آسیب حفره‌زدگی در بتن شود. سوراخ‌ها و نامنظمی‌های سطحی باعث جدا شدن جریان آب از سطح بتن و در نتیجه تشکیل حباب‌های بخار در آب می‌شوند. هنگامی‌که این حباب‌ها در پایین‌دست فرومی‌ریزند، نیروهای بزرگی به بتن وارد می‌کنند که نه‌تنها بتن، بلکه فولاد آرماتوربندی را هم از جا کنده و تخریب می‌کنند.

ناصافی‌های سطحی، سوراخ‌ها و حفره‌زدگی‌های کوچک در سازه‌هایی که در مجاورت جریان‌های آب با سرعت بالا هستند باید پیش از وسعت پیدا کردن و ایجاد آسیب جدی، طبق برنامه‌ی منظم و دقیق تعمیر و نگه‌داری ترمیم و اصلاح شوند. هیچ ماده یا مصالحی نمی‌تواند برای همیشه در برابر حفره‌زدگی مقاومت کند؛ بنابراین، راه‌حل طولانی‌مدت

جلوگیری از حفره‌زدگی، مدیریت جریان آب جهت مانع‌شدن از ایجاد شرایطی است که باعث خرابی حفره‌زدگی می‌شوند.

شکل دیگری از آسیب‌دیدگی ناشی از جریان آب، سایش-فرسایش است. ذرات گل‌ولای، شن و سنگ درون آب جاری، حتی در سرعت‌های بسیار پایین، می‌توانند با ضربه زدن و سایش، بتن را فرسوده کرده و حتی آن را از بین ببرند.

کاهش ذرات و مصالحی که توسط آب حمل می‌شوند می‌تواند یکی از اهداف برنامه‌ی نگه‌داری باشد. توری‌های صاف‌کننده‌ی آب و حوضچه‌های ته‌نشینی در مدخل آبریزها می‌توانند در پیشبرد چنین هدفی کمک کنند. در بعضی موارد نیز به دیوارهای حائلی جهت حفاظت از آب در برابر لغزش سنگ‌های حاشیه‌ی مسیر و نرده‌هایی برای جلوگیری از پرتاب سنگ به درون آب توسط عابران نیاز است. جمع شدن سنگ‌ها و سایر مصالح و آوار در حوضچه‌های آرامش می‌تواند سبب ایجاد حرکتی مشابه حرکت آسیاب گلوله‌ای[1] شود که در آن سنگ‌دانه‌های کوچک و بزرگ بر روی‌هم حرکت می‌کنند و به سطح بتن ضربه می‌زنند و موجب آسیب‌دیدگی می‌شوند. حذف این سنگ‌دانه‌ها از حوضچه‌های آرامش باید بخشی از نگه‌داری روتین باشد. یک راه‌حل بلندمدت می‌تواند شامل تغییر در سازه‌ی حوضچه‌ی آرامش باشد، به‌نحوی‌که از ورود و یا به دام انداختن سنگ‌دانه‌ها و آوار به درون حوضچه جلوگیری شود.

۱-۱-۳. الزامات عمومی جهت اجرای تعمیرات باکیفیت

اصطلاح «تعمیر بتن» به هرگونه تعویض و جایگزینی، ترمیم یا نوسازی بتن یا سطح بتنی پس از اجرای اولیه‌ی آن گفته می‌شود. تعمیرات بتن می‌تواند بخشی از فعالیت‌های نگه‌داری بتن باشد.

---

[1] Ball mill

از نظر تاریخی، ترمیم بتن حداقل به همان اندازه که مبتنی بر علم بوده است، مبتنی بر تجربه نیز بوده است. آموزش‌های خاص مربوط به ترمیم بتن یا محدود بود و یا اصلاً وجود نداشت و این دانش عموماً حاصل سال‌ها تجربه بود که با زحمت بسیار به‌دست می‌آمد. امروزه افراد بسیاری در صنعت تعمیر بتن در تلاش‌اند تا با بهبود روش‌ها، دانش و آموزش‌های مرتبط، این وضعیت را تغییر دهند (Vision 2020، ۲۰۰۶م).

درحالی‌که این راهنما روش‌هایی برای بهبود قابل‌توجه میزان موفقیت تعمیرات بتن ارائه می‌دهد، همچنان بسیاری از تعمیرات با شکست روبرو می‌شوند و میزان خرابی تعمیرات انجام‌شده بر روی سازه‌های بتنی به شکل غیرقابل‌قبولی بالا است (Goodwin، ۲۰۰۸م)؛ بنابراین، پیش از شروع تعمیرات، باید روش و مصالح پیشنهادشده جهت تعمیرات، توسط شخصی آگاه و آموزش‌دیده در این زمینه تأیید شوند. درک همه‌ی مسائل مربوط به سازگاری مصالح تعمیراتی با بتن بستر، شرایط محیطی و شرایط بهره‌برداری و همچنین نحوه‌ی تعامل این عوامل باهم، برای دستیابی به تعمیرات موفقیت‌آمیز حائز اهمیت است (Vaysburd و همکاران، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵م).

با وسیع شدن صنعت تعمیرات بتن، طیف گسترده‌ای از مواد تعمیراتی بر پایه‌ی سیمان توسط تولیدکنندگان مختلف روانه‌ی بازار شده است. انتخاب محصول مناسب از بین این طیف گسترده‌ی محصولات کاری دشوار است، زیرا اغلب اطلاعات موردنیاز جهت تصمیم‌گیری به‌راحتی در دسترس نیستند. تولیدکنندگان این مواد همیشه همه‌ی اطلاعات محصول خود را به‌طور کامل و دقیق ارائه نمی‌کنند؛ ضمن اینکه هر یک از این تولیدکنندگان اطلاعات محصول را به شکل متفاوتی از سایر رقبا ارائه می‌کند که همین مسئله مقایسه‌ی محصولات عنوان‌شده را غیرممکن می‌سازد. به همین دلیل، باید تنها موادی را انتخاب کرد که مطابق پروتکل‌های ACI (ACI 364.3R، ۲۰۰۹م) یا ICRI (ICRI 320.3R، ۲۰۱۲م) آزمایش‌شده‌اند.

هر یک از نقص‌های جزئی نظیر سوراخ یک پیچ یا میله‌ی‌مهار قالب‌بندی، هوازدگی معمولی یا خرابی‌های وسیع که در اثر عوامل آسیب‌رسان شیمیایی یا فیزیکی، انرژی مخرب آب و یا خرابی‌های سازه‌ای ایجادشده‌اند، به‌دلیل ویژگی‌های مختص به خود، روش‌های تعمیراتی خاصی نیاز دارند. گرچه ممکن است جزئیات توصیف‌شده در فرآیند تعمیرات در ابتدا غیرضروری به‌نظر برسد، اما تجربه نشان داده است که پس از حذف یک یا چند گام از عملیات تعمیرات و یا اجرای آن‌ها با بی‌دقتی، سرویس‌پذیری کل تعمیرات دچار آسیب خواهد شد. عدم مهارت مجریان و استفاده از روش‌ها یا مصالح نامناسب منجر به تعمیرات بی‌کیفیت می‌شود که به‌احتمال‌زیاد عمر کوتاهی نیز خواهند داشت.

۱-۱-۳-۱. مهارت مجری تعمیرات

تجربه و مهارت مجریان در موفقیت پروژه‌ی ترمیم/تعمیر بتن بسیار مؤثر است، زیرا بیش‌تر مراحل تعمیرات شامل فعالیت‌هایی است که صرفاً انجام آن‌ها توسط انسان ممکن است. وظیفه‌ی تعمیرکاران، اجرای تعمیراتی بادوام و بدون ترک‌خوردگی (پس از سخت‌شدن مصالح تعمیراتی) است که با سطح موجود (بتن بستر) بیش‌ترین میزان چسبندگی را دارند. پیش از اجرای تعمیرات، لازم است که جزئیات روش تعمیر بتن و دلایل اجرای هر یک از مراحل روش انتخاب‌شده، برای مجریان تعمیرات کاملاً تشریح‌شده و آموزش داده شود. باید تعمیرکاران را با جنبه‌های حساس تعمیرات آشنا کرد. همچنین، نحوه‌ی اجرای فرآیند تعمیرات توسط مجریان باید از نظر انطباق با استانداردهای موجود دائماً مورد بازرسی قرار گیرد. برخی از تولیدکنندگان مصالح تعمیراتی تنها در صورتی موفقیت تعمیرات انجام‌شده با محصول خود را تضمین می‌کنند که مجریان تعمیرات از سوی آن‌ها تأیید شوند.

۱-۱-۳-۲. روش‌ها

تعمیرات بتن تنها در صورتی موفقیت‌آمیز و قابل بهره‌برداری است که بر اساس روش‌های مناسب و تکنیک‌های فنی دقیق اجرا شده‌باشد. انتخاب روش یا فرآیندهای

نادرست و یا ناکارآمد تعمیراتی، در کنار مجریان بی‌تجربه و ضعیف، منجر به تعمیرات بی‌کیفیت خواهد شد. گرچه در این راهنما بسیاری از روش‌های تجربه‌شده و علمی جهت اجرای تعمیرات باکیفیت شرح داده‌شده‌است؛ با این حال، به همه‌ی روش‌های موجود اشاره‌نشده‌است. از این‌رو، مجریان تعمیرات موظف هستند که از روش‌هایی استفاده کنند که موفقیت‌آمیز بودن آن‌ها اثبات‌شده‌است و ضریب اطمینان بالایی دارند و یا در صورت عدم وجود روش مناسب، طرح تعمیرات جدید از پیش به‌دقت ارزیابی و فرآیند اجرای آن دقیقاً برنامه‌ریزی شود.

در صورت امکان، تعمیرات باید در اسرع‌وقت و پس از ایجاد اولین نشانه‌های آسیب‌دیدگی انجام شود. تعمیر آسیب‌دیدگی بتن تازه‌اجراشده، باید بلافاصله پس از بازکردن قالب‌ها و درحالی‌که بتن هنوز مرطوب است انجام شود تا بهترین پیوند بین مصالح تعمیراتی و بتن حاصل شود؛ در این صورت، دوام و عمرمفید تعمیرات احتمالاً بیش‌تر از معمول خواهد بود. به همین دلیل، تعمیرات بتن تازه‌اجراشده باید ظرف ۲۴ ساعت پس از بازکردن قالب‌بندی‌ها و حداکثر تا ۷۲ ساعت پس از اجرای بتن انجام شوند. در این نوع تعمیرات، تنها می‌توان عمل‌آوری آن بخش از بتن تازه که باید تعمیرات بر روی آن انجام شود را به تعویق انداخت؛ البته، باید عمل‌آوری را بلافاصله پس از اتمام فرآیند تعمیرات دوباره آغاز کرد.

تنها زمانی می‌توان عمر طولانی تعمیراتی که بر روی بخش‌های آسیب‌دیده و یا دچار زوال شده‌ی بتن اجرا می‌شود را تضمین کرد که پیش از انجام تعمیرات، این بخش‌ها کاملاً تخریب شوند (Bissonnette و همکاران، ۲۰۱۲م)، بتن آماده‌سازی شود (Morency و همکاران، ۲۰۰۷م) و در نهایت، تعمیرات مطابق با روش‌های استاندارد و یا تأییدشده با کمال دقت اجرا گردند. از این‌رو، اجرای موفقیت‌آمیز تعمیرات در گروی داشتن زمان کافی و در دسترس بودن کارکنان باتجربه و امکانات مناسب است. هر بخش از تعمیرات تنها باید به

میزانی اجرا شود که فرصت تکمیل و اجرای درست و دقیق آن ممکن باشد؛ در غیر این صورت، باید تعمیرات را به تعویق انداخت، اما نه به آن اندازه که بتن دچار آسیب بیش‌تری شود. تعمیر بتن باید بلافاصله پس از بروز اولین نشانه‌های آسیب‌دیدگی انجام شود.

درزهای سازه‌ای موجود در بتن آسیب‌دیده باید در لایه‌ی تعمیراتی نیز اجرا و حفظ شوند (شکل ۴). حتی در تعمیرات کم‌عمق یا سطحی نیز درزهای سازه‌ای باید حفظ شوند. اگر مصالح تعمیراتی، محل درز در بتن بستر را بپوشانند، لایه‌ی تعمیراتی حداقل در محل درز ترک خواهد خورد. در تعمیرات کم‌عمق یا سطحی، ترک‌های موجود در سطح بتن بستر ممکن است در لایه‌ی تعمیراتی نمایان شوند.

شکل ۴. جهت حفظ درزهای سازه‌ای در لایه‌ی تعمیراتی، از قالب‌بندی استفاده‌شده‌است.

۱-۱-۳-۳. مصالح

مصالح و موادی که در تعمیر بتن استفاده می‌شوند باید باکیفیت باشند و الزامات مربوط به تعمیرات را برآورده کنند. پیش از تعمیرات، باید گزارش کنترل کیفیت یا گزارش تست‌های آزمایشگاهی را از تأمین‌کننده یا تولیدکننده‌ی محصول دریافت کرد تا از کیفیت محصولات و مناسب‌بودن آن‌ها برای تعمیرات اطمینان حاصل شود. درصورتی‌که این

اطلاعات موجود نباشند، باید تأییدیه‌های محصول را از تأمین‌کننده دریافت کرد تا مفاد آن از نظر تطابق با الزامات موردنظر در تعمیرات بررسی شود.

هنگام برنامه‌ریزی برای تعمیرات، روش‌ها و مواد استاندارد توصیف‌شده در این راهنما همیشه باید در اولویت اولین انتخاب باشند. با توجه به هزینه‌ی زیاد تخریب بتن و سپس انجام تعمیرات با مواد جدید یا مواد آزمایش‌نشده، تنها در صورتی می‌توان از این نوع مصالح در تعمیر بتن استفاده کرد که این دو ضابطه برآورده شوند:

- مصالح و روش‌های استاندارد جهت انجام تعمیرات نامناسب تشخیص داده‌شده‌باشند.
- صاحبان و همه‌ی طرفین ذی‌نفع در تعمیرات باید از دلایل نیاز به استفاده از مواد غیراستاندارد و مخاطرات استفاده از آن مطلع شوند.

محصولات کارخانه‌ای و انحصاری متعددی برای استفاده در تعمیرات با ضخامت کم در دسترس هستند. باید پیش از انتخاب محصول موردنظر، داده‌های مربوط به آن را به‌دقت بررسی کرد. در تبلیغات بسیاری از این محصولات عنوان می‌شود که سریعاً به مقاومت بالا دست می‌یابند، اما در بسیاری از روش‌های تشریح‌شده در این راهنما، سرعت افزایش مقاومت اهمیت چندانی ندارد. در بیش‌تر تعمیرات، نه‌تنها نیازی به افزایش سریع مقاومت نیست بلکه در بسیاری از موارد این افزایش سریع مقاومت می‌تواند منجر به کاهش دوام تعمیرات شود. هنگام مقایسه‌ی محصولات مختلف، باید آن‌ها را بر اساس ضوابط راهنمای ICRI 320.3 (ICRI 320.3RT، ۲۰۱۲م) و یا ACI 364.3R-09 (ACI 364.3R، ۲۰۰۹م) ارزیابی کرد. به‌این‌ترتیب، مجریان تعمیرات می‌توانند اطمینان حاصل کنند که محصولات تولیدکنندگان مختلف طبق استانداردهای مشابهی ارزیابی و آزمایش شده‌اند.

محصولات کارخانه‌ای و اختصاصی که جهت اجرای تعمیرات انتخاب می‌شوند، باید طبق توصیه‌های تولیدکننده‌ی محصول و یا سایر روش‌های تأییدشده به‌کار گرفته شوند. در بسیاری از مواقع، تغییرات جزئی در روش و نسبت‌های اختلاط این محصولات می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی خصوصیات فنی آن‌ها را دستخوش تغییر کند. مخلوط کردن، نسبت‌های اختلاط، جابه‌جایی و اجرای این محصولات باید مطابق با بالاترین استانداردهای اجرایی و فنی انجام شود.

علاوه بر این، محصولات و فن‌آوری‌های بسیاری جهت کاهش خوردگی فولاد آرماتوربندی درون بتن در زمان اجرای تعمیرات وجود دارد. محصولاتی که برای کنترل و یا جلوگیری از خوردگی فولاد آرماتوربندی در نظر گرفته‌شده‌اند، باید بر اساس داده‌های ارائه‌شده در استاندارد M-82، «پروتکل استاندارد برای ارزیابی عملکرد فن‌آوری‌های کاهنده‌ی خوردگی در تعمیرات بتن» (Bureau of Reclamation، 2014)، ارزیابی شوند.