

جزوه کمک آموزشی

تقویت و ترمیم سازه ها

دکتر حر خسروی

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

بخش دوم:

ترمیم سازه ها

فصل اول:

مصالح بازسازی رویه و وصله کاری

جایگزینی بتن معیوب و ورآمده برای ایجاد یک محیط محافظ با دوام در اطراف میلگردها اهمیت بسیاری دارد. لذا بتن مسلح خراب شده باید با مصالح سیمان قلیایی نفوذناپذیر که ویژگی آن با بتن اصلی بسیار نزدیک است تعمیر شود. در موارد بسیاری، استفاده از پلیمرها مناسب تر است.

خصوصیات اصلی مصالح تعمیر

- (1) مصالح تندگیر و با مقاومت یابی سریع: به علت لزوم حداقل زمان لازم برای تعمیر
 - (2) غلبه بر خاصیت انقباض بتن: انقباض را می توان با استفاده از مصالح پلیمری، افزودنی های منبسط شونده در مخلوط یا پیش انقباض در ملات جبران کرد.
 - (3) ایجاد پیوند مناسب با بتن: جهت تامین چسبندگی با لایه بتن زیرین در سیستم های سیمانی
 - (4) مواد با روانی بسیار زیاد و خود تراز شونده: به علت مشکلات دسترسی
- * به دلیل استفاده از سیستم های رزینی سخت کننده 100 درصد جامد، محصولات پلیمری که حاوی سنگدانه و پرکننده هستند، انقباض ناچیزی دارند.
- * تامین چسبندگی با لایه بتن زیرین در سیستم های سیمانی با استفاده از (1) اندودهای پیوندی دوغاب سیمانی یا دوغاب سیمانی-لاتکسی و (2) سیستم های پلیمری که چسبندگی فوق العاده ای دارند، بهبود می یابد.

سایر ویژگی های مصالح وصله کاری عبارتند از:

- (1) باید به اندازه مصالح پیرامونی خود پایا باشد.
- (2) باید حداقل آماده سازی در محل کار را داشته باشد.

- (3) باید در دامنه شرایط حرارتی و رطوبتی وسیعی، کارآمد باشد.
- (4) باید از نظر شیمیایی با بتن زیرین سازگار باشد.
- (5) باید رنگ و بافت سطحی مشابه، با مصالح پیرامونی داشته باشد.

انواع مصالح وصله کاری:

1: مصالح سیمانی

2: بتن و ملات پلیمری: (1) ملات اصلاح شده با لاتکس (2) ترکیبات اپوکسی (3) رزین های پلی استر (4) بتن و ملات اکریلیک

3: ترکیبات با گیرش سریع: (1) ترکیبات سیمان دار پرآلومین (2) فسفات های منیزیم (3) گوگرد گداخته (4) مواد با پایه سولفات کلسیم

4: مواد قیری

5: دوغاب ها: (1) مخلوط اسمی ماسه سیمان (2) دوغاب های گازدار (3) دوغاب های سولفو آلومینات

(4) دوغاب های مسلح به الیاف (5) دوغاب های با سنگدانه فلزی (6) دوغاب های پلیمری (7) اکریلات و اورتان

6: مواد چسباننده: (1) امولسیون لاتکسی (2) مواد چسباننده اپوکسی 100 درصد جامد

1- مصالح سیمانی

مزیت های استفاده از مصالح سیمانی:

(1) تشابه تغییر شکل حرارتی با بتن (2) تشابه ظاهر (3) هزینه (4) سهل الوصول بودن و آشنایی

معایب استفاده از مصالح سیمانی:

- انقباض زیاد و گرایش به ترک خوردگی در صورت عدم کنترل دقیق رطوبت و بی توجهی به عمل آوری مناسب
- در هوای خنک و سرد، توسعه مقاومت بسیار کند است.

کاربرد بتن، ملات و دوغاب:

از بتن برای جایگزینی کامل قطعات سازه ای و حفره های عمیق تا زیر میلگرد استفاده می شود.

از ملات برای حفره هایی به عمق حداکثر 38/1 میلی متر استفاده می شود.

از دوغاب روانی بالا برای فواصل آزاد حداقل استفاده می شود.

* در ترمیم با مصالح سیمانی از سیمان با مقاومت اولیه بالا (تیپ 3) استفاده شده، و بیشتر آن ها حاوی ماده
منبسط شونده (مثل پودر آلومینیم، پودر کک، اکسید کلسیم) است.

* ماده منبسط شونده از طرفی موجب تماس خوب با بتن زیرین شده، فضا را پر کرده و پیوند خوبی ایجاد می
کند و از طرف دیگر انقباض ناشی از حالت پلاستیک و خشک شدگی را جبران می کند.

* ماده منبسط شونده می تواند در مرحله پلاستیک یا پس از سخت شدن منبسط شود.

* میزان انبساط در مصالح سیمانی محدودیت دارد. به نحوی که تنش های فشاری ایجاد شده توسط بتن قبلی
قابل تحمل باشد. البته در پی خشک شدن و انقباض بتن، تنش های فشاری ایجاد شده آزاد می شود.

* سیمان با مقاومت اولیه بالا (تیپ 3) با مخلوطی از افزودنی های فوق خمیری و شتاب دهنده های غیرکلریدی
(مثل نفتالین یا ملامین، نیترات ها، نیتريت ها، سولفات یا کربنات سدیم) می تواند زمان گیرش و روند افزایش

مقاومتی سریع تری از سیمان تیپ 3 داشته باشد.

2- بتن و ملات پلیمری

بتن پلیمری از آمیختن سنگدانه های ریز و درشت در زمینه پلیمریزه تشکیل شده است. بتن و ملات پلیمری شامل دو دسته هستند:

(1) امولسیون های لاتکسی که با سیمان پرتلند هیدراته به کار می روند.

(2) سیستم های فاقد چسباننده از نوع سیمان پرتلند هستند (بتن و ملات اکریلیک).

2-1- ملات اصلاح شده با لاتکس

در این ملات افزودن یک لاتکس ترکیبی به مخلوط سیمانی موجب (1) مقاومت چسبندگی بیشتر، (2) عمل آوری سریع تر، (3) انعطاف پذیری بیشتر (4) مقاومت کششی بهتر می شود.

* افزودنی های لاتکس عبارتند از:

(1) امولسیون های اپوکسی

(2) استایرن بوتادین

(3) پلی وینیل استات

(4) آکریلیک ها

* این ملات برای وصله کاری در سطوح وسیع کاربرد دارد.

* لاتکس معمولاً کمتر از 20% وزن سیمان در مخلوط استفاده می شود و در مقاطعی با ضخامت 50-12 میلی متر به هر دو صورت افقی و قائم به کار می رود.

* سطوحی که در این وصله به کار می روند باید 12 ساعت قبل از ملات ریزی، کاملاً خیس و تمام آب آزاد روی سطح حذف شود. سپس دوغاب سیمانی آبی/لاتکس 50/50 روی سطح کشیده شده و ملات ریزی انجام شود.

* پوسته سطحی مخلوط اصلاح شده با لاتکس به سرعت شکل می گیرد و ماله کشی شدید معمولاً به پارگی رویه منجر می شود. زمان پرداخت را می توان با "نم زدن مجدد" سطح به وسیله یک محلول رقیق لاتکس و آب افزایش داد.

* سطح تازه را باید در برابر آفتاب محافظت و برای عمل آوری پوشاند و در دمای معمولی (20 تا 23 درجه) پس از 72 ساعت قابل استفاده است.

* اگر محل وصله کاری، ترک یا درز با عمق بیش از 9 میلی متر داشته باشد؛ مصالح وصله کاری ترک را پر نمی کند (مقاومت کششی وصله بیشتر از مقاومت پیوند مصالح تعمیر است).

2-2- ترکیبات اپوکسی

چسباننده های رزینی قوی هستند که از دو جز تشکیل شده اند و شامل یک قسمت مخلوط رزین اپوکسی و سخت کننده با 3 قسمت ماسه است. برخی از ترکیبات اپوکسی جهت ملات عبارتند از (1) اپوکسی های سیاه رنگ قطران زغال سنگ (2) اپوکسی های کرم رنگ مشتق از نفت (3) اپوکسی های پلی سولفاید با رنگ کهربایی روشن (بین نارنجی و زرد) تا خاکستری تیره.

* برای حفره های عمیق، ملات اپوکسی اقتصادی تر از اپوکسی است.

* ترکیبات اپوکسی را به علت چسبندگی قوی، می توان به صورت لایه های خیلی نازک ریخت که در برابر بارهای ضربه ای زیاد (حتی در لبه تیز و بالقوه شکننده) مقاومت می کنند.

* امکان استفاده از ملات اپوکسی در مقاطع ضخیم به دو دلیل وجود ندارد:

1) ملات اپوکسی با ضخامت بیش از 10 میلی متر در سطوح وسیع بسیار پرهزینه است.

2) تفاوت زیاد ضریب انبساط حرارتی اپوکسی و بتن باعث عدم استفاده آن در مقاطع ضخیم می شود.

* از نظر اقتصادی، در بازسازی وسیع یک لایه نازک اپوکسی یا دوغاب سیمانی لاتکسی برای چسباندن سیمان جدید به بستر کافی است.

* زمان بهره برداری 24 ساعت بعد از ریختن ملات است که این مدت با سیستم عمل آوری سریع تر به 4 تا 5 ساعت کاهش می یابد.

مزیت های ملات اپوکسی:

- (1) سرعت عمل آوری، (2) روند سریع تر افزایش مقاومت، (3) مقاومت بالا، (4) مقاومت در برابر مواد شیمیایی مهاجم، (5) مقاومت چسبندگی بالا، (6) دوام طولانی.

محدودیت های ملات اپوکسی:

- (1) حساسیت رطوبتی و حرارتی، که می تواند در عملکرد دراز مدت مرمت تاثیر بسیار داشته باشد.
- (2) ترک خوردگی انقباض ناشی از حرارت زایی زیاد در ملات

* اپوکسی های پلی سولفاید که می توانند در حضور رطوبت عمل می آیند، غالباً برای چسباندن بتن تازه سخت شده به صورت درجا استفاده می شوند. غشایی از اپوکسی به ضخامت 5 تا 10 میلی متر روی سطح بستر تمیز ریخته می شود و بتن جدید، قبل از سخت شدن اپوکسی، بر آن جای داده می شود.

2-3- رزین های پلی استر

وصله کاری از خانواده رزین های پلی استر به گستردگی اپوکسی استفاده نشده است و با واکنش بین پایه رزین و اندکی کاتالیزور سخت می شوند. نمونه پلی استرها متیل متاکریلات و وینیل استر هستند. ترکیبات شامل وینیل استر باعث افزایش طاقت، مقاومت در برابر ضربه و مقاومت شیمیایی می شوند.

مزیت رزین های پلی استر:

- (1) سریع تر از اپوکسی عمل می آیند.
- (2) کمتر از اپوکسی ها به درجه حرارت پایین حساسند به طوری که در دمای 6- درجه سانتی گراد و کمتر نیز به کار می رود.

محدودیت های رزین پلی استر:

(1) انقباض آن ها از اپوکسی ها بیشتر است. بنابراین اندازه وصله، در صورت کار با آن ها به قطعات نازک و سطوح کوچک محدود است.

(2) کنترل دقیق نسبت ها و اختلاط آن ها مشکل تر از اپوکسی ها است.

2-4- بتن و ملات اکریلیک

پرکاربردترین مصالح وصله کاری از این نوع، مونومرهای اکریلیک هستند. بتن و ملات اکریلیک نه حاوی آب است نه سیمان، بلکه سنگدانه در آن با یک پلیمر اکریلیک به هم می چسبند. در حقیقت در طی عمل آوری، مولکول های مونومر اکریلیک به هم می چسبند و زنجیر طولی از یک پلیمر اکریلیکی می سازند. انواع مونومر استفاده شده در ملات اکریلیک عبارتند از: (1) متیل متاکریلات MMA (2) متاکریلات با وزن مولکولی زیاد HMWM که یک ماده نسبتاً جدید است.

* مقایسه MMA با HMWM:

HMWM	MMA
1- نقطه اشتعال بالا	1- نقطه اشتعال پایین
2- بویی که خیلی تند نیست	2- بویی غیر سمی ولی غیر قابل تحمل
3- کمتر از MMA فرار است و تبخیر نمیشود	3- فرار است و زمان کاربری کوتاهی دارد

* مونومر اشباع نشده HMWM را می توان روی بتن ریخت تا ترک ها را به هم وصل کند و قبل از نفوذ ترک ها تبخیر نمی شود.

* بتن و ملات اکریلیک با ملات اصلاح شده لاتکسی اکریلیک فرق دارد، چون دومی از ترکیب یک پلیمر (نه مونومر) در بتن سیمان پرتلند ساخته می شود.

* بسته فرآورده نمونه از این ملات اکریلیک مشتمل است بر:

(1) مونومر: که حاوی بازدارنده ای برای جلوگیری از پلیمریزاسیون است.

(2) راه انداز: که در موقع اختلاط برای فعال کردن فرآیند پلیمریزاسیون افزوده می شود.

(3) پیش برنده: که برای سرعت دادن به فرآیند می باشد.

(4) کیسه 25 کیلوگرمی سنگدانه

* از این فرآورده به دو روش استفاده می شود:

- در روش اول تمام اجزای محصول را می توان مخلوط کرد و ریخت.

- در روش دوم مونومر را روی سطح وصله که با سنگدانه پیش چیده، پاشیده شده است می ریزند.

* ملات اکریلیک معمولاً برای سطوح و قطعات تعمیراتی استفاده می شوند که وسیع تر و بزرگتر از آن هستند که برای تعمیر با ملات اپوکسی مناسب باشند.

* چون پیوند با سنگدانه در اثر آب از بین می رود، سنگدانه ها را باید عملاً با رطوبت کمتر از 1% به کار برد و هیچ آبی نباید به مخلوط اضافه کرد.

* کمی پس از ریختن MMA لایه ای روی سطح شکل می گیرد که این لایه نباید شکسته شود زیرا تبخیر و احتمال آتش گرفتگی را کاهش می دهد.

3- ترکیبات با گیرش سریع

کاربرد ترکیبات با گیرش سریع عبارتند از:

- 1- برای سطوحی که ترافیک سنگین دارند، مانند جاده ها، پل ها، باند هواپیما و ...
- 2- برای عمل آوری در طول دوره سرما یا سطوحی که در معرض هوای سرد قرار دارند مانند کف سردخانه های مواد غذایی

3-1- ترکیبات سیمان دار پر آلومین

از اختلاط سیمان پر آلومین با سیمان پرتلند به دست می آید که دارای زمان گیرش و مقاومت شتابدار و مقاومت در برابر سولفات و مقاومت بیشتر در برابر آتش می باشد. البته سیمان های پر آلومین حدودا 3 تا 4 برابر گران تر از سیمان تیپ سه هستند.

ضعف سیمان پر آلومین: ضعف این سیمان "واکنش تبدیل" است که سبب افزایش تخلخل و کاهش شدید مقاومت بتن می شود.

* واکنش تبدیل زمانی رخ می دهد که بتن با سیمان پر آلومین در شرایط رطوبت زیاد و دمای بیش از 20°C مورد بهره برداری قرار می گیرد. همچنین افزایش تخلخل در اثر واکنش تبدیل، مصالح را نسبت به حملات شیمیایی آسیب پذیر می کند.

3-2- سیمان فسفات منیزیم

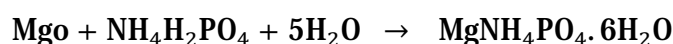
این مصالح، تندگیر همراه با افزایش مقاومت سریع هستند. در دمای 22°C ، ظرف 15 دقیقه سخت شده و ظرف 2 ساعت برای ترافیک باز می شود. این محصول به صورت یک یا دو جزئی در دسترس بوده که یکی از رایج ترین نام های تجاری آن "ست-45" است.

* در سیستم تک جزئی همه اجزا به صورت پودر ترکیب شده اند و در محل کار تنها آب به آن اضافه شده و به کار می رود. در سیستم دو جزئی، منیزیای خشک با فسفات مایع ارائه شده و در محل ترکیب می شوند.

* روند رشد مقاومت فشاری (برحسب MPa) فسفات منیزیم

28 روزه	7 روزه	3 روزه	1 روزه	3 ساعته	45 دقیقه
57/9	49/6	48/3	44/1	22	13/6

* واکنش سیمان فسفات منیزیم به شدت گرمازا است و گیرش بین 15-20 دقیقه رخ می دهد.



هیدرات فسفات آمونیوم-منیزیم محلول در آب \longrightarrow آب+فسفات آمونیوم+اکسید منیزیم

مزیت های سیمان فسفات منیزیم: (1) مقاومت زیاد، (2) نفوذپذیری کم، (3) چسبندگی خوب به بیشتر سطوح،

(4) تشابه انقباض و ضریب انبساط حرارتی با بتن سیمان پرتلند و (4) عدم حساسیت به تغییرات دما.

* سیمان فسفات منیزیم را می توان در تمام شرایط آب و هوایی از درجه حرارت کمتر از انجماد تا شرایط هوای

گرم (32°C) مورد استفاده قرار داد. البته در هوای گرم از یک عامل کنترل گیرش مانند "براکس" جهت طولانی

کردن زمان گیرش به منظور انجام اختلاط، جای دادن و پرداخت استفاده می شود.

ضعف سیمان فسفات منیزیم: آب اضافی به شدت موجب افت مقاومت می شود.

* نتایج آزمون دوام برای ملات فسفات منیزیم اصولاً مثبت بوده ولی شواهدی برای نفوذپذیری زیاد نیز وجود

داشته که دوام شرایط یخ زدن و آب شدن را به مخاطره می اندازد.

* قیمت ملات فسفات منیزیم در حدود ملات رزین اپوکسی می باشد.

* با توجه به قابلیت عمل آمدن و سخت شدن در حدود دمای انجماد و کمتر از آن، به نظر می رسد که برای

ورآمدگی باریک، تکه پریدگی یا کارهای اضطراری مناسب ترین ماده باشد.

3-3- گوگرد گداخته

در بتن گوگردی از گوگرد به عنوان ماده چسباننده سنگدانه ها استفاده می شود. علاوه بر این در ترمیم، گوگرد را به عنوان مصالح وصله کاری سریع و برای تزریق به بتن (به عنوان چسباننده بتن) به کار برده اند.

3-4- مواد با پایه سولفات کلسیم

برای وصله کاری از مواد با پایه سولفات کلسیم استفاده می شود که اغلب آنها دارای سیمان پرتلند و برخی از آنها دارای کلرید هستند.

* توسعه حرارت در این مواد خیلی سریع بوده و می توانند در هر درجه حرارت بالای یخ زدگی به کار روند.

4- مواد قیری

مزیت: هزینه پایین، سهولت کاربرد و در دسترس بودن

ضعف: سنگدانه ها با دانه بندی ضعیف و وصله تحکیم نشده، مستعد جذب آب هستند که به تخریب بتن اطراف شتاب می دهد.

* سطح وصله کاری باید خشک بوده و دمای آن بیش از 4/5 درجه سانتی گراد باشد.

5- دوغاب ها (grout)

دوغاب هر ماده روان، پلاستیک یا قابل بسته بندی است که برای پر کردن فضای زیر ستون، حفره ها و ترک ها به کار می رود. پس انقباض آن ناچیز، بدون ترک خوردن، لایه لایه شدن یا خرد شدن، پایدار باقی بماند.

5-1- مخلوط اسمی ماسه سیمان

مزیت دوغاب ماسه سیمان: ارزانی مصالح، سهولت کاربرد

ضعف دوغاب ماسه سیمان:

(1) امکان انقباض و ترک خوردگی زیاد

(2) عدم اطمینان از پرشدن کامل فضای خالی غیر قابل دسترس

* البته استفاده از دوغاب سیمان در بتن پیش آکنده، مانع انقباض بتن می گردد.

5-2- دوغاب های گاز زا

این دوغاب ها شامل مواد انبساط زا مثل پودر آلومینیوم و غبار زغال هستند که اجزای آن با خمیر سیمان واکنش داده و حباب گاز تولید می کند. گاز حاصل، دوغاب را منبسط می کند و در نتیجه تاثیر انقباضی که در حالت پلاستیک، قبل سخت شدن دوغاب رخ می دهد از بین می رود.

ضعف دوغاب های گاز زا: این دوغاب ها حساسیت بالایی به دما دارند به طوری که در هوای گرم ممکن است واکنش گاززا چنان سریع رخ دهد که تاثیر انبساط پیش از جابدهی زائل شود.

5-3- دوغاب های سولفو آلومینات

در این دوغاب از افزودنی های منبسط کننده سولفو آلومینات هیدراته نشده به میزان 6-10 درصد وزن سیمان به کار برده می شود.

* برخلاف دوغاب های گاززا، بیشتر انبساط پس از گیرش دوغاب رخ می دهد.

* واکنش سیمانی هنگامی رخ می دهد که سولفو آلومینات کلسیم هیدراته نشده (CSA) به اترنژیت هیدراته تبدیل شود.

مزیت دوغاب های سولفو آلومینات: کمتر از مصالح با پایه سیمان پرتلند به افزایش نسبت آب به سیمان (w/c) که موجب کاهش مقاومت می شود، حساسند.

ضعف دوغاب های سولفو آلمینات: به عمل آوری پس از سخت شدگی حساسند و اگر عمل آوری رطوبتی انجام نگیرد، انبساط اولیه بی اثر می شود.

4-5- دوغاب های مسلح به الیاف

این دوغاب ها شامل الیاف پلی پروپیلین، فولاد یا شیشه پخش شده در سیمان پرتلند یا ملات کاهنده انقباض است. میزان الیاف نمونه می تواند از 4-6%، 2-3% و 2-4% وزن سیمان به ترتیب برای الیاف پلی پروپیلین، فولاد و شیشه باشد.

ضعف دوغاب های مسلح به الیاف: امکان جدایی الیاف در اثر ارتعاش تراکمی و جا به جایی مخلوط

5-5- دوغاب ها با سنگدانه فلزی

این مواد شامل براده آهن برای افزایش سختی و کاتالیزور اکسیداسیونی (نظیر کلرید فریک) جهت خنثی کردن انقباض ناشی از خشک شدن است.

* دوغاب با سنگدانه فلزی برای سطوح در معرض تر و خشک شدن متوالی و یا در معرض جریان های الکتریکی توصیه نمی شود.

5-6- دوغاب های پلیمری

دوغاب های پلیمری مانند بتن و ملات پلیمری بوده و شامل دوغاب های اشباع پلی استر، اپوکسی و وینیل استر می باشند. در موارد بسیاری از دوغاب پلیمری جهت تزریق در ترک های بتن استفاده می شود.

کاربرد دوغاب های پلیمری:

(1) زمانی که اختلاط و هم زنی سریع مهم باشد.

(2) مناطقی که در معرض حمله مواد شیمیایی باشد.

(3) مناطقی که در معرض یخ زدن و آب شدن متوالی هستند.

(4) مناطقی که در معرض تنش های ضربه ای هستند.

بیشتر این دوغاب های مسلح، سه پایه ترکیبی دارند که عبارتند از:

(1) پایه رزین مایع

(2) پایه عمل آورنده واکنش مایع (سخت کننده یا hardener)

(3) پرکننده خشک (سنگدانه دانه بندی شده)

* نسبت سنگدانه به رزین در دوغاب می تواند بسته به کاربرد 8:1 (سفت) تا 3:1 (سیال) باشد.

* دوغاب اپوکسی در مقاطع ضخیم موجب انقباض زیاد و ترک خوردگی شدید می شود.

* هر چند دوغاب های اپوکسی عموماً مقاومت شیمیایی خوبی دارند ولی در برابر اسیدها آسیب می بینند و در

چنین شرایطی از دوغاب وینیل استر استفاده می شود.

* دوغاب وینیل استر انقباضی بیش از دوغاب اپوکسی دارد و به همین دلیل محدوده کاربرد آن به کمتر از 25°C

و ضخامت کاربری کمتر از 5 سانتی متر محدود می شود. نسبت سنگدانه به رزین در این دوغاب 3:1 تا 5:1 است.

* اپوکسی پلی استر و وینیل استر به دلیل گرانی نصب و انقباض زیاد، تنها در شرایط مواجهه با مواد شیمیایی

فعال به کار می روند. در سایر موارد از دوغاب اپوکسی استفاده می شود.

* میزان خزش دوغاب های پلیمری اندک است (خزش عمدتاً به ترکیب بندی دوغاب ارتباط دارد نه به سنگدانه).

مزیت دوغاب وینیل استر:

1) مقاومت فشاری زیاد به اندازه 3 تا 4 برابر بتن استاندارد

2) چسبندگی فوق العاده آن ها به انواع مصالح ساختمانی (نسبت به سیمان)

5-7- دوغاب های اکریلات و اورتان

این نوع دوغاب کاملا در آب حل می شود تا جایی که خیلی رقیق شود. بنابراین از طرفی لزجت این دوغاب ها بسیار پایین است و از طرف دیگر زمان گیرش آنها دقیقا قابل تنظیم است.

* این نوع دوغاب در تزریق "زیر اساس" برای تعمیر نشت فاضلاب و کنترل آب زیر زمینی و پایداری خاک استفاده می شود.

* این نوع دوغاب سمی بوده (دوغاب اکریلات کمتر) و بنابراین برای استفاده از آن باید پوشش مناسب و تجهیزات تنفسی مناسب داشت.

* دوغاب اکریلات از سه ماده شیمیایی تشکیل می شود که لزوما از دو مجرای جداگانه مخلوط شده و سپس در یک جمع آور Y مانند در مسیر جریان تزریق می شود. مخلوط پس از طی زمان از پیش تعیین شده، "ژل بندی" شده و از مایع به جامد تبدیل می شود. ژل بندی از چند ثانیه تا بیش از یک ساعت قابل تنظیم است.

* دوغاب اورتان ماده ای است که کف کرده و نوع دیگری ژل تولید می کند. برای درزگیری ترک ها و لوله ها از آن استفاده می شود و معمولا برای آب بندی با 15 جز آب با 1 جز رزین استفاده می شود.

6- مواد چسباننده

چسب ها جهت چسباندن بتن جدید به بتن قدیمی، بتن پاشی و در ملات و بتن تعمیراتی جهت چسبندگی بیشتر به کار می روند. این چسب ها شامل اپوکسی ها و امولسیون های لاتکسی هستند.

* جهت چسبندگی مناسب سطح نیاز به (1) مقاومت و یکپارچگی سطح قدیمی و (2) تمیزی سطح قدیمی است. زمانی که یک لایه ضعیف (شیره بتن) در سطح بتن بوده یا سطح قدیمی کثیف باشد، چسبندگی ضعیف حاصل می شود. البته تراکم مناسب بتن جدید نیز چسبندگی را افزایش می دهد.

6-1- امولسیون های لاتکسی

* امولسیون های لاتکسی عبارتند از: (1) لاتکس استایرن بوتادین (SBR)، (2) لاتکس پلی وینیل استات (PVA)، (3) لاتکس اکریلیک، (4) لاتکس اپوکسی

* امولسیون اپوکسی به صورت رزین اپوکسی مایع در یک ماده امولسیون کننده یا مرطوب کننده است که معمولاً جهت جلوگیری از تفکیک فازها، در کارگاه آماده می شود. این مخلوط 2 تا 5 دقیقه آمیخته شده و پلیمریزاسیون بعد از 15 دقیقه شروع می شود. عمر مخلوط در ظرف، بین 1 تا 6 ساعت بسته به عامل عمل آوری انتخابی می باشد.

6-2- چسب اپوکسی

چسب اپوکسی برای چسباندن بتن تازه به بتن عمل آمده یا بتن به فولاد استفاده می شود. روانی این چسب ها از لزجی مشابه آب تا حد خمیری کامل (برای استفاده در کارهای بالاسری) فرق می کند.

* معمولاً به دلایل اقتصادی می توان از ترکیب چسب ها و بتن جدید جهت رویه کشی استفاده کرد.

* زمان گیرش چسب اپوکسی در 24°C بین 15 تا 30 دقیقه است.

فصل دوم:

ارزیابی سازه های بتنی

پس از آشنایی با مصالح تعمیری، مراحل ترمیم سازه که در این فصل و فصل های بعدی توضیح داده می شود عبارتند از:

(1) ارزیابی سازه و مشخص کردن مناطق آسیب دیده و علت خرابی

(2) آماده سازی بستر کار

(3) انتخاب مصالح تعمیری و روش تعمیر

* تشخیص علت خرابی بتن مساله دقیق و دشواری است، در حالی که ارتباط بین نشانه و علت خرابی غالباً مبهم است. (سیدنی جانستون)

مراحل بررسی وضعیت سازه

ارزیابی وضعیت سازه شامل مراحل زیر است که در ادامه بیشتر توضیح داده می شود:

1- تطبیق اطلاعات

2- بررسی شرایط بهره برداری

3- بازدید کارگاهی

4- بررسی جزئیات

5- ارزیابی و جمع بندی اطلاعات

* بازدید و ارزیابی توسط مهندس سازه انجام می‌گیرد ولی برای بررسی عمیق نتایج آزمایشگاهی، نیاز به همکاری مهندس آزمون مواد دارد.

* طی بازدید مهندس سازه، موارد زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- 1- گزارش محل و میزان خرابی‌ها
- 2- تشخیص علل محتمل هر گونه خرابی قابل رویت
- 3- اطمینان از یکپارچگی سازه ای و رضایت بخشی عملکرد سازه

مرحله اول: جمع آوری و تطبیق اطلاعات

اولین فعالیت جمع آوری و تطبیق کل اطلاعات موجود سازه است که شامل مشخصات فنی، نقشه‌ها، سوابق کار ساختمانی، عکس‌ها، گزارش‌های آزمایشگاهی در مورد مصالح، نام مهندس طراح و مهندس مجری سازه، رویدادهای غیرعادی در دوره ساخت، تعمیرهای اولیه و بعدی انجام شده روی سازه می‌باشد.

مرحله دوم: بررسی شرایط بهره برداری

در این مرحله بررسی می‌شود که آیا شرایط بهره برداری موجود با بهره برداری مورد انتظار در زمان ساخت انطباق دارد یا خیر. پس از ارزیابی اولیه کارکرد ساختمان، موارد زیر را که خرابی آنها از اهمیت بیشتری برخوردار است و یا احتمال خرابی در آنها بیشتر است، باید مشخص کرد:

مناطق با تنش زیاد، مناطق در معرض نظیر یخ زدن و آب شدن، نوسانات دما و محیط خشک و خیس شدن متوالی و مناطق تحت سایش یا ضربه

مرحله سوم: بازدید کارگاهی

فهرست فعالیت هایی که طی بازدید کارگاهی باید تکمیل شوند، عبارتند از:

- 1- مشاهده شرایط ظاهری 2- تهیه عکس 3- ثبت وضعیت مناطق با تنش زیاد 4- ثبت وضعیت مناطق محتمل خرابی مانند مناطق در معرض یخ زدن و آب شدن، نوسانات دما و محیط خشک و خیس شدن متوالی و مناطق تحت سایش یا ضربه 5- مشخص کردن ترک ها و محل های بتن قلوه شکن شده و تخریب شده 6- سنجش مقدماتی مثل تعیین طول و عرض ترک

مرحله چهارم: بررسی جزئیات

بررسی جزئیات شامل موارد زیر است:

- 1) برنامه ریزی و انجام آزمایش های غیر مخرب
- 2) تعیین دقیق محل نمونه برداری و انجام آزمایش های مغزه گیری
- 3) مشخص کردن ترک ها روی نقشه
- 4) نصب ابزارهای پایش برای حرکات ترک ها در صورت نیاز

مرحله پنجم: ارزیابی اطلاعات

در این مرحله، مهندس سازه به بررسی کلی اطلاعات اولیه، بازدیدهای کارگاهی، آزمایش های کارگاهی، تست های آزمایشگاهی و نتیجه گیری از آنها می پردازد.

* در این مرحله اگر مطابق تشخیص مهندس سازه، رضایت بخشی عملکرد سازه به علت خرابی های موجود زیر سوال باشد، نیاز به تحلیل و ارزیابی کمی سازه است.

روش های ارزیابی

جهت ارزیابی بتن از دو دسته تست مخرب (مغزه گیری) و غیرمخرب (NDT) استفاده می شود. در ادامه ابتدا نحوه نمونه گیری از بتن، آزمایش های روی مغزه و نحوه تشخیص علت خرابی و سپس آزمایش های غیر مخرب روی بتن توضیح داده می شود.

نمونه گیری از بتن

- * مغزه گیری با سرمه الماسی سوار بر دستگاه مته کاری انجام می شود.
- * انتخاب منطقه مغزه گیری در مناطق آسیب دیده و بر اساس آزمایشهای غیر مخرب قبلی انجام می شود.
- * انتخاب اندازه مغزه با توجه به اندازه سنگدانه و معمولا با حداقل قطر 100 میلیمتر انجام می شود.
- * پس از مغزه گیری، بازرسی چشمی مغزه، گزارش شرایط ظاهری مغزه و ترک ها و پر کردن برکه اطلاعات برای مغزه الزامی است.
- * در بتن های به شدت آسیب دیده، امکان خرد شدن بتن در حین مته کاری وجود دارد.

آزمایش های مغزه

- 1) تحلیل سنگ شناسی توصیفی از جمله واکنش سنگدانه-خمیرسیمان (چرا که علت مثلا حمله سولفات یا کلرید یا واکنش قلیایی سنگدانهها ... از روی مشاهده ترک معلوم نیست).
- 2) تعیین مقاومت فشاری، چگالی، جذب و درصد تخلخل
- 3) تعیین سیستم حفره های هوادار (سیستم تخلخل)
- 4) تعیین مقدار کلرید
- 5) تعیین سرعت امواج ماورا صوت
- 6) تعیین درصد سنگدانه، سیمان و توزیع اندازه سنگدانه
- 7) تجزیه شیمیایی خمیر سیمان

1) تحلیل سنگ شناسی توصیفی

به صورت آزمایش روی مقاطع صیقل کاری شده مغزه ها یا روی مقاطع نازک جهت بررسی وضعیت سنگدانه، تشخیص علت خرابی بتن، ارزیابی کفایت نسبت اختلاط بتن و ... انجام می شود.

* این مقاطع در زیر یک میکروسکوپ دو چشمی با بزرگنمایی کم، ترکیب تقریبی سنگدانه های درشت و ریزدانه و شکل دانه ها، وقوع ترک ها یا محصولات واکنشی بتن را به دست می دهد. اما ترکیب محصولات واکنشی سیمان نیاز به میکروگرافی با میکروسکوپ الکترونی، ریزسنجشگر الکترونی یا پراش اشعه X دارد.

2) ارزیابی کفایت نسبت اختلاط بتن

با تحلیل تصویری مقاطع نازک که اپوکسی فلورسنت اشباع شده باشند، به راحتی می توان درصد سیمان و حتی نسبت $\frac{w}{c}$ را تعیین کرد.

3) آزمایش درصد تخلخل

هوای محبوس در درون بتن (تخلخل)، عامل مهمی در عملکرد مناسب بتن در برابر یخ زدن و آب شدن است که با عنوان تعیین میکروسکوپی مقدار تخلخل در روش ASTM C457 آمده است.

4) مقاومت فشاری

برای تعیین مقاومت فشاری از آزمون های مغزه استفاده می شود.

* مقاومت مغزه از عواملی چون نسبت قطر به ارتفاع مغزه، درصد رطوبت و وجود رطوبت تاثیر می پذیرد.

5) تعیین مقدار کلرید

وجود بیش از اندازه کلرید، باعث خوردگی فولاد می شود. مقدار کلرید را می توان از آزمایش های روی نمونه کوچک پودر شده و تحلیل نمونه از مغزه گیری بدست آورد.

6) سیستم های نوین تحلیل تصویر

از این نوع سیستم، برای تعیین تخلخل، درصد خمیر در مخلوط و اندازه ترک استفاده می شود.

7) آزمایش های شیمیایی دقیق

برای تعیین علت دقیق خرابی بسیار مفید می باشد که شامل روش های زیر است:

- 1- پراش پرتوی x (XRD) 2- اسکن کردن با میکروسکوپ الکترونی (SEM) 3- تجزیه حرارت وزنی (TGA) 4-
- تخلخل سنجی با جیوه (TP) 2- تحلیل حرارتی تفاضلی (DTA)

تشخیص علت خرابی

1- خرابی بتن در اثر واکنش قلیایی سنگدانه ها (AAR) یا سرطان بتن

نشانه ها:

- 1- ترک در سنگدانه واکنش زا: معمولا 10-15% سنگدانه قبل از ورود به بتن دارای ترک هستند ولی دانه های ترک برداشته در بتن دچار AAR بیش از 40% است.
 - 2- وجود ژل قلیا- سیلیسی که حفره های هوا را پر کرده است.
 - 3- ایجاد هاله های واکنشی پیرامون سنگدانه
- * وجود ترک در سنگدانه ها نشانه ای است که می تواند ناشی از یخ زدن و آب شدن متناوب نیز باشد. با توجه به تداخل نشانه، نشانه هایی نظیر وجود ژل در ترک ها و هاله های واکنشی پیرامون سنگدانه راهگشاست.

2- خرابی بتن در اثر حمله سولفاتی

در اثر واکنش سولفات با C_3A موجود در سیمان، اترنژیت تشکیل می شود که نتیجه آن، از هم گسیختگی خمیر سیمان است. به خصوص در سیمان پرتلند معمولی (تیپ I) به علت گسیختگی خمیر سیمان، به سرعت خراب می شود.

نشانه ها:

(1) با تشکیل اترنژیت به شکل رشته های سوزنی مانند کوچکی متبلور می شود (مشاهده با میکروسکوپ)

(2) پوسته شدن سطح بتن در اثر تبلور گچ (مشاهده با چشم)

3- کربناسیون خمیر سیمان و خوردگی آرماتور

PH بتن معمولاً بین 12-13 است که با وقوع کربناسیون در خمیر سیمان، PH به کمتر از 10 افت می کند.

روش تشخیص کربناسیون:

1- سنجش PH با PH سنج الکترونی یا فنل فتالین: در سطح بریده شده بتن معمولی فنل فتالین رنگ صورتی می سازد ولی اگر $PH < 10$ باشد بیرنگ خواهد شد.

2- میکرو گرافی مقاطع نازک: خمیرسیمان در بتن معمولی خاکستری تیره است ولی با وقوع کربناسیون و تشکیل $CaCO_3$ زرد کم رنگ می شود.

3- در بتن کربناته شده که هنوز فولاد دچار خوردگی نشده، یک لایه نازک $Ca(OH)_2$ بین فولاد و بتن مشاهده می شود که با شروع خوردگی فولاد، این فضا با محصولات خوردگی پر می شود.

آزمایش غیر مخرب (NDT)

آزمون های غیرمخرب برای تعیین مقاومت تقریبی اجزای بتنی، تعیین وسعت و شدت ترک خوردگی، موقعیت و اندازه فولاد، وجود حفره ها و کرمو بودن، میزان رطوبت و وسعت و شدت خرابی می باشد. این آزمون ها عبارتند از:

1- بازرسی چشمی 2- آزمایش سنجش سختی سطح (چکش اشمیت) 3- مقاومت نفوذ میله (آزمایش میله وینسور) 4- آزمایش بیرون کشیدن 5- اندازه گیری سرعت پالس ماورا صوت 6- روش فرکانس تشدید 7- روش انتشار صوت 8- روش ضربه-پژواک 9- تعیین ورقه و پوسته شدن 10- آزمایش فعالیت خوردگی 11- پوشش بتنی روی میلگرد 12- اندازه گیری کربنایسون در بتن.
در ادامه هر کدام از این آزمون ها به صورت خلاصه توضیح داده می شود.

1- بازرسی چشمی

علیرغم سریع و آسان بودن و عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته از اهمیت ویژه ای برخوردار است. جهت کاهش خطاهای انسانی، زمان بازرسی باید محدود باشد و از روش عکس برداری به منظور مقایسه و مراجعه در آینده استفاده شود.

وسایل مورد نیاز در بازرسی چشمی: 1- چکش برای ضربه زدن (شبه چکش زمین شناسی) 2- ذره بین جیبی برای اندازه گیری ابعاد ترک، 3- تیغه های فاصله سنجی (فیلر) 4- دوربین دو چشمی 5- دوربین با عدسی کشویی 6- متر نواری 7- خط کش فولادی 8- بروسکوپ (چال سنج): لوله ای متصل به عدسی و آینه که برای بازرسی درون حفره مفید است. 9- فایبرسکوپ: فیبرهای اپتیکی انعطاف پذیر و عدسی جهت بررسی چال دسترسی کوچک 10- دوربین تلویزیونی گمانه بینی

2- آزمایش سنجش سختی سطح (چکش اشمیت)

در سال 1948 توسط مهندس سوئیسی، ارنست اشمیت، جهت محاسبه سختی سطح بتن ساخته شد که سختی سطح را با استفاده از واجهش یک جرم ضربه زن می‌سنجد. در این روش شرکت سازنده، رابطه همبستگی بین عدد برگشتی و مقاومت بتن ارائه می‌دهد که معمولاً در شروع کار، دستگاه نیاز به کالیبره شدن دارد.

* این روش دقت پایینی دارد و به شدت به تغییرات موضعی کیفیت بتن حساس است. به طوری که اگر سنگدانه بزرگی زیر پیستون قرار گیرد، عدد سختی به صورت غیر واقعی بزرگ و برعکس در صورت وجود فضای خالی زیر آن، عددی کمتر از واقعیت گزارش می‌کند. همینطور همواری سطح بتن، رطوبت سطحی و درونی بتن، نوع سنگدانه‌های درشت و کربناسیون سطح بتن بر نتایج چکش اشمیت تاثیرگذار است.

* برای هر ft^2 حداقل 16 قرائت انجام می‌شود، که 3 قرائت حداکثر و 3 قرائت حداقل کنار گذاشته می‌شود و میانگین 10 قرائت باقی مانده را به عنوان عدد واجهش ضربه در نظر می‌گیرند.

* این روش به هیچ وجه جایگزین آزمون مغزه نمی‌شود و برای تعیین یکنواختی کیفی بتن و مقایسه بتن منطقه‌های مختلف و تعیین محل مغزه‌گیری مفید است.

3- مقاومت نفوذ میله (آزمایش میله وینسور)

در این آزمایش برای تعیین مقاومت اجزای سازه‌ای، تفنگ خاصی، میله‌ای از جنس آلیاژ فولاد سخت شده را به سمت بتن شلیک می‌کنند و میزان نفوذ میله در بتن، نشان دهنده مقاومت بتن است.

* در تعیین مقاومت معادل، عامل تصحیح مناسبی بر اساس نوع سنگدانه در نظر گرفته می‌شود (بسته‌های حاوی یک سری سنگ با سختی 2 تا 7 در استاندارد سختی با این ابزار همراه است).

4- آزمایش بیرون کشیدن (Pull Out)

نیروی بیرون کشیدن به مقاومت برشی و آن هم به مقاومت فشاری بتن بستگی دارد. این روش قبلاً برای بررسی سازه‌های قدیمی مناسب نبود اما جدیداً شکلی از آن معروف به روش کاپو (CAPO) ابداع شده است که برای

بتن های موجود نیز مناسب است. در این روش تویی فولادی را با روش خاصی در بتن مته کاری کرده، جایگذاری می کنند و بعدا بیرون می کشند.

5- اندازه گیری سرعت پالس ماورا صوت

هدف: تعیین وجود و وسعت ترک های درونی و نیز عمق ترک های سطحی

هنگامی که امواج ماورا صوتی با فرکانس زیاد (15-25 KHZ) در میان فضاهای خالی در یک جسم منتقل می شوند، دامنه نوسانی آنها به طور قابل توجهی کاهش می یابد و بیشتر امواج صوتی در ناپیوستگی حاصل از فضای خالی یا ترک منعکس می شوند اما پالس های صوتی از اطراف حفره ها عبور می کنند و اندازه زمان عبوری آن ها، امکانی برای تعیین وجود و محل تقریبی حفره ها و ناپیوستگی ها ایجاد می کند. بنابراین با اندازه گیری سرعت و دامنه نوسانی پالس، می توان شرایط داخلی توده بتن را مورد مطالعه قرار داد.

* این روش به جز در شرایط ویژه برای تعیین مقاومت مناسب نیست. البته برای تخمین مقاومت بتن باید تاثیر مقدار سیمان، اندازه و نوع سنگدانه، میزان رطوبت را بر سرعت پالس ماورا صوت در نظر گرفت.

روش های اندازه گیری سرعت: 1- ارسال مستقیم (معتبرترین) 2- ارسال نیمه مستقیم 3- ارسال سطحی

6- روش فرکانس تشدید

در این روش برای مطالعه مکانیزم های خرابی در بتن، از تعیین فرکانس های طبیعی ارتعاش نمونه (منشوری یا استوانه ای) استفاده می شود. با استفاده از این فرکانس ها، مدول الاستیسیته دینامیکی تعیین می شود. البته با اندازه گیری تغییر در فرکانس می توان میزان فرسایشی یا خرابی نمونه ها در اثر دوره های یخ زدن و آب شدن یا حمله شیمیایی را تخمین زد.

7- روش انتشار صوت

این شیوه، روش مناسبی برای تعیین سلامت سازه ای (health monitoring) بتن است. تفاوت اساسی روش انتشار صوت و روش ماورا صوت این است که انتشار صوت توسط خود مصالح در معرض تنش تولید می شود ولی موج ماوراء صوتی از طریق یک منبع بیرونی تولید و در مصالح منتشر می شود. * ابزار این آزمایش گران و تفسیر نتایج نیاز به تخصص و خبرگی دارد.

8- روش ضربه-پژواک

امواج تنشی گذرا با ضربه مکانیکی به سطح بتن تولید می شوند و در اثر ناپیوستگی داخلی و یا وجود نقص هایی مانند کرمو بودن منعکس شده و به سطح بر می گردد. بنابراین موقعیت ناپیوستگی های داخلی را می توان با این روش تعیین کرد.

9- تعیین ورقه و پوسته شدن

ورقه و پوسته شدن ناشی از خوردگی فولاد است و به صورت یک صفحه شکست در تراز فولاد رخ می دهد. روش های ضربه چکش، شیوه های کشیدن زنجیر، ابزارهای الکترومکانیکی خودکار و گرما نگاری مادون قرمز برای تعیین وسعت ورقه شدن در سازه های بتنی استفاده می شود.

10- آزمایش فعالیت خوردگی

فعالیت خوردگی فولاد را می توان با اندازه گیری پتانسیل نیم پیل الکتریکی فولاد در بتن تخمین زد که برای تعیین مناطق خوردگی فعال در بتن مورد ارزیابی قرار می گیرد.

11- پوشش بتنی روی میلگرد

از ابزار اندازه گیری پوشش (معروف به پوشش سنج) برای تعیین موقعیت های فولادی قرار گرفته در درون بتن استفاده می شود.

12- اندازه گیری کربنایسون در بتن

به دلیل کربنایسون شدید، پوشش حفاظتی قلیایی فولاد از بین رفته و موجب تسریع خوردگی فولاد می شود. به این منظور از روش های تحلیلی-شیمیایی که در همین فصل گفته شد استفاده می شود

آماده سازی بستر کار

آماده سازی بستر کار شامل موارد زیر است:

1- برداشت بتن خراب شده 2- آماده سازی سطح 3- آماده سازی میلگرد

روش های جدا کردن بتن

به طور کلی روش های برداشت بتن عبارتند از: انفجاری، برشی، ضربه ای، پیش شکافی و قلوه کنی

* بعضی شیوه های جدا کردن فقط برای بتن خراب شده مناسبند و بعضی برای بتن سالم نیز کاربرد دارد.

* یک شیوه را برای کل سازه نمی توان به کار گرفت و برای محدود کردن آسیب بتن، معمولا ترکیبی از روش

های جداسازی لازم است.

1- روش انفجاری

از گاز به شدت منبسط شونده ای در فضای محصور چال ها استفاده می کنند. بعضی از این روش ها عبارتند از:

آتشکاری انفجاری (متداول)، آتشکاری دی اکسید کربن پرفشار، سنگ شکن استیلن-هوا

* در روش آتشکاری انفجاری، چال های آتشکاری با مته کاری حفر شده و بعد مواد منفجره قرار می دهند و آن

مواد را منفجر می کنند.

2- روش های برشی

روش های برشی عبارتند از: برش با اره الماسه مکانیکی، حرارت شدید سر مشتعل پودری، تجهیزات قوس الکتریکی و فواره آب پر فشار.

* روش برش با اره الماسه مکانیکی آهسته و پرهزینه بوده؛ از یک تیغه با سر گردان، برای برداشتن تکه های سست بتن استفاده می شود. این ابزار برای بتن تخریب شده در سطوح افقی و عمودی مفید است.

مزایای روش برشی: 1- حد مشخص بتن برداری 2- کوچک بودن نخاله ها و آسان بودن حمل آن 3- سهولت کاربرد ابزار

محدودیت های روش برشی: 1- نیاز به انرژی زیاد 2- محدودیت تحرک 3- مشکل ایجاد گرد و غبار

3- روش های ضربه ای

در روش ضربه ای، ضربه زدن مکرر به سطح بتن باعث خرد شدن و قلوه شکن شدن بتن می شود. در حال حاضر بتن شکن هایی که در دسترس هستند بتن شکن های دستی و سوار شده بر وسایل نقلیه هستند.

* بتن شکن های دستی (مثل بتن شکن ضربه ای): سرعت پایین و برای جداسازی حجم کم مناسب است.

* بتن شکن های سوار: وسایل بزرگی که مثل پتک ضربه عمل می کنند و به پشت کج بیل مکانیکی هیدرولیک متصل می شوند. بهره دهی بالا ولی انرژی ضربه ای بالا دارد که می تواند باعث آسیب دیدگی کل سازه شود.

4- روش های پیش شکافی

روش های پیش شکافی عبارتند از: شکافنده های هیدروپکی، وسایل ضربه آب و مواد منبسط شونده.

* وسایل ضربه آب برای بتن های به شدت ترک خورده یا تخریب شده مناسب نیست.

* مواد منبسط شونده موجب شکاف کنترل شده می شوند و مناسب برای حفره های عمودی با عمق زیاد هستند.

مزیت اساسی مواد منبسط شونده، عدم آسیب رسانی به بقیه بتن است ولی هزینه بالای محصولات شیمیایی باعث می شود که مقرون به صرفه نباشد.

5- روش های قلوه کنی

با استفاده از ابزار آلات مکانیکی، تنش های کششی ایجاد می کنند که در پی آن، قطعات کوچک بتن را جدا می نمایند. این روش ها برای جداسازی سطحی حجم های کوچک بتن مناسب تر هستند. این روش از ابزار ثانویه جداسازی بتن به شمار می آیند.

آماده سازی سطح

آماده سازی سطح یکی از مهمترین عوامل عملکرد مناسب مصالح تعمیری است. هدف از آماده سازی سطح: ایجاد سطحی خشک، هموار و یکنواخت، بدون گرد و غبار و روغن و چربی

آماده سازی سطح شامل موارد زیر است:

- 1) برداشتن مواد سست اضافی از سطح بستر کار
- 2) حذف محصولات واکنش مثل شیره سیمان جمع شده روی سطح
- 3) جدا کردن آغشتگی های سطحی که مانع تماس نزدیک مواد تعمیری و بستر کار می شود.
- 4) افزودن بر ناهمواری های سطحی که باعث افزایش سطح تماس با مواد تعمیری می شود.

* برای تعمیر، سطح بستر باید اشباع با سطح خشک باشد تا از طرفی مانع جذب سریع آب و بروز ترک و انقباض شود و از طرف دیگر از ایجاد یک لایه ضعیف بین مصالح جدید و قدیمی جلوگیری کند.

* حداکثر چسبندگی مواد آلی (رزین پایه) در بتن خشک، حاصل می شود. البته بعضی مواد آلی می توانند نسبت به کمی نمناکی سازگار باشند، اما هیچ آب سطحی نمی تواند توسط مواد آلی تحمل شود.

* جهت سنجش رطوبت بهتر است لایه ای از سطح را برداشت و قرائت رطوبت با رطوبت سنج الکترودی انجام شود. معمولا برای اندود کشی باید رطوبت کمتر از 5% باشد.

* باید برای تعمیر، تمام بتن خراب شده یا آسیب دیده برداشته شود بهترین روش برای این کار، جداسازی است تا هنگامی که سنگدانه در معرض شکست قرار بگیرند نه آنکه صرفا از سطح بتن پرانده شوند.

* برای جداسازی بتن در روش ضربه ای یا دو نیم کردن، لازم است بتن باقیمانده با روش های ثانویه مانند ماسه پاشی مرطوب و یا جت آب پرفشار، از سطح بتن جدا کرد. معمولا جداسازی مساحتی محدود به منظور تعمیر، نیاز به اره کاری دارد.

انتخاب روش جداسازی به عوامل زیر بستگی دارد:

محل انجام کار در داخل ساختمان است؟

محدودیت از نظر صدا، گرد و غبار، لرزش، جمع شدن آب اضافی

ارتفاع محل کار و محدودیت وزنی دستگاه

چه ضخامتی از بتن باید برداشته شود؟

وضعیت بتن (سالم یا آسیب دیده و خراب، مقاومت بتن)

نوع پوشش سطحی

آرماتور به کار رفته نزدیک به سطح است؟

روش های آماده سازی سطح

روش های آماده سازی سطح عبارتند از: (1) پاک سازی شیمیایی، (2) پاک سازی مکانیکی، (3) پاک سازی با

پاشیدن مواد

1- پاک سازی شیمیایی

شامل پاک کردن روغن، گریس و گرد و غبار با مواد شوینده (تری فسفات سدیم)، سپس برس کشی شدید همراه آب می باشد.

* حلال را نباید برای تمیزی به کار برد چون آلودگی را حل می کند و با خود به عمق بتن می برد.

* جوهر نمک (اسید کلریدریک) برای کنده کاری بتن به کار می رود ولی در برابر گریس یا روغن بی اثر است.

2- پاک سازی مکانیکی

ابزارهای مکانیکی برای تمیز کردن بتن بر دو نوع هستند:

1) چرخشی: دیسک های چرخشی و سنگ ساب ها که معمولا روی بسترهای بتنی با مقاومت فشاری نسبتا کم به کار می روند.

2) ضربه ای: مثل چکش آجدار، مضرس کننده ها، تفنگ سوزنی که به راحتی چندین میلیمتر از سطح بتن را بر می دارد.

* مضرس کننده ها با استفاده از هوای فشرده، چکش پیستون را به سطح بتن می کوبند و بیش از براده پاشی، سطح بتن را ناهموار می کنند.

* سرعت ماشین با عرض 30 سانتی متر، 4/18 تا 4/43 متر در ساعت به عمق 3 میلی متر است.

* ابزار ضربه ای، بتن را پودر کرده و باعث خرد شدن لایه زیرین می شود. بنابراین برای پاکسازی نهایی از ماسه پاشی یا جت آب استفاده می شود.

* دستگاه های شیارزنی بر روی کف های قدیمی موثرند که از اثر چرخ برش مدور گردان در سطح بتن استفاده می شود. هر چند که این ماشین گران و سنگین و نیاز به کارگر ماهر دارد. سرعت حدود 23 تا 37 متر مربع در

ساعت و عمق جداسازی آن حدود 6 میلی متر برای بتن های با مقاومت تا حدود $240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ است.

3- پاکسازی با پاشیدن مواد

پاکسازی با پاشیدن مواد شامل 1) ماسه پاشی 2) براده پاشی 3) پاکسازی با جت آب است.

3-1- ماسه پاشی: در دستگاه های ماسه پاشی با استفاده از هوای فشرده، جریان بسیار سریعی از ماسه یا دیگر مواد ساینده از دهانه دستگاه خارج می شود. این ماده ساینده معمولاً ماسه با اندازه ذرات عبوری از الک 8 تا 40 است. از ماسه های ریزتر برای جدا کردن شیره سیمان استفاده می شود. اگر لازم باشد پوشش سطح بتن جدا شود باید از ماسه های شکسته که بهتر از ماسه های رودخانه ای است استفاده شود.

* روش ماسه پاشی برای آماده سازی نهایی سطح، جدا کردن شیره سیمان، گرد و غبار، روغن و سایر آلاینده ها مناسب است.

معایب روش ماسه پاشی:

1- تولید گرد و غبار که سلامتی کارگران را به خطر می اندازد. البته در سال های اخیر استفاده از ساینده های غیرسیلیسی، مخاطرات سلامتی را کاهش داده است.

2- جمع آوری بتن تراشیده شده و ماسه ریخته شده در حجم های بزرگ به وسیله جارو برقی کار مشکلی است.

3-2- براده پاشی: ساینده یا گلوله فلزی، به وسیله چرخ گردان به سطح بتن برخورد می کند و پس از واجهش توسط یک واحد بازیابی جمع آوری می شود. گرد و غبار هم از طریق فیلتر گرد و غبار و یا سیستم خلا جمع آوری می شود. این روش معمولاً برای پاکسازی یا تراشیدن سطح تا عمق 3 میلی متر به کار می رود.

* اگر کف، پوشش اپوکسی یا اورتان داشته باشد، از ساچمه های کوچک (برس ساچمه ای) استفاده می شود تا برداشت ملایم به عمق 0/1 تا 0/2 میلی متر ایجاد شود.

* وقتی روکش یا لایه فوقانی وجود دارد از براده پاشی قوی تری استفاده می شود.

* عوامل موثر در عمق جداسازی بتن:

- (1) اندازه ساینده (ساچمه ها)
- (2) میزان و مقدار ساییدگی (جریان مواد ساینده توسط اپراتور کنترل می شود).
- (3) سرعت دستگاه (سرعت کمتر برای برداشت عمیق تر مورد نیاز است)

* اندود ضخیم الاستومری بر روی کف قدیمی باعث واجهش ساچمه ها می شود.

* از آنجایی که در روش براده پاشی از آب استفاده نمی شود، سطح حاصل به سرعت آماده استفاده برای کشیدن اندود است که به سطح خشک نیاز دارد.

3-3- آب پاشی

در این روش آب پرفشاری (فشاری تا 172 مگاپاسکال) را با سرعت زیاد به سطح بتن، هدایت می کنند و از این فشار آب برای جداسازی سیمان تا کندن بتن به عمق 30 میلی متر استفاده می شود.

* فواره آب شیارهایی ایجاد می کند و فشار آب، بتن بین شیارها را از بین می برد.

* این روش برای آماده سازی نهایی سطح بسیار موثر است.

* از این روش می توان در گاراژ و پارکینگ برای جداسازی به عمق 50-75 میلی متر استفاده کرد.

محدودیت های روش آب پاشی: (1) جمع آوری و دفع پساب، (2) امکان زنگ زدگی آرماتور، (3) زایدات و خرده سنگ های حاصل از روش آب پاشی، باید قبل از سفت شدن جمع می شود.

مزیت های روش آب پاشی: (1) حداقل سر و صدا، (2) بدون گرد و غبار، (3) نداشتن ارتعاشات مکانیکی، (4) آسیب نزدن به بتن سالم و آرماتور

4- اسیدشویی

کمیته ACI 515 توصیه کرده است تنها وقتی از اسید شویی استفاده شود که هیچ امکان دیگری نباشد. عیب اسیدشویی: اسید باعث آزاد سازی یون های مضر کلرید در بتن می شود.

مراحل کار در در اسیدشویی:

- 1- پاکسازی سطح از گریس
- 2- مرطوب کردن برای پخش یکنواخت اسید
- 3- اضافه کردن اسید رقیق 10 تا 20 درصد حجمی
- 4- فرصت دادن به اسید (3 تا 5 دقیقه) برای کف کردن و جدا کردن دوغاب
- 5- تکرار مراحل 2 و 3
- 6- استفاده از یک خنثی کننده قلیایی (مثل محلول رقیق 5 درصد فسفات سدیم یا کربنات سدیم)
- 7- شستن سطح بتن و خشک کردن
- 8- کنترل PH سطح بتن که مواد اسیدی کاملا خنثی شده باشد.

5- پاکسازی با شعله

پاکسازی با شعله روی سطوح بتن که اندودکشی شده اند یا روکش رزینی دارند و مخصوصا در مورد کف های آغشته به لکه های روغنی کاربرد دارد.

* پاکسازی با عبور دمنده اکسی - استیلن چند شعله ای (3100°C)، با سرعت یکنواخت بر سطح بتن انجام می شود. پاکسازی بسته به خواص بتن از ذوب جزئی سطح بتن تا پوسته ریزی سطحی می تواند رخ دهد. سپس باید با برس سیمی تمیزکاری انجام شود.

* مقدار رطوبت بیشترین تاثیر را در جداسازی بتن دارد. چنانکه برای قلوه کن شدن، بتن قبل از پاکسازی با شعله در آب قرار گیرد.

* مناسب ترین سرعت برای حرکت دمنده 2 تا 3 سانتی متر بر ثانیه است.

* جداسازی بتن به شکل قلوه کن شدن و ذوب سطح انجام می شود.

* جداسازی لایه شیره سیمان تا عمق 1-2 میلی متر و در بعضی نقاط تا عمق 4 میلی متر صورت می گیرد.

* درجه حرارت های مخرب بر بتن (بیش از $200-250^{\circ}\text{C}$) تنها در 2 میلیمتر فوقانی بتن ایجاد می شود و در عمق بیش از 7 میلی متر، درجه حرارت کمتر می شود و حداکثر 70°C به می رسد.

* پاکسازی با شعله، نتایج مشابهی از نظر مقاومت پیوند (2-4 مگاپاسکال) با سیمان و دوغاب تولید می کند.

مطالعات نشان دهنده مشخصات زیر برای پاکسازی با شعله است:

1- مانع انتقال روغن از بخش های عمیق بتن به سطح آن می شود.

2- میزان قلیایی بودن بتن را تغییر نمی دهد.

3- شیارهای نامرئی در جهت عمود بر سطح ایجاد نمی کند و بنابراین مقاومت کششی کاهش نمی یابد.

آماده سازی میلگردها

آماده سازی میلگرد شامل جداسازی بتن، بازرسی میلگردها و پاکسازی میلگردها در صورت لزوم است.

* اگر طی جداسازی بتن، میلگردها کاملاً نمایان نیستند لازم نیست تمامی پیرامون میلگرد خالی شود و کافی است که فقط سطح میلگرد تمیز شود.

* اگر طی جداسازی بتن، بیش از نیمی از پیرامون میلگرد در معرض دید قرار بگیرد، لازم است جداسازی بتن تا ایجاد فضایی باز در پشت فولاد ادامه یابد.

$6.25\text{mm} +$ حداکثر اندازه سنگدانه بتن = فضای لازم در پشت میلگرد

* در صورتی که سطح میلگرد در اثر خوردگی کم شده باشد، باید میلگرد دیگری جایگزین شود.

* سطح میلگردها را باید از مواد خارجی، رنگ و پوسته ها پاک کرد.

* روش های پاکسازی سطح میلگرد عبارتند از: (1) استفاده از برس سیمی و دیگر روش های دستی، (2) روش

سایش یا پاشیدن مواد ساینده، (3) فواره آب پر فشار (به علت احتمال زنگ زدن فولاد مناسب نیست)

* جهت جلوگیری از زنگ زدگی تا زمان جایگیری مصالح تعمیر می توان از پوشش اندود فولاد استفاده کرد.

فصل چهارم:

وصله کاری و مرمت رویه

وصله کاری سطح

وصله کاری عبارت است از مرمت سطح نسبتاً کوچک آسیب دیده ای از بتن. در ادامه پس از توضیحات کلی، شرح روش های وصله کاری با مصالح مختلف آمده است.

* در مواردی که عمل آوری سریع و مقاومت چسبندگی بالا لازم باشد، به جای ملات سیمان می توان از ملات اصلاح شده با لاتکس و ملات اپوکسی استفاده کرد.

* در مورد تعمیرهای موقت سریع یا وصله کاری سازه های آسیب دیده تخت، از مصالح زودگیر بر اساس فسفات منیزیم و یا براساس سیمان پر آلومین استفاده می شود.

* گرچه ملات و بتن وصله کاری بر سطح آماده شده اشباع از آب با سطح خشک به مقاومت پیوستگی کافی با بتن می رسد، اما برخی از ماده پیوند ساز (چسباننده) استفاده می کنند. ماده پیوند ساز می تواند دوغاب سیمان و ماسه، دوغاب سیمان و لاتکس یا انواع اپوکسی ها باشد. استفاده از ماده پیوندساز، هزینه تعمیر را افزایش می دهد. به طور کلی در وصله کاری دوغاب سیمان کمترین و اپوکسی بیشترین هزینه را دارد.

* ماده پیوند ساز باید پس از آماده سازی بستر به کار رود. در صورت استفاده از مواد لاتکسی باید ابتدا سطح بتن را خیس کرده و سپس اجازه دهیم تا خشک شود. ولی در استفاده از اپوکسی، بتن باید خشک باشد تا اپوکسی به درون بتن نفوذ کند و در صورت مرطوب بودن بتن، رطوبت مانع چسبیدن اپوکسی می شود.

* به طور کلی تعمیر با مصالح سیمانی معمولاً به محافظت اولیه نیاز دارد، به دلیل اینکه خشک شدن سریع این مواد می تواند هیدراتاسیون سیمان را متوقف کند. بنابراین در صورت استفاده از دوغاب سیمان و ماسه به عنوان

ماده پیوندساز، عمل آوری باید تا هیدراتاسیون کامل سیمان ادامه یابد. در غیر این صورت ترک های انقباضی پدیدار و دوغاب ورقه ورقه می شود.

* در صورت استفاده از دوغاب سیمان و لاتکس به عنوان ماده پیوندساز، 2 پیمانۀ سیمان با 1 پیمانۀ لاتکس مخلوط می شوند. این نوع دوغاب نیازی به محافظت در مدت عمل آوری که مدت زمان کوتاهی است ندارد.

* ملات اصلاح شده با لاتکس کارایی و حباب های هوای محبوس در بتن را افزایش می دهد که برای کاهش آن، باید ملات را به صورت دستی یا با مخلوط کن های کم سرعت مخلوط کنند. ضمناً اضافه کردن آب باید به تدریج و با احتیاط صورت گیرد تا موجب جدایی مخلوط نشود.

☒ وصله کاری با مواد سیمانی

* کوبیدن بتن به منظور تراکم خوب و پر شدن کامل گوشه ها

* در قلوه کن شدگی کم عمق و معمولی به نکات زیر توجه شود:

☒ ملات وصله کاری به صورت لایه لایه به ضخامت 1 سانتیمتر ریخته شود.

☒ اولین لایه، بلافاصله بعد از پوشش سطح بتن با مواد پیوند ساز و در حالی که مرطوب است، ریخته شود. در غیر این صورت پیوستگی حاصل کم می شود.

☒ هر لایه باید یک یا دو روز قبل از قرار گیری لایه بعدی مرطوب نگه داشته شود و ترجیحاً سطح هر لایه خراش داده شود.

* در وصله کاری عمیق نکات زیر حائز اهمیت است:

☒ ساخت قالب جهت تراکم کردن بتن مناسب است.

☒ حداکثر اندازه سنگدانه برابر نصف فاصله آزاد آرماتورها باشد.

☞ برای مناطق وسیع، ابتدا یک لایه اولیه بتنی روی بستر ریخته شده و سپس ملات نهایی را می ریزند و با پیوسته مرطوب نگه داشتن در چند روز عمل آوری نمود.

* وصله های با مواد سیمانی، بعد از خشک شدن تیره تر از بتن اطراف هستند که می توان مقداری سیمان سفید اضافه کرد.

● مواد رزین پایه

* آماده سازی سطح برای وصله کاری با مواد رزینی معمولاً مانند مواد سیمانی است. اپوکسی ها موادی 2 یا 3 جزئی هستند که باید بلافاصله قبل از استفاده باهم مخلوط شوند و میزان اختلاط می بایست به همان نسبتی که سازنده قید کرده، باشد.

* معمولاً لازم است که یک آستر یا آستر اتصال از رزین اشباع شده بر سطح های تازه رخنه یافته بتن و میلگردها، بلافاصله بعد از آماده سازی سطح کشیده شود. معمولاً یک لایه اندود کافی است، ولی مخصوصاً در جایی که سطح بستر کار پر منفذ است، دو لایه اندود نیز به کار می برند. اگر از دو لایه اندود آستر استفاده می شود، لایه دوم را باید پیش از آنکه لایه اول بیش از حد عمل آوری شود به کار برد. در بیشتر سیستم های رزین پایه، مواد وصله کاری را باید در حالتی که اندود آستر هنوز چسبناک است به کار برد و نیز هر لایه جدید را باید پیش از آنکه لایه قبلی بیش از حد عمل بیاید، مورد استفاده قرار داد.

* از آنجایی که وصله های رزینی، محیط قلیایی برای فولاد فراهم نمی کنند؛ تراکم مناسب و غیر قابل نفوذ کردن وصله های رزینی ضروری است. تراکم موجب خروج اولیه و عدم امکان نفوذ اکسیژن، رطوبت و دیگر مواد خورنده می شود.

* هرچه عمل آوری عمل آوری مواد تعمیرری رزینی بیشتر باشد، آهنگ افزایش حرارت بیشتر است. در وصله های کوچک، حرارت به راحتی خارج می شود و افزایش حرارت مشکلی ایجاد نمی کند. ولی در وصله هایی که نسبت مساحت رویه به حجم آن ها کم است، افزایش درجه حرارت قابل توجه خواهد بود و این امر باعث انباشت شدن تنش های حرارتی در ضمن خشک شدن مواد می شود. به همین دلیل حجم زیادی از مواد نباید در یک پیمانه با هم مخلوط شوند. چون سرعت واکنش به دما بستگی داشته، آهنگ سفت شدن یا افزایش دما در اثر حرارت آزاد شده از واکنش گرمازا در کل مواد شتاب می گیرد. این امر می تواند سبب سفت شدن رزین مخلوط شده در ظرف، قبل از استفاده کامل از آن شود.

۲ سیمان های فسفات منیزیم (MPC)

خصوصیات این مصالح در فصل سوم توضیح داده شد. میزان آب مصرفی در این بتن و ملات بسیار محدود است و آب بیشتر موجب آب افتادگی، جدایی مواد و کاهش مقاومت می شود.

ملات: 1,5lit آب + 25 kg+ از مواد مخلوط شده

بتن: 1,5lit آب + سنگدانه 10 میلیمتری + 25 kg مواد از پیش مخلوط شده

* جهت جلوگیری از گیرش سریع، باید ملات MPC را به آب اضافه کرد و زمان اختلاط 2 تا 3 دقیقه می باشد. جهت ساخت بتن، (1) ابتدا مخلوط کن را خیس کنید، (2) آب اندازه گیری شده را اضافه کنید، (3) اضافه کردن سنگدانه مناسب و (4) اضافه کردن ملات بسته بندی شده MPC.

* عمر کارایی ملات با سیمان فسفات منیزیم پایین است. بنابراین، میزان مصالح مخلوط شده باید متناسب با مدت ملات ریزی و پرداخت آن باشد.

* برای تعمیر های کم عمق میتوان از کوبه چوبی استفاده کرد، اما برای تعمیرهایی با عمق بیش از 175 میلیمتر احتیاج به یک ویبره ملایم دارد.

* این مواد نیازی به آستر زنی با مواد پیوندساز ندارد، چرا که سطح بتن را خیس و پیوند محکمی با بتن برقرار می کند.

* از آنجایی که با تکمیل گرفتن ملات، واکنش مواد MPC کامل می شود، آب آزاد باقی نمی ماند که تبخیر شود و بنابراین نیازی به عمل آوری یا محافظت در برابر خشک شدگی ندارد.

روکش ها و رولایه های رزینی یکپارچه

رویه کشی عبارت است از کشیدن لایه یکنواختی از مصالح تعمیراتی بر سطحی معمولاً وسیع از بتن. این روش اغلب برای کف ها و پیاده رو خیابان هایی که از لحاظ سازه ای سالم هستند ولی سطح آن ها در اثر یخ زدن و آب شدن مکرر، عبور و مرور سنگین، ضربه و فرسایش دچار خوردگی شده، استفاده می شود.

* مقاومت فشاری بتن، برای تامین مقاومت سایشی ضمن بهره برداری در کف های صنعتی حدود 350-500 kg/cm^2 در نظر گرفته می شود.

* روکش ها به دو دسته چسبیده و نچسبیده تقسیم می شوند. اگر خرابی بتن نظیر پوسته شدگی سطح یا قلوه کن شدن باشد، بهتر است از روکش چسبیده استفاده شود. اما اگر مشکل ترک خوردگی یا حرکت سازه ای باشد، نچسبانیدن روکش مطلوب تر است. چون در این صورت تنش ها از بستر دال منعکس نخواهد شد.

* ضخامت روکش های کاملاً چسبیده بین 25 تا 75 میلیمتر است. در حالی که حداقل ضخامت روکش نچسبیده 75 میلیمتر است.

* در روکش چسبیده، تمام درزهای روکش باید عیناً روی درزهای دال اصلی با عرض برابر یا کمی بیشتر تکرار شوند. اما در مورد روکش نچسبیده، می توان از درزهای دال قدیمی چشم پوشید.

* برای روکش غیرچسبنده آماده سازی سطح راحت است. معمولاً جارو کردن و پر کردن سوراخ ها با ملات سیمان و ماسه کافی است. سپس با استفاده از لایه ماسه ای یا ورق پلی اتیلن روکش از سطح زیرین جدا می شود.

* مصالح روش های تجدید رویه کشی عبارتند از: (1) بتن با مقاومت بالا و کم افت (LSDC)، (2) سیمان های اصلاح شده با لاتکس (LMC)، (3) بتن های پلیمری (PC) شامل اپوکسی ها، اکریلات ها، پلی استرها و ملات های مسلح به الیاف، (4) روکش های رزینی یکپارچه.

1- بتن متراکم با اسلامپ کم (LSDC) یا روش آيووا

معمولا جهت ساخت عرشه پل جدید یا تجدید رویه کشی عرشه خراب شده پل ها، جهت تامین حداقل پوشش میلگرد استفاده می شود.

* بتن LSDC به تجهیزات پرداخت ویژه ای نیاز دارد و قبل از پوشش گذاری، از مواد چسباننده (پیوند ساز) استفاده می شود.

* طرح اختلاط این بتن، شامل نسبت آب به سیمان 0/3، سیمان زیاد (450 kg/m^3 یا بیشتر) و اسلامپ کمتر از 25mm است.

نکات اجرایی:

• پاک کردن کامل سطح با فشار جریان هوا

، استفاده از دوغاب چسبنده ای که حاوی مقادیر وزنی مساوی سیمان و ماسه است و مقداری آب به آن اضافه شده تا دوغاب سفتی ساخته شود.

f کشیدن دوغاب بر روی سطح اشباع خشک (SSD)، با برسی سفت که پوشش یکنواخت ایجاد کند.

» بهتر است دوغاب را از اطراف میلگردها پاک کرد.

...سرعت اجرا به گونه ای باشد که هیچ جا دوغاب پیش از ریختن بتن خشک نشود.

† تحکیم این مخلوط سفت نیاز به شمشه های لرزشی دارد. به طوری که به ازای هر 1/2 متر طول مسیر یک لرزاننده لازم است. در حال حاضر پرداخت و تراکم چنین مخلوط هایی با ماشین پرداخت که دارای لرزاننده های با دامنه زیاد و فرکانس کم هستند، انجام می شود.

‡ برای ایجاد سطح سخت و یکنواخت، مقداری پرداخت دستی نیاز است.

^ نگهداری 72 ساعته با گونی خیس جهت جلوگیری از ترک انقباضی لازم است. در 24 ساعت اول نیاز به سیستم اتوماتیک آب پاشی وجود دارد. بعد از آن پوشاندن گونی خیس با ورق پلی اتیلن به ضخامت 4mm کافی است. ضمناً گونی باید تا حداکثر 30 دقیقه بعد از بتن ریزی روی کف قرار گیرد.

* تنظیم نسبت و آمیختن بتن LSDC در محل انجام می شود و استفاده از بتن آماده توصیه نمی شود.

* ساخت روکش از دورترین نقطه نسبت به مخلوط کن شروع می شود و بتن مخلوط توسط دامپر فرستاده می شود.

* پس از اتمام کار، چگالی در جای روکش را باید کنترل کرد تا مطمئن شویم که چگالی در حد 98% وزن مخصوص مشخص شده باشد.

2- ملات و بتن اصلاح شده با لاتکس (LMC)

LMC مخلوط بتن معمولی با امولسیون لاتکس پلیمری به اندازه 15 تا 20% وزن بتن از لاتکس جامد است. این امولسیون موجب کاهش نفوذپذیری شده و چسبندگی خوبی را تامین می کند. این نوع روکش ضخامت کمتری از LSDC نیاز دارد.

* طرح اختلاط به گونه ای باشد که بتن یا ملات تا حد امکان خشک باشد تا اینکه انقباض کم شود. نسبت آب به سیمان 0/25-0/35 است که رطوبت آزاد موجود در سنگدانه و آب موجود در امولسیون لاتکس را باید در تعیین نسبت آب به سیمان در نظر گرفت.

* حباب های هوا، پایداری لاتکس را از بین می برد، بنابر این نباید از هیچ افزودنی حباب زا استفاده شود. علاوه بر این، برای جلوگیری از ایجاد حباب هوا، سرعت اختلاط نباید زیاد باشد و مدت اختلاط هم نباید از 5 دقیقه تجاوز کند.

* جهت اختلاط، • لاتکس به مخلوط کن ریخته می شود، ماسه و سیمان اضافه می شود، f حدود 3 تا 4 دقیقه اختلاط صورت می گیرد. ضمناً زمان کارپذیری مخلوط پایین است و بلافاصله باید مصرف شود.

نکات اجرایی:

• سطح اصلی را می بایست حداقل 6mm خراش داد.

36, ساعت قبل از به کار گیری ملات LMC، سطح باید از وجود ذرات ریز پاک شود.

f نیم ساعت قبل از اعمال LMC باید سطح پاک شده را کاملاً خیس کرد.

„قبل از ریختن بتن یا ملات، باید آب های سطحی را خشک کرد.

...ابتدا دوغاب ریزی انجام می شود، سپس ریختن ملات باید قبل از خشک شدن دوغاب انجام گیرد.

† برس کشی مخلوط روی سطح آماده و مرطوب بهترین نتیجه ها را می دهد.

‡ تا 6 میلیمتر بالای تراز نهایی بتن ریزی می شود و سپس تراکم و پرداخت تا سطح تراز نهایی توسط وسایل لرزاننده انجام می شود.

~ 24 ساعت عمل آوری مرطوب با کیسه خیس و ورق پلی اتیلن 4mm و 72 ساعت عمل آوری در هوا نیاز دارد.

* ماله کشی مخلوط های لاتکسی به علت کششی که دارند، دشوار تر از مخلوط های معمولی است. برای سهولت ماله کشی می توان سطح را با مخلوط لاتکس و آب 50-50 مرطوب کرد.

* گیرش آن ها نیز خیلی سریعتر است و لایه سطحی آن اگر سخت شود، پاره می شود.

مراقبت ها:

96u ساعت عبور وسیله نقلیه ممنوع است.

u LMC را برای عمل آوری بیشتر باید در درجه حرارت 7°C و بیشتر ریخت.

u در دمای بیشتر از 29°C کار باید در شب و یا ساعات اولیه صبح انجام شود.

u در زمان بارندگی بتن ریزی متوقف و از بتن در برابر باران محافظت شود.

3- روکش بتن پلیمری (PC)

روکش های بتن پلیمری در جایی مناسب هستند که ارتفاع، وزن و احتیاجات سازه ای، استفاده از روکش سیمانی و ضخیم را محدود می کند.

* ویژگی های بتن پلیمری عبارتند از: • رشد مقاومت به طور قابل ملاحظه ای سریعتر از بتن معمولی است. مدول الاستیسیته کمتری دارد (حدود 6900MPa) که موجب انتقال مناسب تنش برشی بین روکش و بستر می شود. f انقباض بتن پلیمری (در حین عمل آوری) می تواند متوسط تا زیاد باشد. بنابراین کنترل یکنواختی ضخامت ضروری است تا مصالح امکان انقباض خطی را داشته باشند و انقباض در سه بعد اتفاق نیفتد.

* مراحل اختلاط بتن پلیمری عبارتند از: • رزین مایع (متیل متاکریلات، اپوکسی و...) داخل مخلوط کن ریخته می شود. کاتالیزور اضافه می شود. f سنگدانه اضافه می شود. 3 تا 4 دقیقه مخلوط می شود (حجم مخلوط کن در محل حدود $0/3-0/6\text{m}^3$ است).

نکات اجرایی:

• سطح با هوای فشرده تمیز می شود و شرایط بتن اشباع با سطح خشک فراهم می شود.

،آستر زنی تمام بتن و میلگردها، حدود 3 تا 4 ساعت پس از آماده سازی سطح بستر انجام می شود.
اولین لایه بتن PC را روی مناطق عمیق در اطراف میلگردهای نمایان می کشند. به گونه ای که آن را احاطه کند.

» پس از عمل آوری اولیه، لایه های بعدی ریخته می شود. اتصال لایه های بعدی به لایه های قبلی تا حداکثر 2 روز نیاز به آماده سازی ندارد و پیوند مناسبی ایجاد می کند.
...حداقل پوشش میلگرد از جنس بتن PC، حدود 12mm است.

† ماله کشی سطح و ایجاد سطحی تخت و متراکم.

* در دمای هوای بالای 21°C یا بستر بتن داغ، تبخیر سریع رزین موجب کاهش زمان کارپذیری به دلیل گیرش اولیه می شود، بنابراین بتن ریزی در شب یا ساعات اولیه صبح توصیه می شود.

* ریختن و شمشه گیری باید سریع انجام شود. در غیر این صورت پوسته ای روی سطح تشکیل می شود که با ماله کشی گسیخته می شود.

4- روکش های رزینی یکپارچه

روکش رزینی یکپارچه از اپوکسی، پلی اورتان، پلی استر، پلی اکریلات و رزین های فنولیک ساخته می شود و برای بتن های (کف های) صدمه دیده از حملات شیمیایی، سایش و یا هردو به کار می رود.

* نسبت به بتن PC، رزین بیشتری دارد و حداکثر اندازه سنگدانه به اندازه 6mm محدود می شود و در لایه های 3 تا 6 میلیمتر ریخته می شود.

* رزین های اپوکسی، کاربرد وسیعی در کف سازی صنعتی (با شرایط بهره برداری سبک تا سنگین) دارد.

* رزین های پلی استر در کف های صنعتی متوسط تا سنگین کار به ضخامت 15mm به کار می رود. کار کردن

با آن ها در بازه دمایی بیشتری نسبت به رزین اپوکسی مقدور است و مقاومت آن ها نیز نسبت به گرما بیشتر است ولی انقباض شدیدتری دارند.

* نحوه اختلاط روکش رزینی: • رزین و سخت کننده، سنگدانه اضافه می شود. اختلاط تا پوشاندن سنگدانه توسط مخلوط رزین و سخت کننده ادامه می یابد. البته مدت کارپذیری (با توجه به حرارت) حدود 20 تا 90 دقیقه است.

* ضخامت رو لایه زیاد موجب انقباض شدید و در نتیجه در سطح تماس با بتن دچار شکست می شود.
* روکش های رزینی عبور و مرور سبک انسان را پس از عمل آوری 12 تا 18 ساعته تحمل می کنند ولی از عبور و مرور وسائل سنگین باید تا چند روز جلوگیری شود.

سخت سازی سطح (از درس حذف شده است)

بهبود مقاومت سایشی کف بتنی ساده (غیر مسلح)

اضافه کردن سنگدانه های مقاوم به سایش به سطح دال با خشک لرزانی

آستر زنی سطح کف بتنی خرد شده با مرمت کننده های سطحی مایع

فصل پنجم:

محافظت در برابر خوردگی

جهت محافظت فولاد در برابر خوردگی باید از نفوذ رطوبت، نفوذ کلریدها و نفوذ دی اکسید کربن به بتن جلوگیری کرد. در واقع جلوگیری از کربناته شدن، موجب کاهش سرعت خوردگی بتن می شود.

* به طور کلی روش های محافظت فولاد در برابر خوردگی را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

- روش هایی که از رسیدن عوامل خوردگی (مانند رطوبت، یون های کلرید و ..) به میلگرد ها جلوگیری می کنند. این روش ها شامل • غشای ضد آب، آب بندی کردن سطح، f پوشش اندود می باشد.
- روش هایی که از زنگ زدن فولاد حتی در صورت نفوذ یون های کلرید و رسیدن این یون ها به میلگرد، جلوگیری می کنند. این روش ها شامل • محافظت میلگردها با اندود روی یا اپوکسی، خنثی کردن اثر یون های کلرید با افزودنی های شیمیایی، f حفاظت کاتدی می باشد.

CE پوشش میلگردها با اپوکسی

پوشش اپوکسی از دهه 1970 برای عرشه پل ها، سازه های دریایی و... به کار گرفته شد. پوشش اپوکسی میلگردها، نفوذپذیری اندکی نسبت به یون های کلرید دارد و از نظر الکتروشیمیایی غیرفعال است. در پوشش اپوکسی با افشانه الکترواستاتیک، ابتدا میلگردهای تمیز شده تا حدود 230°C پیش گرم می شود. سپس از اتاقک مجهز افشانه پاش الکترواستاتیکی می گذرد که پودر خشک باردار را روی میلگرد می پاشد و پیوند هم جوش با فولاد ایجاد می کند.

- پیوند همجوش، پوشش محکمی ایجاد می کند که مقاومت ضربه ای و سایشی آن بسیار عالی است و به خوبی به فولاد می چسبد.

* محدودیت ضخامت پوشش اپوکسی، 0/125-0/3 mm است. آزمون های آزمایشگاهی انجام شده برای تعیین مقاومت پیوند، انعطاف پذیری، خصوصیات خزشی و حداقل محافظت در برابر خوردگی نشان می دهد که ضخامت بهینه پوشش 0/125-0/225 mm است. حد نهایی ضخامت 0/3 میلیمتر نیز برای میلگرد با نقص سطحی در نظر گرفته می شود که در آن هیچ گونه عدم پیوند محسوس با بتن و ترک خوردگی در طی نصب وجود ندارد. بیشتر پوشش کاران می کوشند که ضخامت پوشش را نزدیک به حداقل (0/125 mm) نگه دارند و معمولاً به ضخامت 0/175 mm در محصول خود می رسند.

نکات اجرایی در مورد میلگردها با پوشش اپوکسی:

- باید احتیاط کرد تا ضمن جابجایی، حمل و ریختن بتن حداقل آسیب به پوشش وارد شود.
- جابجا کردن و بلند کردن میلگردهای پوشش دار با دقت انجام شود.
- از طناب نایلونی برای بالا بردن آن ها استفاده شود.
- با لایه گذاشتن بین میلگردها، از ساییدگی و خراشیدگی آنها جلوگیری شود.
- این میلگردها را نباید روی زمین کشید.
- بعد از کار گذاشتن نباید روی آن راه رفت و ابزار و وسایل سنگین روی آن گذاشت.
- باید از بست پیوند پوشش شده در محل اتصال میلگردها استفاده کرد.

ضعف های میلگرد با پوشش اپوکسی عبارتند از:

• پوشش اپوکسی موجب کاهش سرعت خوردگی می شود ولی در عمل محافظت کاملی به وجود نمی آورد. در عمل خوردگی فولاد، از گسستگی قشر پوشش در اثر وجود فواصل اندود نشده یا ترک های ناشی از خمش در موقع نصب کارگاهی شروع می شود و با وقوع خوردگی در زیر پوشش، باعث جدا شدن پوشش و گسترش خوردگی می شود.

r در بررسی کف تعدادی از پارکینگ های نوساز که از این میلگرده استفاده شده، ترک های خیلی زیادی یافته شد که احتمالاً به علت کاهش چسبندگی بین فولاد و بتن در اثر پوشش اپوکسی است. وقوع این ترک خوردگی ها موجب نفوذ آب و کلریدها به داخل بتن و حتی سیکل یخ زدن و آب شدن متوالی نیز می شود.

مهمترین ویژگی های یک پوشش موثر که مانع خوردگی سریع (در اثر کلرید ها) می شود، عبارتند از:

• مقاومت شیمیایی بالا در برابر محلول های آلی مهاجم که بتن با سیمان پرتلند با آن ها مواجه می شود.
r پیش نیاز محافظت، دوام فیزیکی خوب است. پوشش باید زبری قابل قبول داشته باشد. دوام نسبی پوشش را با آزمایش مقاومت سایشی و ضربه ای بر ورق های فولادی، خمش میلگرد پوشش شده و سختی آنها می سنجند.
f مقاومت ذاتی بتن در برابر نفوذپذیری یون های کلر بسیار مهم است.

» ضخامت قشر پوشش و یکپارچگی آن نکته مهمی است. چرا که حفره های ریز و فواصل پوشش نشده مناطق بالقوه بروز خوردگی هستند.

...مقاومت پیوستگی خوب با فولاد

• اندودها

اندودها دو نیاز اساسی را مرتفع می کنند: • خشک نگه داشتن مصالح (جلوگیری از نفوذ آب) و r پیشگیری از تماس مواد مهاجم با بتن

* اندود خوب از نفوذ آب در بتن حتی در شرایط غرقابی جلوگیری می کند و بتن را از حمله مواد شیمیایی حفظ می کند.

آماده سازی سطح

• معمولا عمل آوری 30 روزه بتن قبل از کاربرد اندود لازم است.

رطوبت کمتر از 5 درصد وزنی جهت اندود کشی مناسب است. رطوبت با برداشت قطعه ای از سطح انجام می شود. در واقع قرائت سطح اشباع، به خطا درون بتن را خشک نشان می دهد.

f اندودها را باید در دمای هوای بین 10 تا 32 درجه سانتیگراد اجرا کرد و هیچ اندودی را نباید در رطوبت نسبی بیش از 90% کشید.

» نقص های سطحی (مانند حفره های خالی، سوراخ های هوادار، بافت کرمو، روزنه ها، زائده ها و لکه ها) برطرف شود. و بافت سطحی پیوسته و یکدست جهت چسبندگی مناسب پوشش ایجاد شود.

... پر کردن نقص های سطحی با ملات سیمانی یا ماسه یا ملات اپوکسی انجام می شود. مواد اپوکسی و سیمانی زودگیر به حدود 48 تا 72 ساعت برای عمل آوری نیاز دارند.

† آغشتگی های آلوده نظیر گریس، رنگ، قیر و ... با برس کشی و دستگاه مکنده تمیز شود.

‡ به کاربردن اندودهای امولسیون بر روی سطح مرطوب، امکان نفوذ بیشتر و بهتر اندود را ایجاد می کند و از مکیده شدن سریع آب و رزین امولسیون به داخل بتن خشک جلوگیری می کند.

روش های اجرای اندودها و غشاها عبارتند از:

• افشانه پاشی (اسپری کردن)، غلتک کاری، **f** برس کشی، » ماله کشی یا پارویی

1-2- افشانه پاشی (اسپری کردن)

این روش به دلیل هزینه تجهیزات در کارهای کوچک مقرون به صرفه نیست و برای منطقه اندود کاری وسیع به کار می رود. به همین دلیل در صورت مقرون به صرفه نبودن افشانه پاشی از روش های دیگر استفاده می شود. اسپری کردن به دو شیوه • افشانه پاشی به کمک هوا و ، افشانه پاشی بدون هوا انجام می شود.

* اسپری کردن بدون هوا با پمپ کردن مواد از منفذ بسیار کوچک با فشار خیلی زیاد (12/4-20/6 MPa) انجام می شود و برای مواد با لزجت زیاد یا جایی که پمپ کردن مشکل است، استفاده می شود. افشانه پاشی بدون هوا توانایی پمپ کردن چندین لیتر در دقیقه را دارد و می تواند منطقه وسیعی را با سرعت و با حداقل نیروی کارگر اندود کاری کند.

* افشانه پاشی بدون هوا دارای محدودیت های زیر است:

• گرفتگی پستانک افشانه در مواردی که مواد اندود درشت باشد.

،ساییدگی پمپ با مواد سایش دهنده

f به علت سرعت زیاد، برای پرداخت ظریف مناسب نیست.

* اسپری کردن به کمک هوا، کندتر است اما ضخامت قشر اندود را بهتر کنترل می کند.

* اسپری کردن به کمک هوا، نیاز به کاهش لزجت دارد. بدین منظور می توان از تینر و یا گرم کردن توسط گرم کننده های ضمن اجرا استفاده کرد. البته استفاده از تینر (به عنوان رقیق کننده) در افشانه پاشی با فشار هوا سبب افشانه پاشی بیش از حد و افزایش احتمال انفجار می شود.

* در روش اسپری کردن به کمک هوا، مقدار زیادی بخار تولید می شود و تهویه محوطه افشانه پاشی ضروری است. البته در محوطه محصور، نیاز به دمیدن هوا برای تامین هوای تنفس مجریان است.

2-2- غلتک کاری

غلتک کاری برای اندود کاری بتن، به خصوص در نواحی در دسترس مثل دیوارها و کف مناسب است. این روش محدودیت های اندکی داشته و برای اندودکاری سطوح بتنی بسیار رایج است.

* سرعت کار در غلتک کاری حدود 56 متر مربع در ساعت است.

* مواد اندود با فشار غلتک در بی نظمی های سطحی وارد می شوند و قشرهای نازکی از مصالح بسیار چسبنده به وجود می آورد.

2-3- برس کشی

معایب روش برس کشی: آهسته ترین روش اندود کشی است و نیاز به کارگر زیادی دارد.

مزیت های روش برس کشی: آماده سازی سطح در این روش آسانتر است و از آنجایی که ماده اندود با اعمال نیرو درون ترک ها وارد می شود؛ پوشش ایجاد شده، در مقابل رطوبت و نفوذ آب بهتر عمل می کند.

* معمولا برس کشی همراه با غلتک کاری انجام می شود و در مناطقی که دسترسی به آنها سخت است (مثل گوشه ها)، بایستی اول برس کشی انجام داد.

* سرعت برس کشی حدود 7/5 متر مربع در ساعت دارد.

2-4- ماله کشی و پارویی

اندودهای دگر روان شونده بدون حلال که برای ایجاد سطح کاملا یکدست طراحی شده اند را می توان با پاشنده مخزن دار به کار برد و با ماله آن را پخش کرد. ماله کشی سطحی چگال با ضخامت یکنواخت ایجاد می کند که پرداخت پرداخت حاصل به میزان ماله کشی بستگی دارد.

* اجرا با پارو معمولا برای پخش اندودهای خود تراز شونده با قوام خمیر سیمان کاربرد دارد.

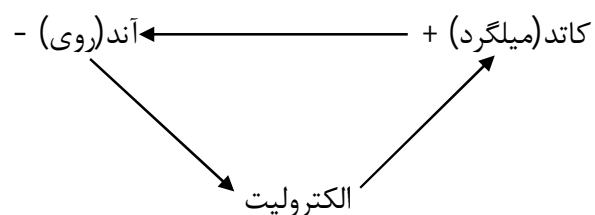
* بتن به ندرت یک لایه اندودکاری می شود و حتی در اندودهای بسیار مرطوب، یک آستر برای درزبندی بستر

لازم است. به طور کلی سیستم های چند لایه اندود دارای ضخامت بیشتر و پوشش کاملتری هستند.

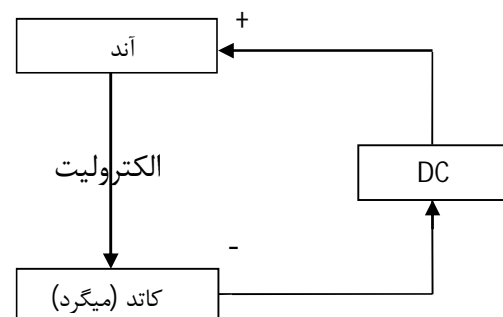
حفاظت کاتدی

این روش قوی ترین روش مقابله با خوردگی فولاد است که میزان خوردگی را تا صفر کاهش می دهد. خوردگی آرماتورها یک فرایند الکتروشیمیایی است که در آن، فولاد الکترون از دست داده و به یون فولاد تبدیل می شود. سپس طی فرایندهای شیمیایی در حضور آب و اکسیژن زنگ آهن تبدیل می شود. اساس حفاظت کاتدی جلوگیری از دست دادن الکترون های فولاد یا تامین الکترون های فولاد می باشد. این الکترون ها یا توسط یک فلز فعالتر (مانند روی) یا توسط یک جریان اعمالی تامین می شود که مانع شروع فرایند الکتروشیمیایی و زنگ زدگی فولاد می گردد. بر این اساس روش های حفاظت کاتدی را به دو دسته تقسیم می کنند:

• روش آند از بین رفته (روش آند فدا شونده): در این روش فلزی فعالتر (آند) به آرماتورها (کاتد) وصل می شود که خاصیت الکترون دهی بالاتری دارد. این فلز به جای فولاد نقش آند را بازی می کند، الکترون های از دست رفته فولاد را جبران می کند و به جای فولاد دچار خوردگی می شود.



روش سیستم جریان اعمالی (روش آند موثر): در این روش، یک جریان الکترونی توسط منبع تغذیه جریان ایجاد می شود که مانع از دست دادن الکترون های فولاد می شود. در واقع منبع تغذیه، سیستم های آند اولیه و ثانویه (آلیاژهای فلز خاص و ترکیبات پلیمری) و میلگرد (کاتد) یک مدار بسته تشکیل می دهند که با اعمال جریان، مانع از دست دادن الکترون و تشکیل یون فولاد می شوند.



* استفاده از روش حفاظت کاتدی در عرشه پل ها کاملاً جا افتاده و مرسوم است، اما در پارکینگ و گاراژها کاری جدید به حساب می آید.

* از آنجایی که سیستم آند موثر کاربردی وسیع تر از سیستم آند فدا شونده دارد، بحث ما به این سیستم (جریان موثر) محدود می شود.

* رمز موفقیت حفاظت کاتدی در ایجاد جریان یکنواخت در میلگردها است. به طوری که شدت جریان خیلی کم باعث خوردگی فولاد می شود و شدت جریان خیلی زیاد، خرابی بتن اطراف میلگرد را به همراه دارد.

* تامین نیرو برای آند به شکل جریان مستقیم خیلی ملایم (حدود 1 ولت) از یکسو کننده ای انجام می شود که این یکسو کننده به نوبه خود، به یک مولد اصلی وصل شده است.

* در سیستم جریان اعمالی، آندهای اولیه (از جنس فلز) با مواد رسانای الکتریکی مثل ملات، پوشش یا آسفالت رسانا به هم وصل می شوند. در واقع این مواد، با جریان از آندهای اولیه به تمام سطح عرشه باعث ایجاد جریان در بتن و میلگرد می شوند و نقش آند ثانویه را جهت تکمیل مدار الکتریکی و انتقال جریان بازی می کنند. مدار الکتریکی هم با اتصال فولادها به ترمینال منفی یکسوکننده، تکمیل می شود.

سیستم آند موثر به یکی از روش های زیر استفاده می شود:

ژ سیستم آسفالت رسانا، **k** سیستم شکاف اره بر، **l** سیستم اندود رسانا، **m**سیم ماری یا سیستم شبکه ای

3-1- سیستم آسفالت رسانا

آند گرد یا کلوچه ای (آند اولیه) در عرشه قرار داده می شود که از لحاظ الکتریکی به لایه ای از مخلوط زغال کک-آسفالت هادی (آند ثانویه) متصل می شود.

مزیت ها: **ژ**مقاومت اندک مدار، **k**توزیع یکنواخت جریان

ضعف ها: **ز** باعث افزایش وزن و سنگینی سازه می شود. **k** پر هزینه است. **الف** فقط قابلیت نصب در سطوح افقی را دارد.

3-2- سیستم شکاف اره بر

شکاف های ریز (به عرض 10-18mm و عمق 10-18mm) در عرشه پل ایجاد می شود و سیم های نازک نئوبیوم با پوشش پلاتین به عنوان آند اولیه در آن جایگذاری می شود. رزین رسانا نیز نقش آند ثانویه را بازی می کند. در نهایت سیم ها با دوغاب پوشانده می شود و روی دوغاب ماسه پاشیده می شود تا مقاومت لغزشی کافی تامین شود.

3-3- سیستم اندود رسانا

در این روش اندودی رسانا با برس، غلتک یا اسپری کردن روی بتن کشیده می شود. این اندود محلول پلیمری کربن آکنده ای است که در سطح زیرین سازه به کار می رود. این پوشش به صورت یک یا چند لایه به ضخامت خشک 0/4 میلیمتر اجرا می شود. سپس سیم های آند اولیه (از جنس نئوبیوم، تیتانیوم و یا فیبرکربنی با روکش پلاتینی) به فاصله حدود 120cm در سطح اندود وارد شده و با نوارهای فیبر شیشه ای آغشته به یک پوشش هادی مسلح می شود.

اتصال الکتریکی بین سیم های فلزی (آند اولیه) و اندود رسانا (آند ثانویه) موجب توزیع جریان یکنواخت در عرشه بتنی می شود. به طوری که منبع انرژی، جریان را در اندود رسانا ایجاد نموده و از میلگردها جمع شده و به منبع بر می گردد.

* مزیت این روش سهولت کاربرد در هندسه پیچیده و حداقل افزایش وزن سازه می باشد.

3-4- سیستم شبکه ای

این سیستم از پلیمر رسانای انعطاف پذیر با یک مغزی به شکل کابل ساخته شده است. این شبکه را با بست هایی به عرشه بتن متصل می کنند و با روکشی می پوشانند.

* به دو روش فرکس 100 و روش الگارد و تکتروز در آمریکای شمالی و انگلستان در پل ها استفاده می شود.

* برای دال های نازک به ضخامت 15-20cm، مناسب نیست.

* برای جلوگیری از اتصال کوتاه بین آندها و شبکه آرماتور، نکات زیر باید در طراحی مد نظر قرار گیرد:

• پیوستگی الکتریکی بین آرماتورها وجود داشته باشد. در عمل این کار با اتصال مکانیکی میلگردها به وسیله سیم به یکدیگر صورت می پذیرد. معمولا چند موضع اتصال به زمین نیز در عرشه انتخاب می شود. آرماتورهای دال باید جدا از میلگردهای دیوار و ستون ها باشند تا کنترل ولتاژ امکان پذیر باشد. f بار پلاریزه باید در محدوده ولتاژ 0/8- تا 1/25 ولت باشد. به دلیل اینکه ولتاژ کمتر از 0/8- موجب حفاظت میلگرد نمی شود و ولتاژ بیش از 1/25 ولت موجب تولید گاز هیدروژن شده که احتمال شکست هیدروژنی عضو سازه ای بالا می رود.

» در سیستم جریان موثر، آند سیمی و لایه های هادی باید از میلگردها، درزهای انبساطی، زهکش ها و پاشنه های فلزی نصب میلگرد جدا باشد تا اتصال کوتاه رخ ندهد.

... با توجه به تراکم آرماتورها در سازه، بهتر است سازه ناحیه بندی شود و برای هر ناحیه منبع خاص خود بنابر ظرفیت و سطح فعالیت قرار گیرد.

† تزریق اپوکسی برای تعمیر مناطق پوسته پوسته شده مناسب نیست. برای اینکه به علت نارسا بودن مانع عبور جریان می شود. به علاوه، همه اتصالاتی که می توانند الکتریسیته را تخلیه کنند (به جز اتصالات پلیمرهای هادی) باید در اپوکسی پوشیده شوند.

فصل ششم:

تعمیر ترک ها

1- انواع ترک و روش تعمیر

همیشه باید تا حدی انتظار ترک خوردگی را در بتن داشت و این مورد در بیشتر مواقع، در طراحی سازه و در پارامترهای ضریب ایمنی در نظر گرفته می شود.

سه دسته ترک قابل تشخیص است: 1- غیر فعال (خفته) 2- فعال 3- رشد کننده

نوع ترک	علت	تغییر در عرض	مصلح تعمیر
غیر فعال (خفته)	رویدادی در گذشته مانند انقباض ناشی از خشک شدن	ثابت	پر کردن با مصالح سخت
فعال	بارگذاری ساده یا تغییرات حرارتی و رطوبتی در بتن	ثابت باقی نمی ماند و باز و بسته می شود	باید بسیار انعطاف پذیر باشد تا اجازه جابجایی را بدهد یا سبب حذف جابجایی شود
رشد کننده	ادامه نشست پی یا خوردگی میلگرد	زیاد می شود	هر روش یا مصالح مورد استفاده باید با حذف علت ایجاد ترک همراه باشد

در انتخاب روش تعمیر ترک علاوه بر توجه به علت و وسعت ترک برداری، باید به وضعیت فعلی ترک ها هم توجه شود. انتخاب روش تعمیر نه تنها از علت و وسعت ترک، بلکه از محل و شرایط محیطی حضور ترک نیز تاثیر می پذیرد.

2- روش های تعمیر

2-1- تزریق رزین

برای تزریق در ترک ها معمولا رزین های اپوکسی را به علت مقاومت مکانیکی زیاد آنها و مقاومتی که در برابر اغلب محیط های شیمیایی دارند، انتخاب می کنند. این روش برای ترمیم سازه ای اعضایی به کار می رود که دارای ترک های خفته هستند یا آنکه می توان از حرکت بیشتر ترک در آنها جلوگیری کرد. رزین را می توان درون ترک هایی به باریکی 0.05 mm تزریق کرد. کاربرد این روش، جز با اپوکسی های اختصاصی برای ترک دارای نشت زیاد، ترک هایی که امکان خشک کردن آنها وجود ندارد، یا در جایی که ترک بی شمار هستند، عملی نیست. همچنین این روش نیاز به مهارت بالایی نیز دارد.

2-2- درز گیری ترک به روش ثقلی

از رزین های مایع با لزجت کم می توان برای درز گیری ترک ها تا عمق حدود 0.1 mm در سطح بالایی دال ها، عرشه ها و ... استفاده کرد. رزین را معمولا با برس بر روی سطح منتشر می کنند، آنقدر که سطح بتن در زیر رزین پوشانده شود. بعد از مدت زمان کافی که نفوذ به درون ترک ها ممکن شد، مواد اضافی را بر می دارند.

2-3- پر کردن در خلاء

برای ترک های منفرد، دریچه ورودی دستگاه های خلاء و تزریق روی ترک قرار می گیرند و تزریق جهت پر کردن آن ترک انجام می شود. مورد دیگر از کاربرد این روش، پر کردن محوطه ترک خورده با پوشش پلاستیکی هوابندی شده ای بر روی سطح بتن است که گوشه های آن درزگیری می شود و خلاء را بر آن اعمال می کنند. مزایای این روش نسبت به تزریق فشاری معمولی عبارتند از:

1) بر خلاف تزریق فشاری معمولی، احتمال حبس شدن هوا در پشت ترک در حین درزگیری ترک هایی که از میان بتن عبور نکرده اند، خیلی کم است؛ زیرا خلاء حاصل تقریباً تمام هوای داخل ترک را بیرون می کشد.

2) گاهی حین تزریق فشاری، رزین ها به درون درز های متحرک در بتن نشت می کنند و روی آن پل می زند. زمانی که رزین سخت می شود، درز از پاسخ به جابجایی سازه ناتوان خواهد شد، ولی چون خلاء توانایی استقرار در درزهای باز را ندارد، احتمال پل زدن درز در روش پر کردن با خلاء وجود ندارد.

2-4- بخیه زدن

مقاومت کششی مقطع ترک خورده بتن را می توان با بخیه زدن، درست مثل دوختن پارچه، مرمت کرد. در این روش ترک را قبل از تعمیر با ماده رزینی سخت، به کمک قطعات فولادی U شکل که "قلاب های بخیه" نامیده می شوند، مهار می کنند. بخیه ترک را نمی بندد، اما مانع تحرک ترک فعال و در نتیجه توسعه آن می شود.

تنها در مواردی باید به بخیه زدن اقدام کرد که مطمئن باشیم که مانع شدن از تحرک فعال باعث ایجاد خسارت در جای دیگری از سازه نخواهد شد. طول و یا جهت قلاب های بخیه باید متفاوت باشند و چنان مستقر شوند که انتقال کشش در طول ترک به یک صفحه در مقطع صورت نگیرد بلکه در سراسر یک مساحت پخش شود.

چون تمرکز تنش نواحی انتهایی ترک ها وجود دارد، فاصله بین قلاب ها در این مناطق باید کاهش یابد و چالی در هر سر ترک حفر شود تا از تمرکز تنش بکاهد.

2-5- شیار زدن و درزگیری

این روش ساده ترین و متداول ترین روش تعمیر ترک است و می توان از آن برای درزگیری ترک های ریز سطحی و نیز ترک های بزرگ و مجزا نیز استفاده کرد. از این سیستم می توان برای تعمیر ترک های خفته ای که اهمیت سازه ای ندارند و نیز معمولاً برای آب بندی ترک ها در برابر ورود رطوبت، مواد شیمیایی و دی اکسید کربن استفاده کرد. این روش، در مناطق در معرض عبور و مرور وسایل نقلیه از وارد آمدن خسارت مکانیکی بیشتر به

بتن ترک خورده جلوگیری می کند. شیار زدن عبارت است از ایجاد شیاری در سراسر طول ترک به طوری که شکافی در حدود 10 تا 12 میلیمتر باز شود تا آن را با مصالح مناسب پر کنند. در این روش اغلب از ترکیبات اپوکسی استفاده می شود.

2-6- دوغاب ریزی

2-6-1- دوغاب سیمان پرتلند

درزگیری ترک ها در بلوک های سد، دیوارهای بتنی ضخیم یا پی های سنگی سازه های هیدرولیکی را گاه می توان با پمپ کردن دوغاب سیمان پرتلند به درون آنها انجام داد. مخلوط های دوغاب؛ بسته به عرض ترک می تواند شامل سیمان و آب یا سیمان به اضافه ماسه ریزدانه و آب باشد. از مواد کاهنده نیز برای پایین نگهداشتن نسبت آب به سیمان در حدی استفاده می شود که انقباض کمتر شود و مقاومت افزایش یابد.

2-6-2- دوغاب پلیمری

دوغاب های پلیمری که از اورتان ها و اکریلامیدها هستند با آب واکنش نشان داده و رسوب جامد یا کفی را تشکیل می دهند که برای دوغاب ریزی در ترک های ریز سازه های هیدرولیکی از آنها استفاده می شود. این مصالح به علت لزجت کم و قابلیت استفاده در محیط های مرطوب انتخاب می شوند.

2-7- مته کاری و پرکردن

از این روش اغلب در ارتباط با دوغاب ریزی ترک ها در دیوار استفاده می کنند. این روش که مخصوصا برای ترک های عمودی در دیوارهای حایل مناسب است از مته کاری رو به پایین در طول ترک و دوغاب ریزی از آن برای تشکیل یک زبانه تشکیل می شود.

2-8- درزگیری انعطاف پذیر

تبدیل ترک های فعال به درزهای قابل جابجایی، اغلب مناسب به نظر می رسند. شیاری در طول ترک کنده شده و با مصالح انعطاف پذیر مناسب پر می شود. عرض این شیار و ظرفیت کرنشی مصالح درزگیری تعیین کننده میزان جابجایی خواهد بود که درز با آن تطبیق می کند.

2-9- نوار پیچ کردن

در مواردی که جابجایی تماما در یک صفحه نیست، یا جابجایی بیش از آن حد است که بتواند با ایجاد شیار به اندازه مناسب جبران شود، یا عواملی وجود دارد که مانع کندن شیار می شوند، می توان از نوار پیچ کردن سطح استفاده کرد. در مناطقی که در معرض ترافیک هستند، این درزگیر انعطاف پذیر که معمولا اپوکسی اصلاح شده یا اورتان است با رویه سایشی پوشش می شود.

2-10- میلگردهای اضافی

2-10-1- میلگرد گذاری معمول

شاه تیرهای بتن مسلح ترک خورده پل را می توان با وارد کردن میلگردهایی علاوه بر تزریق اپوکسی، به طور موفقیت آمیزی تعمیر کرد. برای انجام موفق تعمیر، به یک درزبند خارجی الاستیک و موقت لازم است. اپوکسی های انعطاف پذیر و درز پرکن های لاستیکی سیلیکونی، کارایی خوبی برای این منظور دارند. اپوکسی مصرفی باید لزجت کم و مدول الاستیسیته بالایی داشته باشد و درعین حال بتواند با وجود رطوبت به بتن بچسبد و 100% جامد شود.

2-10-2- پیش تنیدگی خارجی

زمانی که قسمت عمده ای از عضو سازه ای باید تقویت شود یا زمانی که ترک ها را باید بست، از این شیوه که در آن نیروی فشاری از طریق پس-کششی اعمال می شود، استفاده می کند. تاثیرهای نیروی کششی و خروج از مرکزیت در کشش را در این سازه ها باید تحلیل کرد.

2-11- ملات خشک فشاری

ملات خشک فشاری عبارت است از جادهی دستی ملاتی با نسبت آب به سیمان کم که بعداً در جای خود کوبیده می شود تا ملات متراکمی را ایجاد کند که چسپندگی خوبی با بتن موجود داشته باشد. به دلیل نسبت آب به سیمان کم، انقباض کمی خواهیم داشت و وصله محکمی که دارای دوام، مقاومت و ویژگی ضد آب خوبی است، ایجاد خواهد شد. ملات خشک فشاری برای تعمیر ترک های خفته به کار برده می شود ولی استفاده از آن برای پر کردن یا تعمیر ترک های فعال توصیه نمی شود. مواد را باید به صورت دستی در لایه های به ضخامت حداکثر 10 mm درجا کوبید. فقط باید از ابزارهای چوبی برای کوبیدن استفاده کرد، چون ابزارهای فلزی باعث می شوند که سطح حاصل بیش از آن صاف شود که چسپندگی قابل اعتمادی به لایه بعدی داشته باشد. برای پرداخت ملات، یک قطعه چوب سخت و صاف را روی آن قرار می دهیم و با زدن چند ضربه با چکش آن را متراکم می کنیم. عمل آوری مواد ریخته شده با مواد عمل آوری یا با استفاده از گونی خیس که در طول ترک قرار داده می شود، انجام می گیرد.

2-12- روکش ها

از روکش ها می توان برای درزگیری ترک استفاده کرد. روکش ها در مکان هایی خیلی مفید هستند که تعداد زیادی ترک وجود داشته باشد. دال هایی را که در اثر انقباض یا هر علت دیگری ترک های ریز بی شماری دارند می توان به طور موثری با استفاده از روکش ها تعمیر کرد. برای پوشش (و نه تعمیر) ترک های متحرک می توان از روکش های بی پیوند استفاده کرد.

2-13- اندودها و ترمیم های دیگر سطح

انواع بسیار گوناگونی از درزگیرهای نفوذکننده سطحی و اندودها، از ترمیم های صرفا ظاهری و ظریف تا غشاهای ضخیم را می توان برای بتن ترک خورده به کاربرد. از محلول های رزینی با ماده جامد کم (17 تا 25%) و لزجت کم، نظیر اپوکسی ها، اورتان ها و اکریلیک ها برای درزگیری سطح های بتنی در مناطقی که در برابر سایش قرار ندارند، استفاده می شود.

2-14. بهبود خود به خود

توانایی ذاتی بتن در ترمیم ترک های درون خود را بهبود خود به خود می گویند. این پدیده ای است که در حضور رطوبت و نبود تنش های کششی رخ می دهد. مکانیزم بهبود خود به خود، کربناسیون هیدروکسید کلسیم موجود در خمیر بتن، توسط دی اکسید کربن موجود در آب یا هوای اطراف بتن است. بلورهای هیدروکسید کلسیم و کربنات کلسیم حاصل در ترک ها، ته نشین شده و رشد می کنند. رشد درهم و توام بلورها نیروی پیوندی مکانیکی ایجاد خواهد کرد که پیوند شیمیایی بین بلور مجاور یکدیگر و همچنین بین بلورها و سطح های خمیر و سنگدانه مکمل آن خواهد بود. در نتیجه مقداری از مقاومت کششی بتن در بخش ترک خورده ترمیم می شود و امکان بسته شدن ترک هم وجود دارد. برای وقوع این پدیده، سازه باید تحت فشار ایستا و ثابتی باشد، و نیز اشباع بودن ترک و بتن مجاور آن در حین فرآیند بهبود برای افزایش مقاومت بتن لازم و ضروری است.

3- تعمیر ترک ها

3-1- تعمیر ترک های فعال

اولین قدم در تعمیر چنین ترک هایی، تعیین این است که آیا آنها ترک های منفرد هستند یا الگویی عمومی یا اتفاقی دارند. سپس باید تصمیم گرفت که آیا برگرداندن مقاومت کششی بتن در طول بخش ترک خورده لازم

است یا خیر؟ اگر ترک ازسوی سازه قابل تحمل نیست، بهتر است یک درز انبساط در سازه در محل ترک یا نزدیک آن ایجاد می شود. چون جزئیات تعمیر بستگی به انواع جابجایی هایی دارد که وقوع آنها پیش بینی می شود، باید نوع جابجایی را که درز باید با آن تطبیق کند، در نظر داشت.

3-2- تعمیر ترک های غیر فعال (خفته)

در تعمیر این ترک ها هم در وهله نخست لازم است که تعیین کنیم ترک هایی که رخ داده اند منفرد هستند یا الگودار(مجموع) و سپس در این مورد تصمیم بگیریم که آیا بازگرداندن مقاومت کششی بتن در طول بخش ترک خورده لازم است یا خیر؟ اگر ترک ها خفته باشند، به طور طبیعی احتیاجی به تعیین نوع جابجایی که رخ داده است، وجود ندارد. بعضی اطلاعات درمورد پیش بینی بزرگی جابجایی آینده این گونه ترک ها را می توان از محاسباتی که در آنها تاثیرهای دما، استمرار انقباض خشک شدگی، تغییرات بارگذاری، خمش سازه، احتمال نشست تکیه گاه و تغییرات رطوبتی در بتن در نظر گرفته شده است، به دست آورد.

3-3- تعمیر ترک های نشت دار

در حال حاضر مصالح یک یا دو جزئی اورتان، اکریلامید، پلی اکریلامید و آکریلات پایه در بازار موجود است که به طور اختصاصی برای درزگیری ترک های نشتی، حتی زمانی که آب از درون ترک ها فرو می ریزد، ساخته شده اند. شیوه تعمیر با این مصالح، شبیه موارد تعمیر تزریقی ترک هاست و مواد را تحت فشار به درون ترک تزریق می کنند. ترک هایی به باریکی 0.05 mm را می توان با این نوع مواد پر کرد. هرچند از معایب این روش، نیاز به مهارت زیاد برای رسیدن به نتیجه رضایت بخش، سمی بودن مواد، مقاومت کم و نیز خشک نبودن کامل ملات در زمان بهره برداری را می توان نام برد.

4. راهنمای عمومی برای انتخاب روش تعمیر (از امتحان حذف شده است)

در انتخاب روش تعمیر باید به امور "پیش-تعمیری" اهمیت داد. تعمیر باید بر تحلیل جامع علت های ایجاد نقص و راه های حذف آن استوار باشد. سه نکته در انتخاب روش و مصالح مناسب تعمیر اساسی هستند: 1- مشخص کردن علت ترک خوردگی و ارزیابی اهمیت سازه ای ترک ها 2- انتخاب روش مناسب با توجه به عوامل فنی، عملی و اقتصادی 3- استفاده از روش های ماوراء صوتی و آزمایش مغزه ها برای تشخیص موثر بودن تعمیر.

4-1- فرآیند تشخیص علت ترک ها

مراحل زیر به تعیین ترک ها کمک می کند:

مرحله 1: بررسی ظاهر و عمق ترک خوردگی برای تعیین علت اصلی نقص

1- منفرد یا متعدد (الگودار) بودن ترک ها 2- عمق ترک ها 3- باز یا بسته بودن ترک ها 4- وسعت ترک خوردگی.

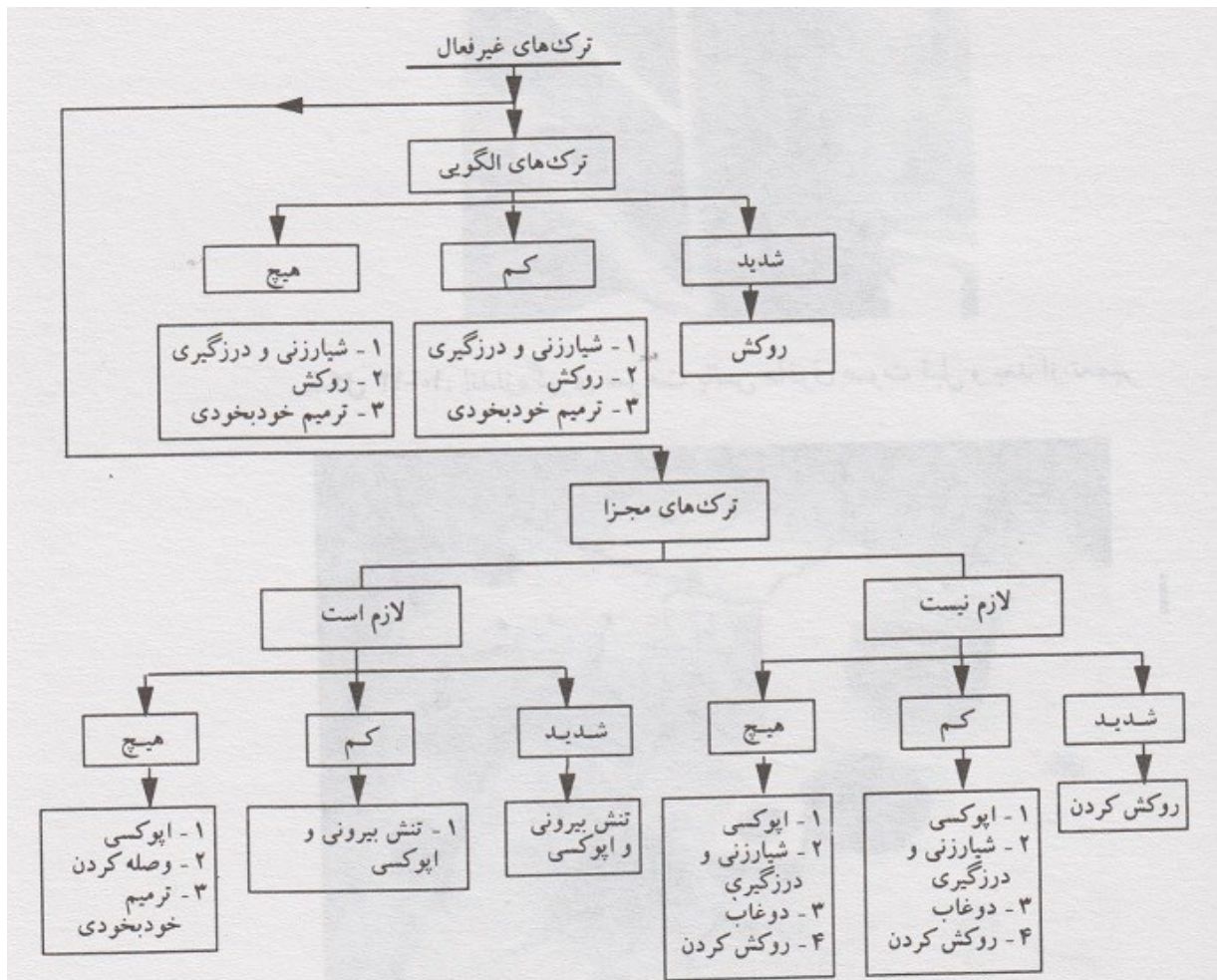
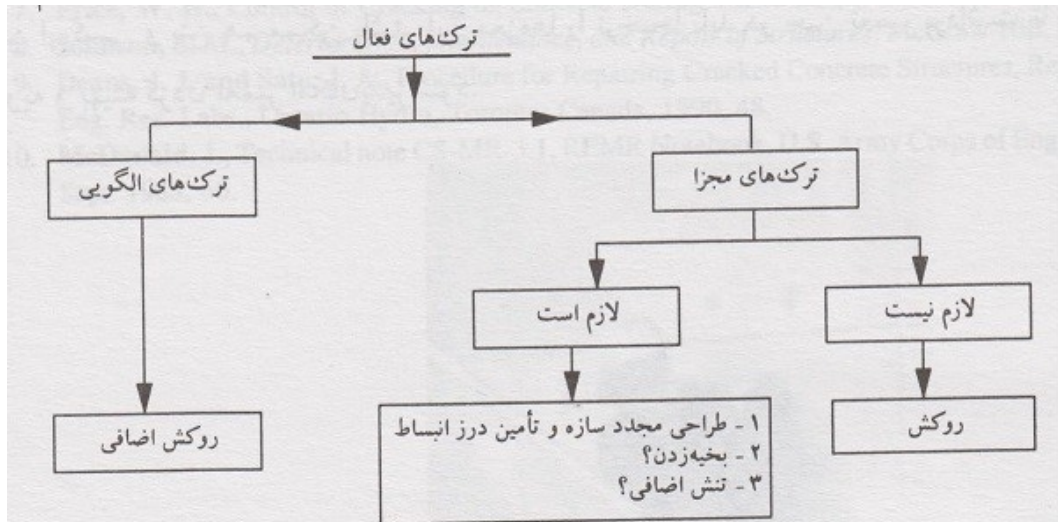
مرحله 2: تعیین زمان وقوع ترکها

مرحله 3: تعیین اینکه ترک خفته است یا فعال

مرحله 4: تعیین میزان قید

مرحله 5: تعیین علت ایجاد ترک خوردگی با توجه به مراحل 1 تا 4.

2-4- انتخاب روش مناسب برای تعمیر ترک



3-4- آزمایش موثر بودن تعمیر

قبل از تعمیر، می توان با سنجش سرعت امواج ماورا صوت اطلاعات پایه ای را به دست آورد. با مقایسه اطلاعات قبل و بعد از تعمیر، ارزیابی موثر بودن تعمیر میسر می شود. باید مغزه هایی برای تعیین مثلا عمق نفوذ رزین اپوکسی و تعیین مقاومت چسبندگی بین اپوکسی و بتن هم ممکن باشد.