

## ترمیم ترکها

ایمان الیاسیان، دانشجوی دکترای عمران سازه [eiman.elyasian@gmail.com](mailto:eiman.elyasian@gmail.com)

با توجه به این که بتن کشش تحمل نمی کند و یا حداقل مقدار بسیار جزئی تحمل تنش کششی را دارد بنا بر این اگر مقدار تنش ایجاد شده در بتن از این مقدار بیشتر شود در بتن شکافهای کوچکی ایجاد خواهد شد. که این ترک می تواند بر اثر عوامل مختلف از جمله طراحی نامناسب ، عوامل محیطی ، بارهای اضافی وارده به سازه و ... ایجاد شود .



همیشه ترکها تا حدی قابل انتظار می باشند که این مقادیر با توجه به نوع سازه در طراحی ها مد نظر قرار گرفته می شود. اما ترکها زمانی قابل توجه و مهم می شوند که:

- از لحاظ زیبایی قابل قبول نباشند.
- سبب خروج سازه از حالت آب بندی شوند.
- بر دوام سازه اثر بگذارند.
- از لحاظ سازه ای اهمیت داشته باشند.

بطور کلی سه دسته ترک در سازه ها قابل تشخیص می باشند:

۱. ترکهای غیر فعال که بر اثر اتفاقی در گذشته ایجاد شده و دارای عرض ثابتی می باشند.
  ۲. ترکهای فعال که عرض ثابتی ندارند و بر اثر بارگذاری، تغییرات درجه رطوبت و حرارت باز و بسته می شوند.
  ۳. ترکهای رشد کننده که به علت پا برجایی علت اصلی ایجادشان (مثل ادامه نشست پی) عریض تر می شوند.
- روشهای مختلفی برای تعمیر ترک ها وجود دارد اما سه نکته در انتخاب روش و مصالح برای تعمیر نقشی اساسی دارند:

۱. مشخص کردن علت ترک خوردگی و ارزیابی سازه ای ترک ها و نوع ترک
۲. انتخاب روش مناسب با توجه به عوامل فنی، عملی و اقتصادی
۳. استفاده از روش های ماورا صوتی و آزمایش مغزه گیری برای تشخیص موثر بودن

### فرآیند تشخیص ترکها :

مرحله ۱) بررسی ظاهر و عمق ترک خوردگی برای تعیین علت اصلی نقص:

- منفرد یا متعدد (الگو دار بودن ترکها)
- عمق ترکها
- باز و بسته بودن ترکها
- وسعت ترک خوردگی



استفاده از یک میکروسکوپ کارگاهی برای تعیین عرض ترک



مغزه گیری برای تعیین توسعه ترکها

مرحله ۲ تعیین زمان وقوع ترکها .

مرحله ۳ تعیین خفته یا فعال بودن ترکها

مرحله ۴ تعیین میزان قیود داخلی (اثر میلگرد ها و...) و قیود خارجی (اثر شرایط تکیه گاهی ، اتصال به دیگر بتنها یا سایر سازه ها )

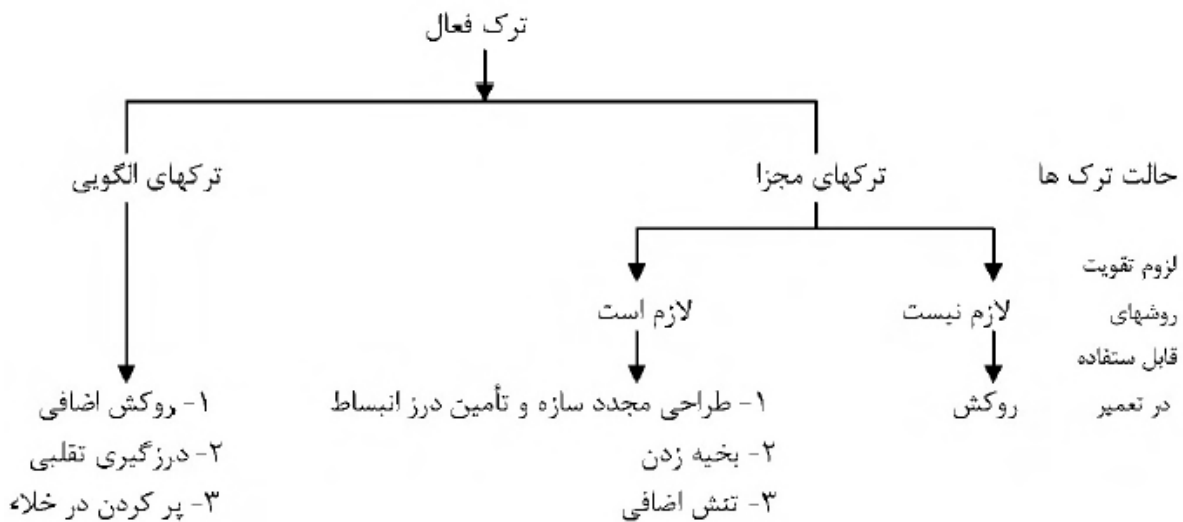
مرحله ۵ تعیین نوع ترک ایجاد شده با توجه به مراحل قبلی و جدول بعدی

انواع ترک			
علت	فعال	غیر فعال	تغییر
بارهای تصادفاتی		x	
خطای طراحی ( کافی نبودن آماتور ها )	x		محدود کردن بارگذاری با توجه به ظرفیت موجود و تعمیر یا طراحی مجدد و متناسب با آن تعمیر و تقویت
تنش های حرارتی ( انبساط بیش از حد در اثر بالا رفتن دما و کافی نبودن درزهای انبساطی )	x		روش های ساده تعمیر ترک نباید هنگامی که ترک در اثر خوردگی متناوب است بکار رود .
خوردگی آماتور	x		روش های ساده تعمیر ترک نباید هنگامی که ترک در اثر خوردگی متناوب است بکار رود
نشست پی	x	x	اندازه گیری ها باید نشان دهنده توقف یا ادامه نشست باشد .
واکنش قلیایی دانه ها	x		تا هنگامی که رطوبت موجود باشد روند زوال در بتن ادامه خواهد داشت . روش های تعمیر ترک مؤثر نخواهد بود .
روند اجرای ضعیف ( کافی نبودن عمل آوری ، قالب بندی و ... )		x	
اجرای غلط : کاربرد نمایان مصالح متصل شده به بتن ، سیستم های	x		

انواع ترک :

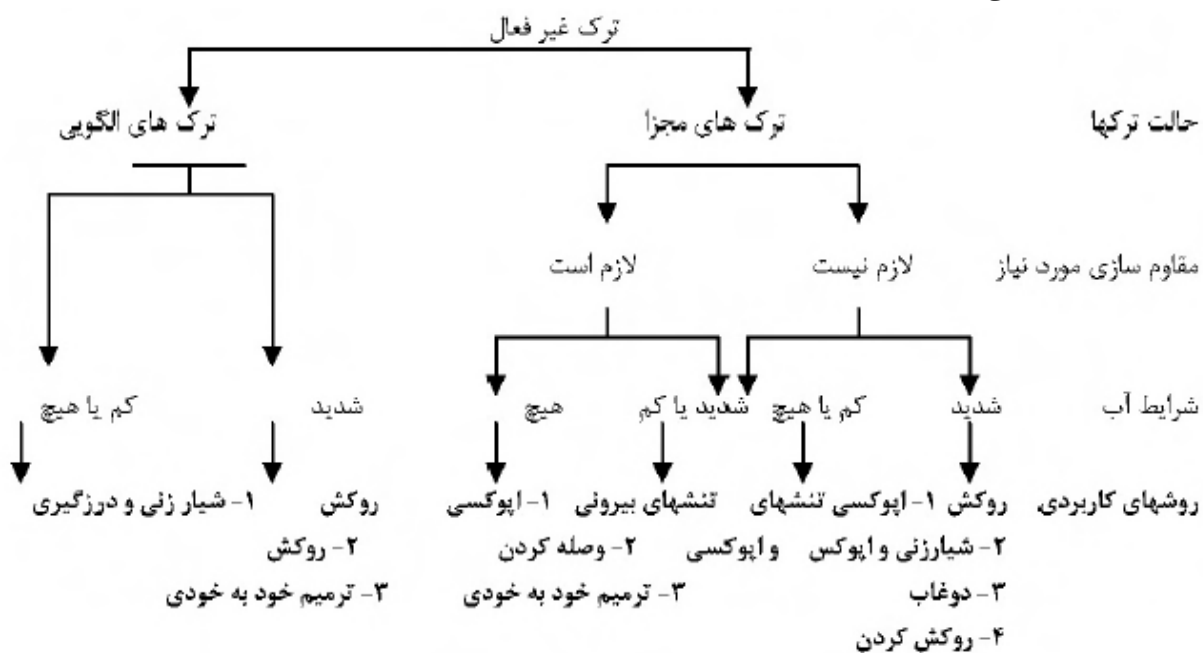
## ۱. ترک های فعال

رایج ترین روش تعمیراتی قابل اجرا برای این نوع ترک ها عبارتند از : روش های درزگیری ثقلی ، پر کردن در خلا و یا به کار بردن روکش های انعطاف پذیر می باشند.



## ۲. ترک های غیر فعال (خفته)

برای تعمیر این نوع ترک ها معمولاً اپوکسی گزینه مناسبی می باشد چرا که در عین عمل به عنوان یک درزگیر به باز گرداندن مقاومت کششی بتن در طول ترک نیز کمک خواهد کرد



## روش های اجرایی تعمیر ترک

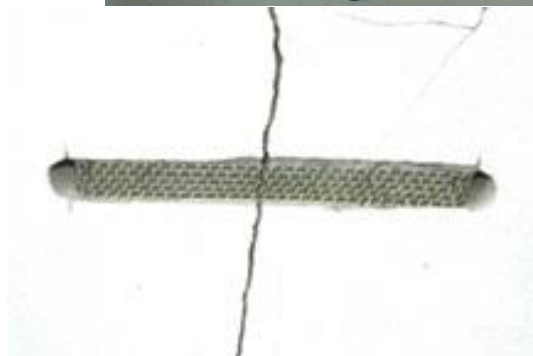
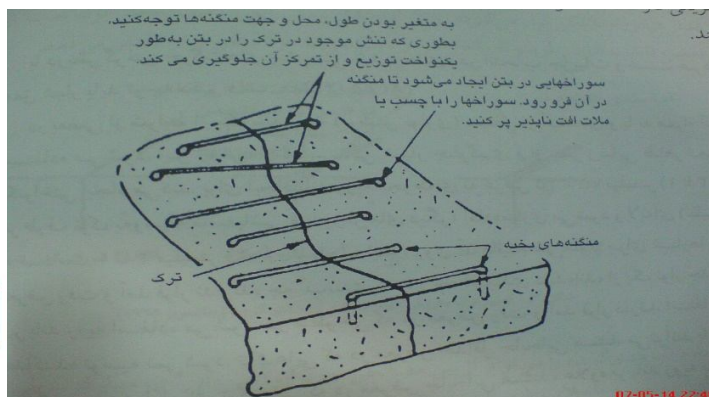
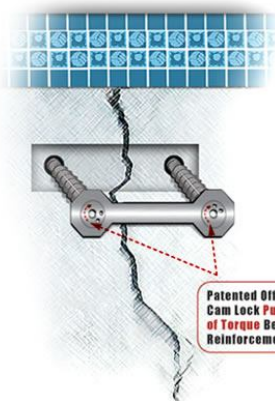
### ➤ تزریق رزین

معمولاً از اپوکسی به خاطر مقاومت مکانیکی و مقاومت زیاد آن در محیط های شیمیایی مختلف استفاده می شود. رزین را در ترک هایی به عرض ۰,۵ mm می توان تزریق کرد. در این روش چالهایی در فواصل نزدیک به هم در طول ترک سوراخ

می کنند ، پستانک تزریق را در این فواصل ثابت کرده و سطح ترک را در این فاصله درز گیری می کنند ، سپس رزین تحت فشار تزریق می شود. همچنین فشار تزریق را تا چند ثانیه نگه می دارند تا رزین در بخشهای ریز ترک نیز نفوذ کند.

### ➤ بخیه زدن :

در این روش می توان مقاومت کششی مقطع ترک خورده را با استفاده از بخیه برگرداند. در این روش ترک را قبل از تعمیر با ماده رزینی سختی به کمک فولاد لاشکلی که قلاب بخیه نامیده می شود مهار می کنند این قلاب ها در شیار های ممتد دوطرف ترک فرو می روند برای مهار پای قلاب ها از دوغالب بدون لنبض یا چسپ اپوکسی استفاده می کنند



### شیار زدن و درز گیری :

این روش ساده ترین و معمولترین روش تعمیر ترک میباشد که نیاز به مهارت خاصی هم ندارد . در این روش شیار به عرض ۱۰ mm تا ۱۲ mm در طول ترک ایجاد می کنند و بعدا آن را با مصالح مناسب پر می کنند با توجه به اهمیت کار می توان از چند نوع اپوکسی مختلف استفاده کرد .

### دوغاب ریزی

درزگیری ترک ها در بلوکهای سد ، دیوار های بتنی ضخیم ، و یا پی های سنگی سازه های هیدرو لیکی را میتوان با پمپ کردن دوغاب سیمان پرتلند به درون آنها انجام داد در این روش پستانک های دوغاب ریزی و لوله های منفذ دار را در چال های ترک ایجاد شده وارد کرده و پیرامون آن را با بتن یا مصالح زودگیر درزگیری می کنند تا از اتلاف دوغاب جلوگیری شود

### مته کاری و پر کردن

از این روش اغلب در ارتباط با دوغاب ریزی ترک ها در دیوار ها (مخصوصا دیوار های حایل ) استفاده می کنند. این روش اصولا زمانی قابل اجرا می باشد که مسیر ترک ها مستقیم بوده و یک سر آن قابل دسترسی باشد . چال های ایجاد شده توسط

مته باید به قدری بزرگ باشند که سراسر امتداد طولی ترک را در بر بگیرند و آنقدر جا برای مصالح تعمیری باز کنند که این مواد در برابر برش ایجاد شده مقاومت ساختاری کافی داشته باشند.

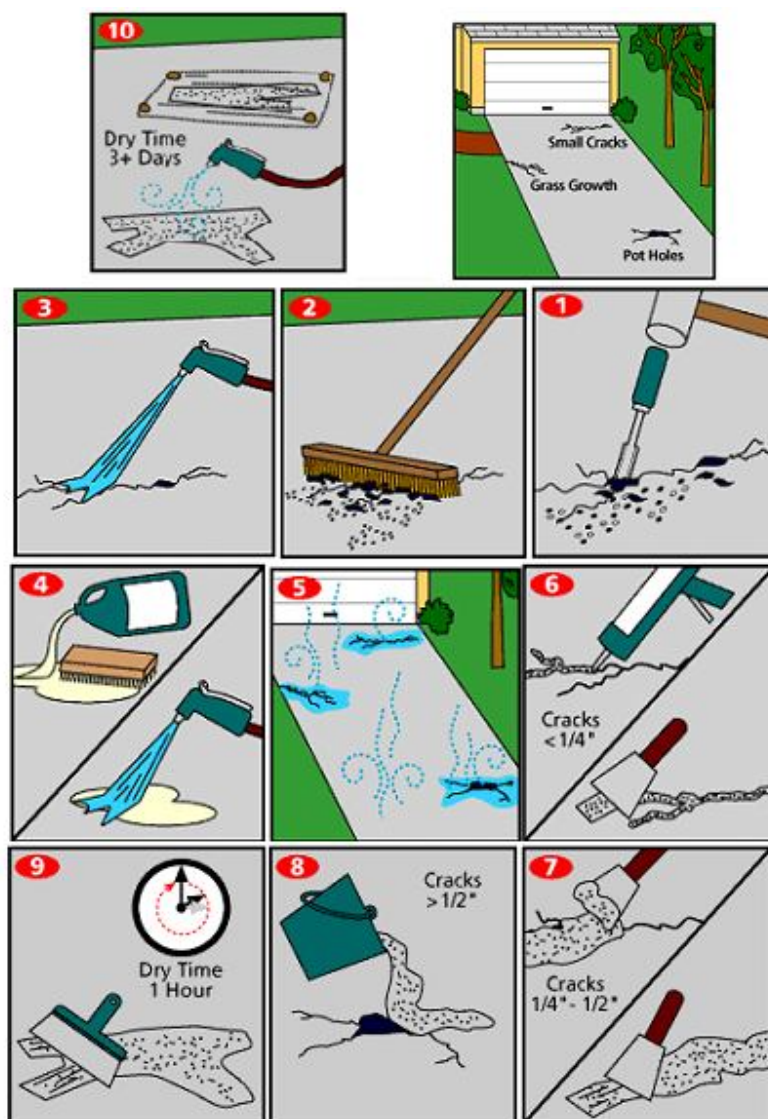
### درز گیری انعطاف پذیر

تبدیل ترک های فعال به ترک های قابل جابجایی اغلب مناسب می باشد. برای این منظور شیاری در امتداد طول ترک کنده می شود با مصالح انعطاف پذیری پر می شود.

سایر روش های تعمیر عبارتند از :

❖ استفاده از میلگرد های اضافی

❖ استفاده از روکش ها ...



### آزمایش موثر بودن تعمیر

با مقایسه اطلاعات بدست آمده از طریق سنجش با سرعت ماورا صوت قبل بعد از تعمیر می توان موثر بودن تعمیرات را ارزیابی کرد. همچنین بایستی مغزه هایی از مناطق تعمیر شده نیز تهیه شود تا ارزیابی چشمی نیز از تعمیرات به عمل آید. این مغزه ها ترجیحا باید در حین تعمیر تهیه کرد تا اصلاحات لازم صورت گیرد.

## ارزیابی و نتیجه گیری

قبل از انتخاب روش مناسب برای تعمیر لازم است به علت ایجاد ترک و نوع ترک توجه داشت. همچنین روش انتخاب شده باید حداقل یکی از اهداف زیر را محقق کند :

- جلوگیری از ورود مواد خورنده از قبیل رطوبت ، کلرید ها و دی اکسید کربن
- تجدید یا بهبود یکپارچگی عضو سازه ای با ترمیم یا افزایش مقاومت و سختی
- بهبود دوام
- بهبود سطح ظاهر بتن

ترمیم ترکهای بتن با تزریق رزین اپوکسی، رزین پلیمری با فشار به داخل ترک بتن هدایت میشود. ترمیم ترکهای بتن با تزریق رزین اپوکسی روشی کاملاً مهندسی و نوین میباشد که در این بخش سعی در معرفی و آموزش آن خواهیم داشت. ترمیم ترکهای بتن با تزریق رزین اپوکسی، ترک خوردگی بتن یکی از موارد شایع در اجرای سازه های بتنی می باشد. این ترک ها عموماً به دلایل جمع شدگی ناشی از خشک شدن، انقباض و انقباض حرارتی ، نشست نامتقارن، تکانه های وارده به سازه بتنی، عدم اجرای صحیح اتصالات و درز ها، بارگذاری بیش از حد که سبب ایجاد ترک های کششی، خمشی و برشی در بتن می شود و محدود کننده های تغییر شکل های جانبی ایجاد می گردد. یکی از راهکار های موثر ترمیم ، تزریق اپوکسی تحت فشار به داخل ترک ها می باشد. در واقع تأثیر تزریق رزین اپوکسی به داخل ترک باعث ایجاد یک پیوند پلیمری بسیار قوی بین دو جداره شده و ضعف بوجود آمده بدلیل ترک خوردگی عملاً بهبود می یابد. البته پیش از اجرای هرگونه روش ترمیمی ، دلیل ایجاد ترک در بتن باید مورد بررسی قرار گیرد و اقدامات لازم جهت رفع مشکل به عمل آید زیرا در غیر این صورت ممکن است ترمیم ترک با متد تزریق اپوکسی ، فاقد کارایی باشد

### دلایل ایجاد ترک خوردگی

زلزله ۲- برخورد اجسام ۳- موج ناشی از انفجار ۴- ارتعاشات ناشی از دستگاه ها ۵- افت و حرارت تغییر دما و آتش سوزی ۷- نفوذ آب و یخزدگی و یا تغییرات درصد رطوبت ۸- نشست های ناهمسان پی فرو نشست ۱۰- ضعف مصالح و یا ناسازگاری با هم دیگر ۱۱- تغییر کاربری ۱۲- مواد شیمیایی خورنده ضعف در طرح ۱۴- ضعف در ساخت

ترک های ایستا- ترک های پیش رونده کند- ترک های پیش رونده سریع

### انواع ترک خوردگی های بتن و زمان بروز آن ها

نوع ترک خوردگی	زمان پیدایش پس از بتن ریزی
نشست خمیری یا پلاستیک بتن	۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت
جمع شدگی یا افت پلاستیک	۳۰ دقیقه تا ۶ ساعت
انقباض حرارتی در کوتاه مدت	۱ روز تا ۱۴ روز
جمع شدگی در اثر خشک شدن در دراز مدت	چند هفته تا چند ماه

### انواع ترک خوردگی های بتن

ترک ناشی از افت پلاستیک  
 ترک ناشی از نشست پلاستیک  
 ترک ناشی از افت خشک شدگی  
 ترک پوست ماری (موزائیکی)  
 ترک ناشی از خوردگی و زنگ زدگی میلگرد

ترک ناشی از واکنش قلیایی دانه ها  
ترک ناشی از سبکل های یخ زدن و ذوب شدن بتن  
ترک ناشی از حمله سولفات  
ترک ناشی از انبساط و انقباض حرارتی زودرس  
**ترکهای غیر سازه ای**

- این ترک ها بسیار متنوع هستند.
- علاوه بر مشکلات ظاهری، باعث تخریب و انهدام تدریجی بتن می شوند.
- شناسایی این ترک ها نیاز به تجربه و علم کافی دارد
- ترک در بتن مثل تب است در بیمار

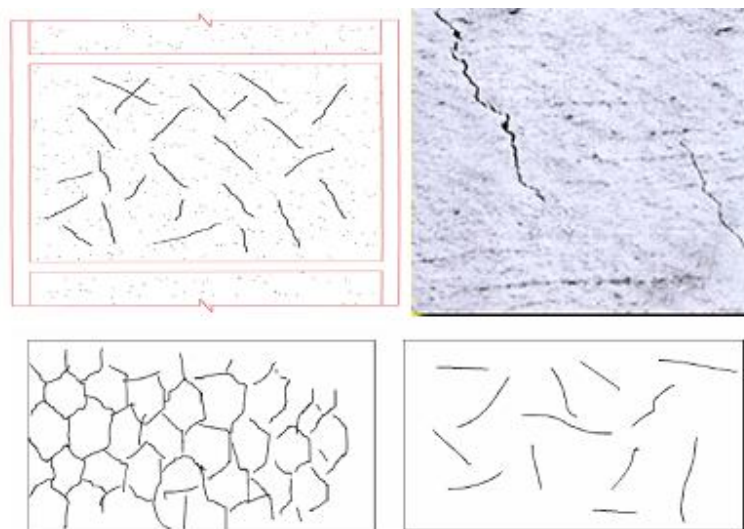
### ترک های افت پلاستیک Plastic Shrinkage Cracking

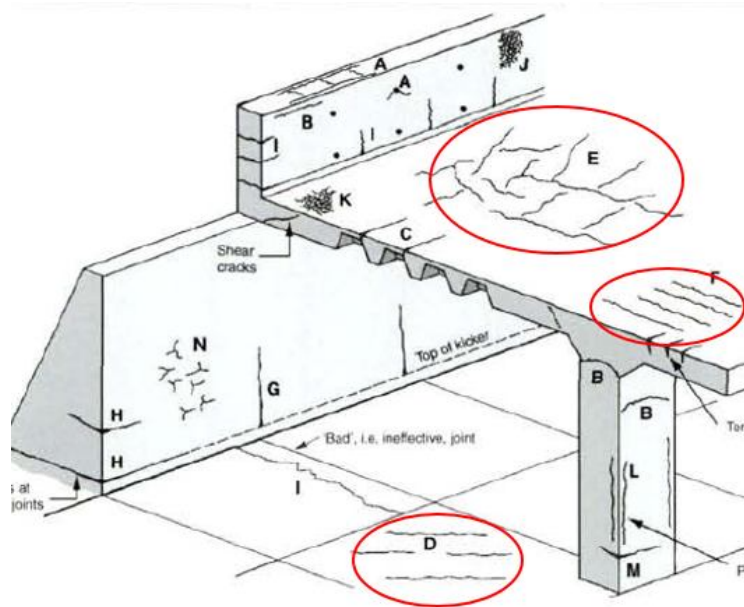
- در سطح بتن تازه اتفاق می افتد.
- ۱ تا ۸ ساعت پس از بتن ریزی
- اگر تبخیر سطحی آب بیش از مقداری شود که با آب انداختگی جانشین می شود ( $1 \text{ kg/m}^2.\text{hr}$ ).
- معمولا روی سطوح افقی
- معمولا موازی و متقاطع و با فواصل  $3/0$  تا  $1$  متر
- در حالات خاص با فواصل حتی  $5 \text{ mm}$  و یا چند متر
- در ابتدا کم عمق، ولی ممکن است به عمق کامل برسند.
- معمولا محیط دال را قطع نمی کنند.

### انواعی از ترک افت پلاستیک

۱- ترک های تقریبا موازی

۲- به صورت تصادفی با الگوی چند وجهی





### جلوگیری از ترک افت پلاستیک در بتن Plastic Shrinkage Cracking

کم کردن نسبت آب به سیمان

مرطوب کردن بستر بتن

شروع سریع مراقبت مرطوب

سایه اندازی (Sunshade)

جلوگیری از باد (Wind breaker)

ایجاد مه آب (Fog nozzle)

پوشش با پلاستیک

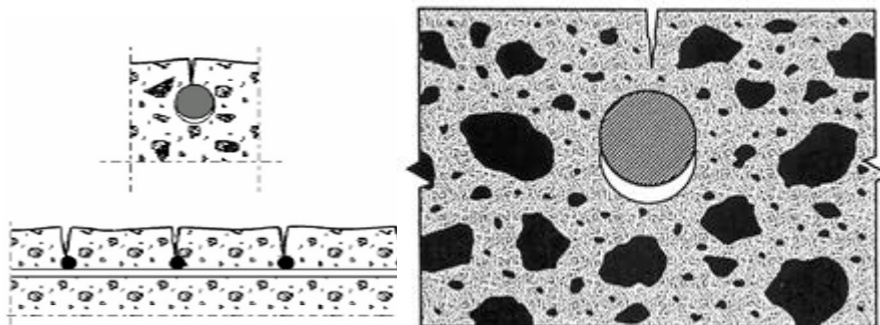
استفاده از کند کننده های تبخیر و مواد کیورینگ

ماله کشی با تاخیر

استفاده از الیاف در بتن

### ترک نشست پلاستیک Plastic Settlement Cracking

- بتن تازه ممکن است در اثر ویبره و پرداخت، تمایل به ادامه تحکیم داشته باشد.
- بتن پلاستیک ممکن است به طور موضعی مقید شود؛ این تقید موضعی باعث ایجاد حفره در زیر محل تقید، و ترک خوردگی در بالای آن می شود.

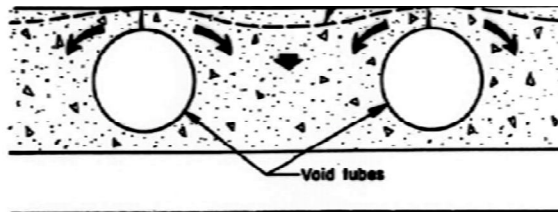




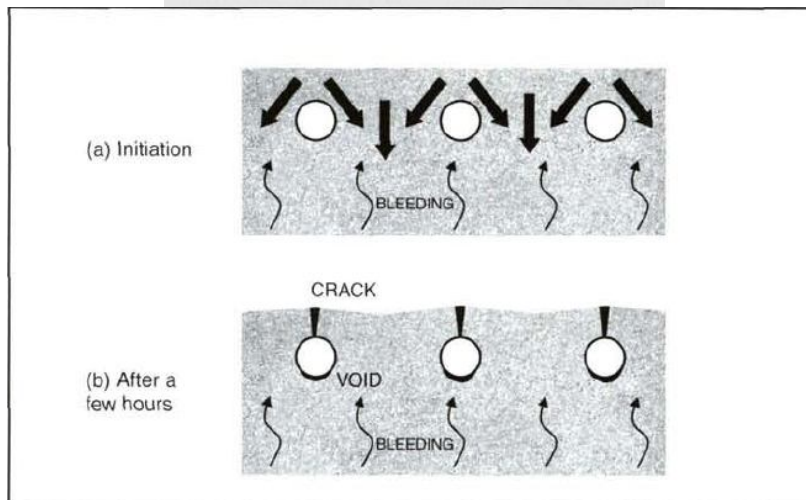
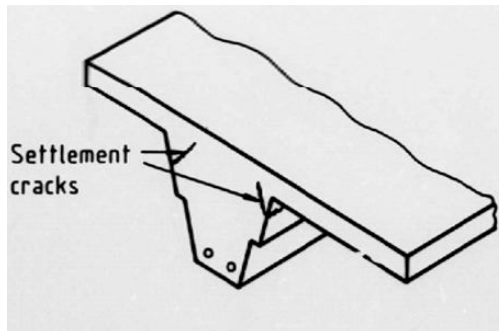
### قید ایجاد کننده ترک نشست پلاستیک

تقید توسط ۱- میلگرد

تقید توسط: ۲- بتن سخت شده قبلی ۳- قالب



تقید توسط: ۴- نشست نامساوی



### Mechanism of Formation of Plastic Settlement Cracks

#### محل های محتمل ترک نشست پلاستیک

۱- روی شبکه میلگرد در دال، تیر، شناژ، و دیوار

۲- در محل مهار دو طرف قالب

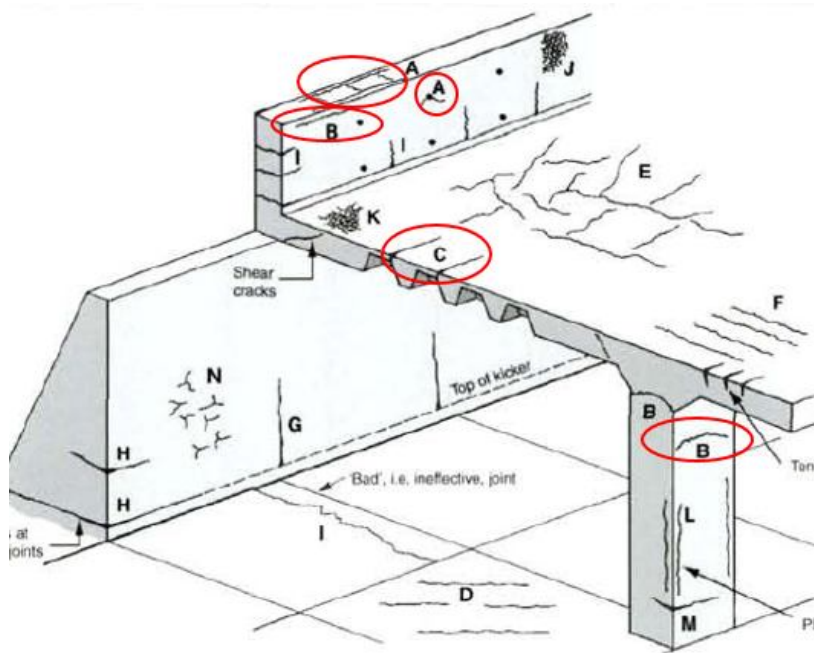
۳- به صورت افقی و محدب در بالای ستون (Arching)

۴- به صورت افقی در بالای دیوار

۵- در محل اتصال تیرچه به دال و به موازات تیرچه

#### جلوگیری از ترک نشست پلاستیک Plastic Settlement Cracking

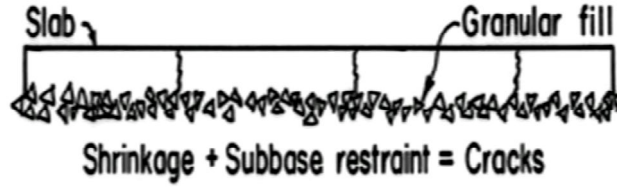
کم کردن نسبت آب به سیمان  
 ویبره کافی و نفوذ مناسب سوزن ویبره  
 شروع سریع مراقبت مرطوب  
 طراحی مستحکم قالب  
 جلوگیری از تراکم میلگردها  
 رعایت فاصله زمانی مناسب ریختن بتن در ستون، تیر عمیق، و یا تیر و دال  
 استفاده از کمترین اسلامپ ممکن  
 افزایش پوشش بتن  
 ۹- درزگیری مناسب قالب ۱۰- ماله (ویبره) مجدد



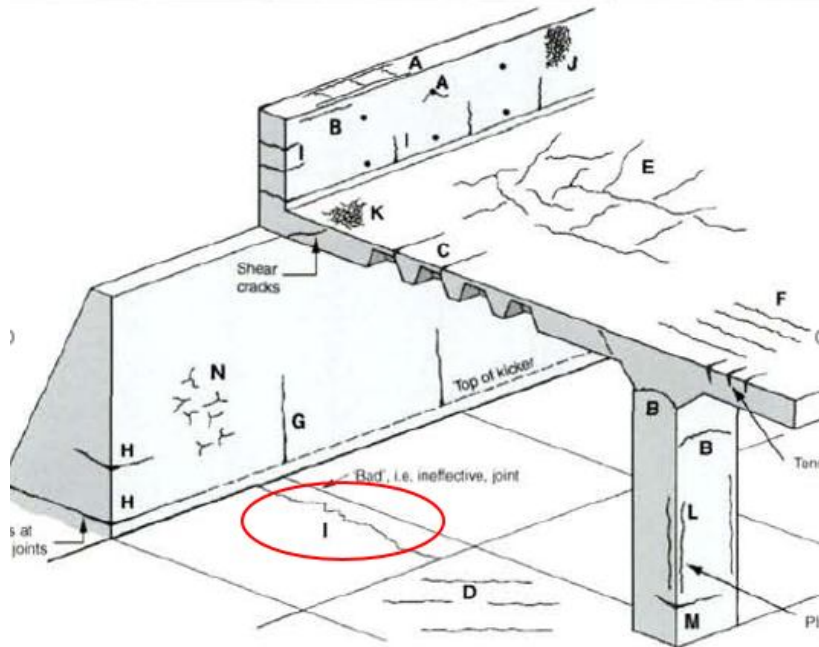
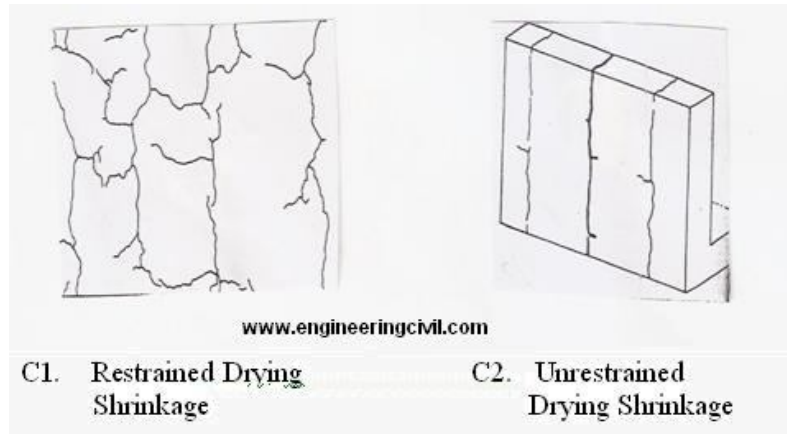
### ترک های افت خشک شدگی Drying Shrinkage Cracking

- در سطح بتن خشک شده اتفاق می افتد.
- از ۲۴ ساعت تا چند ماه پس از بتن ریزی
- اکثرا به صورت موازی و با فواصل ۴ تا ۶ متر (غیر مقید)
- گاه به صورت شبکه ای و با فواصل چند متر (مقید)
- کاملا عمیق (عمق کامل عضو)
- معمولا ترک باز می شود (تا چند میلی متر)
- ۲۵٪ در ۲ هفته اول؛ ۵۰٪ در ۳ ماه اول؛ ۸۵٪ در سال اول

Shrinkage + Freedom to move = No cracks



تأثیر قید در ترک های افت خشک شدگی

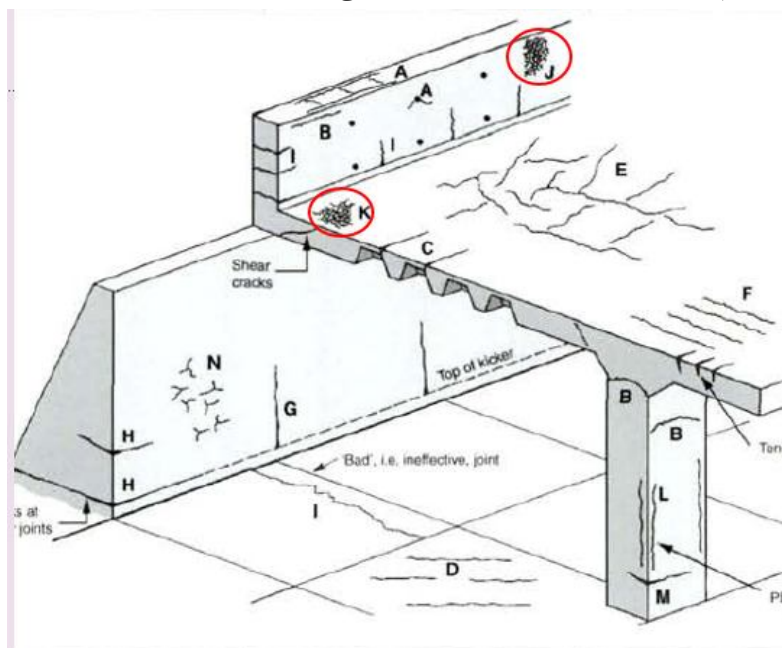


جلوگیری از ترک های افت خشک شدگی Drying Shrinkage Cracking

کم کردن نسبت آب به سیمان  
 مراقبت مرطوب پیوسته (۷ تا ۱۰ روز)  
 پوشش با پلاستیک جهت حفظ آب و ممانعت از اثر باد  
 کم کردن خمیر سیمان مصرفی (در حد امکان)  
 استفاده از دانه های با مدول الاستیسیته بالاتر  
 استفاده از درزهای انبساط و انقباض با فواصل مناسب

### ترک های سطحی پوست ماری (موزائیکی) Crazing of Concrete

- توسعه شبکه ای از ترک های موین تصادفی در سطح بتن
- به دلیل افت در لایه نازکی از سطح بتن پلاستیک؛ غالباً در سطوح با ماله کشی و یا بسیار صاف
- قابل مشاهده در روز اول پس از بتن ریزی و یا حداکثر ۱ هفته
- گاه فقط در سطح در حال خشک شدن قابل رویت هستند.
- چند وجهی نامنظم با بعد ۱۰ تا ۵۰ میلی متر
- عمق حداکثر ۳ میلی متر
- مشکل سازه ای و دوام نداشته و نمای دید را نامناسب نشان می دهند.



### دلایل پوست ماری شدن سطح بتن

- ۱- نسبت آب به سیمان بالا
- ۲- مراقبت مرطوب ضعیف یا ناکافی
- ۳- مراقبت مرطوب منقطع همراه با خشک شدن
- ۴- شیره ملات اضافی روی سطح
- ۵- جلوگیری از تراکم میلگردها
- ۶- پرداخت یا ماله کشی در حضور آب انداختگی

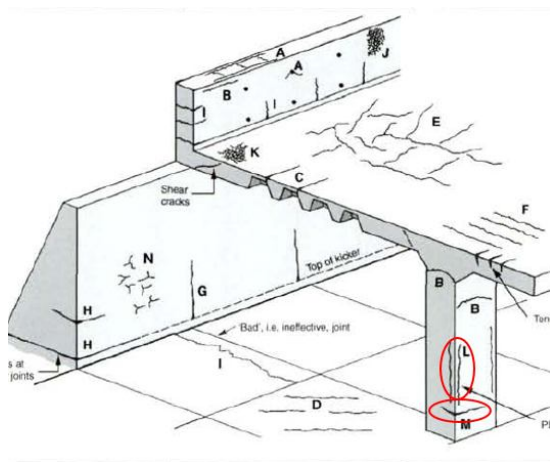
۷- پاشیدن سیمان روی سطح بتن جهت خشک کردن

۸- ویرۀ بیش از حد منجر به آب و شیرۀ سطحی روی بتن

۹- قالب بندی بدون نفوذ

### ترک های ناشی از پدیده کربناسیون و زنگ زدگی میلگرد

- در اثر نفوذ  $CO_2$  هوا به بتن در حضور رطوبت
- با از دست رفتن حالت قلیایی بتن و کاهش pH
- نفوذ اکسیژن
- زنگ زدگی میلگرد و افزایش حجم آن
- ترک خوردگی بتن روی میلگرد
- توسعه ترک خوردگی و ریختن بتن پوسته
- نفوذ یون کلرید هم می تواند به طور مشابه عمل کند

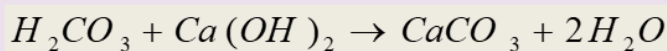
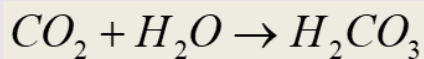


### پدیده کربناسیون

در این فرآیند با نفوذ دی اکسید کربن، حالت قلیایی (بازی) بتن کاهش یافته و pH بتن کم می شود و زمینه مستعدی برای از بین رفتن لایۀ محافظ، و سپس زنگ زدگی و خوردگی میلگرد فراهم می شود. باعث می شود بتن تخریب شده و نیز سطح مقطع میلگرد کاهش یابد.

## کربناسیون

در اثر نفوذ CO<sub>2</sub> هوا به بتن :



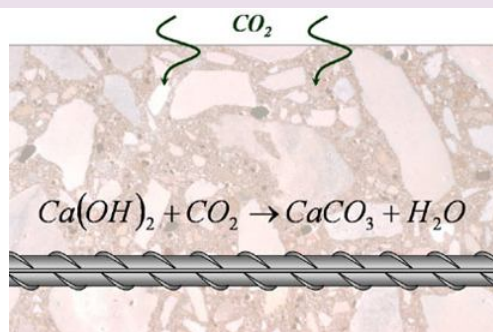
➤ در محیط های روستایی غلظت CO<sub>2</sub> هوا ۰/۰۳ درصد بوده و در محیط های شهری ۱۰ برابر است است.

➤ انجام واکنش به عوامل زیر بستگی دارد.

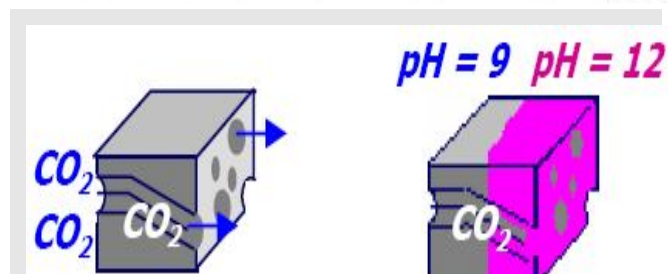
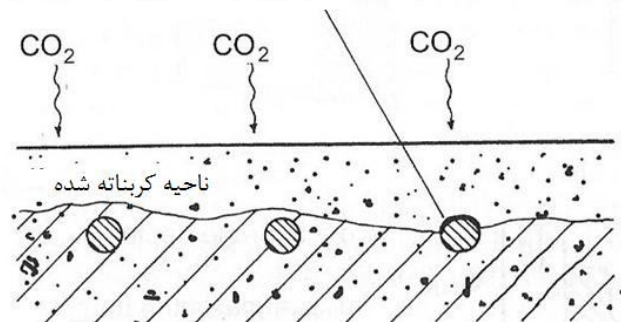
۱- غلظت CO<sub>2</sub> هوا هرچه بیشتر، کربناسیون شدیدتر است.

۲- رطوبت

$$25\% < RH < 100\%$$



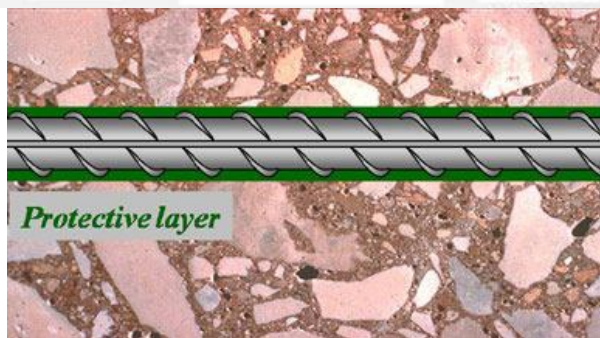
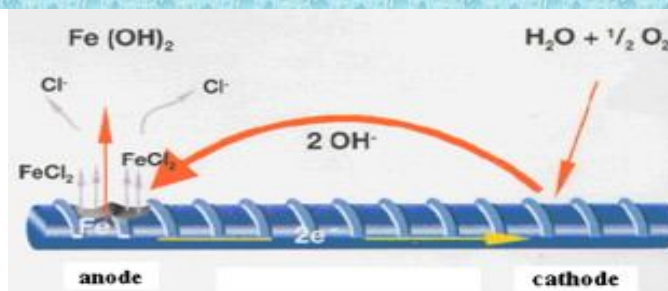
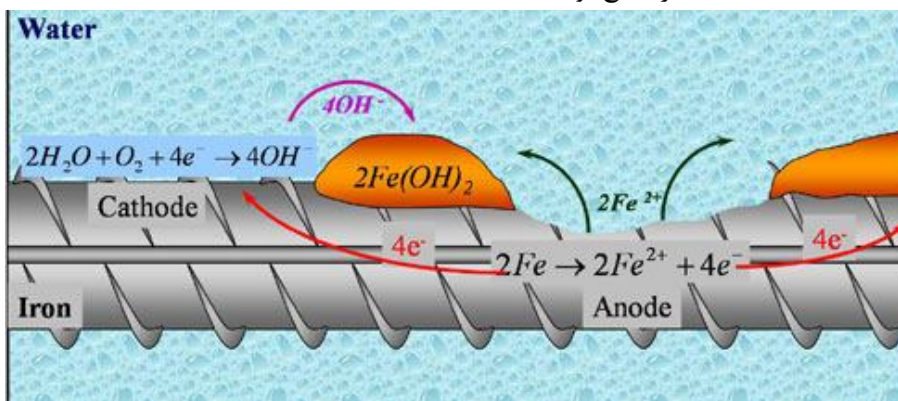
از بین رفتن لایه مقاوم اطراف آرماتور



کربناسیون و کاهش pH بتن

### شرایط لازم برای وقوع خوردگی الکتروشیمیایی

- ایجاد آند برای تولید الکترون
- ایجاد کاتد برای جذب اکسیژن
- وجود اکسیژن در کاتد
- وجود آب در کاتد
- ارتباط الکتریکی بین آند و کاتد برای انتقال الکترونها و یونها
- حذف لایه اکسید محافظ از سطح فولاد



لایه محافظ (یا رویین یا غیر فعال) (Passive Film)

### محیط بتن و لایه محافظ

محیط بتن قلیایی بوده و این شرایط سپر محافظی برای نگهداری لایه محافظ و جلوگیری از خوردگی بتن محسوب می شود.

از اجزای خمیر سیمان هیدراته شده:  $\text{Ca(OH)}_2$

$\text{pH} = 13.0 - 13.5$

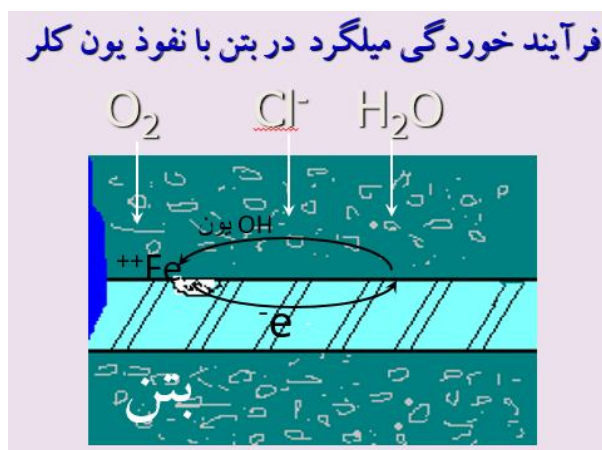
دلیل خوردگی میلگردها

تخریب لایه محافظ به صورت زیر:

- کاهش قلیائیت خمیر سیمان و زایل شدن لایه محافظ در همه جا (کربناسیون و نیز شوره زنی)
- از دست رفتن لایه محافظ به طور موضعی به دلیل حمله یون های مهاجم (یون های کلر)

### تأثیر یون کلرید

یون کلرید به صورت موضعی حالت قلیایی بتن را زایل کرده و باعث تخریب لایه محافظ میلگرد در بعضی از قسمت ها می شود.



### منابع یون کلر

در زمان اختلاط بتن

آب اختلاط

سنگدانه های حاوی کلر

مواد مضاف

در زمان بهره برداری

نمک های ضد یخ

کلر موجود در محیط اطراف (آب دریا، خاکهای حاوی کلر)

### ترک ناشی از واکنش قلیایی دانه ها Alkali-Aggregate Reaction Cracking

به دلیل افزایش حجم سرطانی در بتن

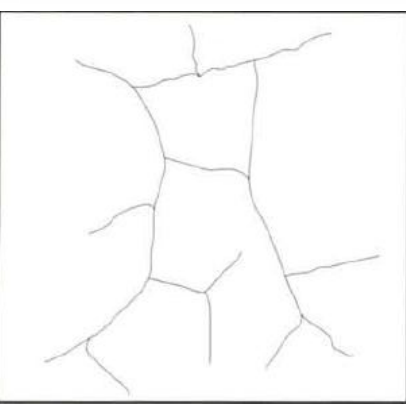
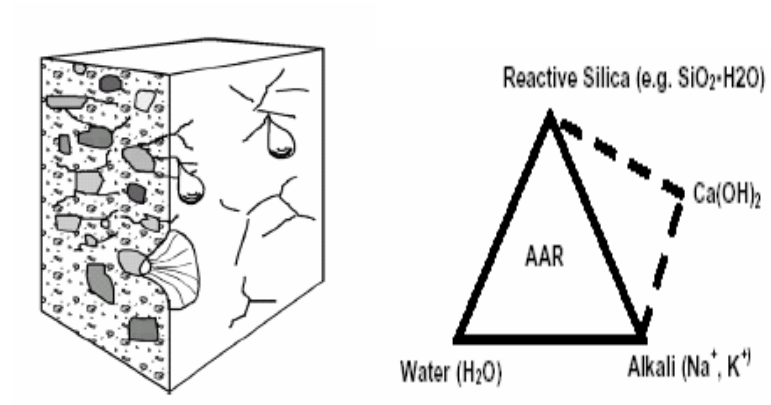
شرایط لازم: ۱- قلیایی بیش از حد (۰/۶/۱۰) در سیمان،

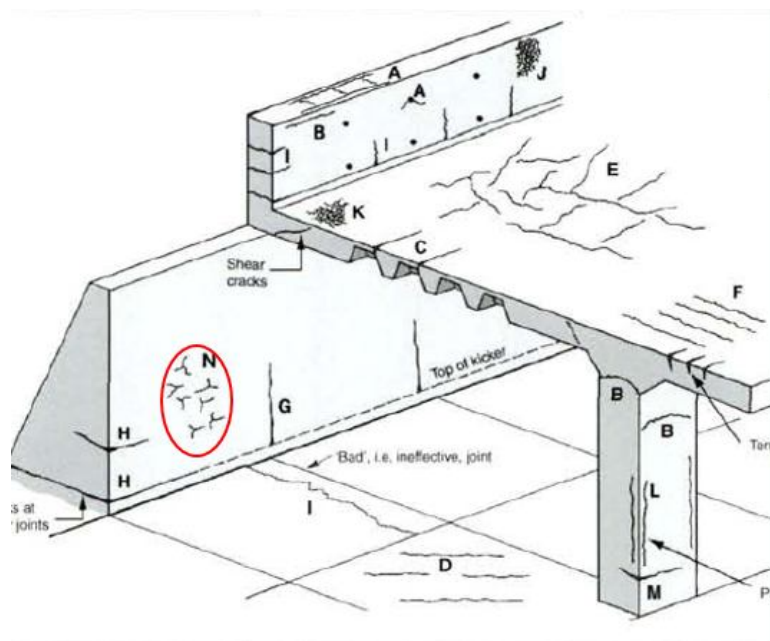
۲- استعداد واکنش قلیایی دانه ها

۳- حضور رطوبت

- اگر دانه حاوی سیلیس فعال باشد: ASR (واکنش قلیایی-سیلیسی)
- اگر دانه حاوی کربنات فعال باشد: ACR (واکنش قلیایی-کربناتی)
- ترک پوست سوسماری (یا ترک نقشه ای)
- شبکه ای از ترک های به هم پیوسته
- آثاری شبیه ژل یا رزین در ترک مشاهده می شود.







### ترک های ناشی از حمله سولفات - Cracking due to Sulfate Attack

- در اثر نفوذ و عملکرد یون سولفات در بتن عوامل موثر: ۱- نسبت آب به سیمان (باید به ۴/۰ محدود شود)
- ۲- میزان یون سولفات
- ۳- میزان C3A موجود در سیمان
- ۴- استفاده از میکروسیلیس و یا سرباره

- ایجاد ترک های نقشه ای
- جابجایی سطحی بتن و تغییر شکل دال های کف
- انهدام سطحی بتن

### ترک ناشی از سیکل های یخ زدن و ذوب شدن بتن

#### D-Cracking due to Freeze and Thaw

- در اثر یخ زدن و ذوب شدن بتن در طول زمان عوامل موثر: ۱- نسبت آب به سیمان (باید به ۴/۰ محدود شود)
- ۲- تخلخل و نفوذ پذیری دانه و جذب آب آن
- ۳- حضور حباب هوای ریز در بتن (بتن هوادار)
- ۴- استفاده از میکروسیلیس و یا سرباره

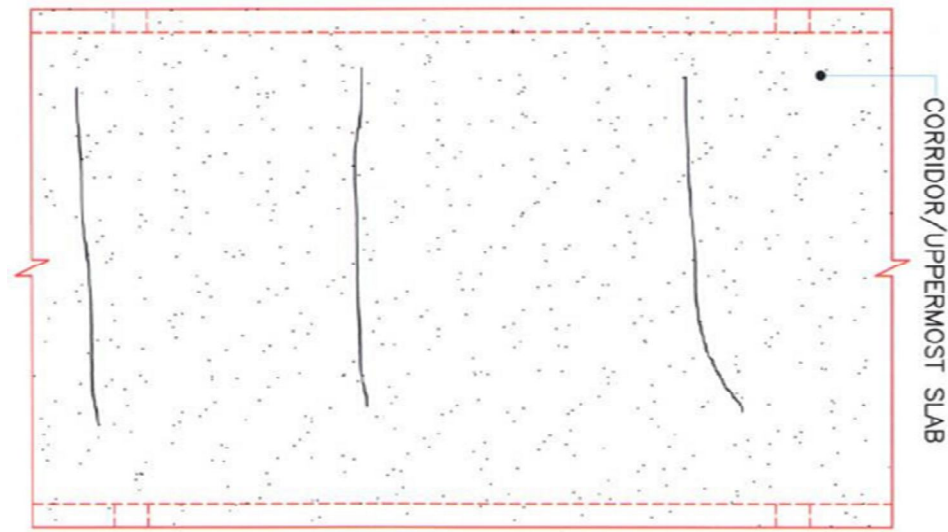
- ایجاد ترک هایی به شکل D به خصوص در مجاورت لبه و درز
- انهدام سطحی بتن



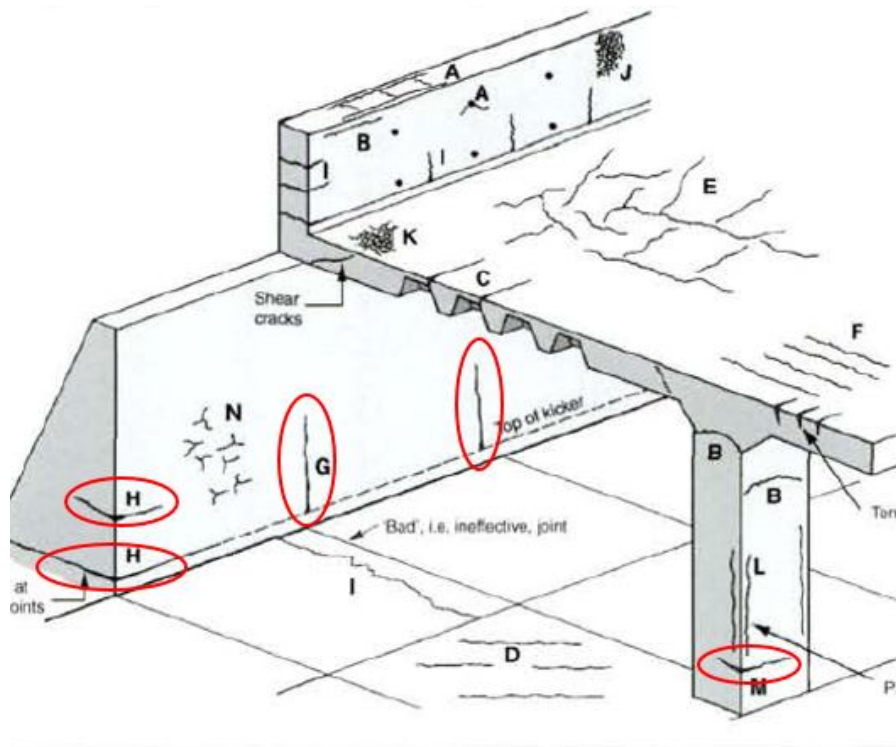
ترک ناشی از انبساط و انقباض حرارتی زودرس بتن

### Early Thermal Expansion and Contraction

- به دلیل تولید حرارت زیاد، و یا ایجاد گرادیان حرارت زیاد
- سرد شدن سریع بتن در سنین اولیه
- مراقبت با آب سرد از بتن
- معمولاً پس از ۱ روز تا چند هفته ظاهر می شوند.
- در جایی ایجاد می شوند که قید خارجی و یا داخلی باشد (مثلاً نزدیک به اتصال دیوار به زمین، و یا اتصال ستون به پی)
- دیوارها و دال های ضخیم مستعد هستند.
- جهت جلوگیری: کم کردن حرارت، ایزوله کردن بتن، کم کردن دمای اولیه بتن، کم کردن فاصله میلگردها



Thermal Cracks in Slabs



**خوردگی بتن و فرسودگی و تخریب سازه های بتنی**

نفوذ نمکها (INGRESS OF SALTS)

اشتباهات طراحی (SPECIFICATION ERRORS)

اشتباهات اجرایی (CONSTRUCTION ERRORS)

بارگذاری بیش از حد OVER LOADING

حملات کلریدی (CHLORIDE ATTACK)

حملات سولفاتی (SULPHATE ATTACK)

حریق (FIRE)

(الف) توانایی بتن در مقابله با گرما و همچنین عمل آب بندی، بدون اینکه ترک، ریختگی و نزول مقاومت حاصل گردد.

(ب) رسانایی بتن (CONDUCTIVITY)

(ج) ظرفیت گرمایی بتن (HEAT CAPACITY)

عمل یخ زدگی (FROST ACTION)

نمکهای ذوب یخ (DE-ICING SALTS)

عکس العمل قلیایی سنگدانه ها (ALKALI-AGGREGATE REACTION)

۱۱ کربناسیون (CARBONATION)

Structural cracks ترکهای سازه ای

due to incorrect design

faulty construction

Overloading

Non Structural cracks ترکهای غیر سازه ای

Moisture changes تغییرات رطوبتی  
Thermal movement گرادبان و جابجایی حرارتی  
Elastic deformation تغییر شکل الاستیک  
Creep خزش  
Chemical reaction واکنش شیمیایی  
Foundation movement and settlement of soil نشست خاک و جابجایی فونداسیون  
Vegetation تاثیر پوشش گیاهی  
Early Thermal Expansion and Contraction

بعضی از عیوب سطحی دیگر در بتن

تاول یا جوش (Blister)

پودر شدگی (Dusting)

گود افتادگی (Low Spots)

تورق (Delamination)

شوره زنی (Efflorescence)

تغییر رنگ (Discoloration)

پولک اندازی (Scaling)

بیرون جهیدگی (Pull out)

تابیدگی (Curling)

بررسی روشهای تزریق:

روش های تزریق رزین تحت فشار کلا به دو نوع میباشد :

الف) تزریق اپوکسی از سطح

ب) تزریق اپوکسی در عمق

در هر دوی این روش ها ماده چسباننده پلیمری را با فشار بالا به داخل ترک بتن هدایت میکنند. اما موقعیت قرار گیری ترک ها و عمق و ضخامت آنها عامل اصلی در تعیین نوع تزریق میباشد.

الف : روش تزریق اپوکسی از سطح



در بسیاری از سازه ها عرض ترک بتن بسیار کم بوده و فاصله آنها نیز نزدیک به هم می باشد. برای مثال ترک های حرارتی که در بتن ریزی های حجیم رخ می دهد، از این دسته ترک ها می باشد. اگر عضو بتنی مورد استفاده تحت بار دینامیکی نیز باشد

، گسترش ترکها به مرور زمان در این گونه از ترک ها مشهود می باشد. در روش تزریق سطحی نیپل تزریق روی سطح نسب می شود. نیپل یا روزنه تزریق توسط بتونه اپوکسی روی سطح نصب شده سپس یک لایه الیاف پلیمری روی سطح به نحوی قرار می گیرد که دهانه نیپل تزریق از میان آن عبور کرده باشد. پس از گذشت زمان مناسب و سفت شدن بتونه اپوکسی تزریق از سطح به وسیله اتصال نازل دستگاه تزریق اپوکسی به ورودی نیپل انجام می گیرد. در فشارهای بالا که نیپل تمایل به جدا شدن از سطح را دارد الیاف پلیمری فشار را به سطوح اطراف منتقل و باعث چسبندگی نیپل به سطح می شود.

### ب : تزریق اپوکسی در عمق

در این روش عرض و عمق ترک ها به گونه ای است که استفاده از روش تزریق سطحی جوابگو نیست. عامل انتقال رزین پلیمری به ترک در تزریق عمقی فشار پمپ تزریق اپوکسی می باشد. اینکار با استفاده از ابزارهایی خاص بنام پکر تزریق یا نیپل تزریق انجام می گیرد. پکرهای مورد استفاده برای تزریق با اندازه های مختلفی در بازار ارائه می گردد که با توجه به عمق و نوع ترکها باید انتخاب شوند. تفاوت بین پکر و نیپل، علاوه بر شکل ظاهری، در نوع کاربریشان است. برای شرایطی که عرض ترک زیاد بوده و یا کاشت پکر بدلیل تراکم میلگرد یا موقعیت هندسی ترک امکان پذیر نباشد، باید از نیپل استفاده شود. در تصویر زیر نمونه هایی از پکر ها و نیپل برای ترمیم ترکهای بتن با تزریق رزین اپوکسی نشان داده شده است.



### مراحل پر کردن ترک ها با رزین اپوکسی :

برای این منظور ترکهای موجود مشخص و پس از تمیز نمودن سطوح ترکها با استفاده از مواد شیمیایی ویژه اقدام به نصب روزنه های تزریق ( نیپل ، پکر ) در فواصل مشخص می نماییم و با استفاده از چسبهای ویژه ( ملات ترمیمی اپوکسی ECOPATCH E420 یا ECOPATCH UWE840 ) سطح ترک درز بندی می شود تا تحمل فشار ناشی از تزریق را نموده و امکان نفوذ رزین اپوکسی فراهم شود. تفاوت دو محصول فوق در محل مورد استفاده شان می باشد. برای تزریق در محیط خشک باید از ECOPATCH E420 استفاده شود اما در صورتی که محل استفاده مرطوب باشد و یا عمل تعمیرات در حضور رطوبت و یا آب صورت گیرد (تزریق رزین در زیر دریا، پایه پل های روی رودخانه، جداره سد و سایر سطوح در معرض باران، تثبیت سنگ در دامنه کوه ها و ... ) بایستی حتما از محصول ECOPATCH UWE840 استفاده شود. سپس با استفاده از پمپهای ویژه رزین اپوکسی ECOFIT E900 یا ECOFIT UWE901 را که دارای چسبندگی بالا و زمان گیرش مناسب می باشد از پایین ترین روزنه شروع به تزریق اپوکسی می نماییم. محصول ECOFIT E900 برای استفاده در محیط خشک و ECOFIT UWE901 مخصوص استفاده در محیط خیس ، مرطوب و نقاطی که حضور فیزیکی آب مشهود است می باشد. پمپ تزریق

رزین اپوکسی با توجه به حجم کار، شرایط پروژه و تسهیلات موجود می تواند از نوع پمپ تزریق دو مخزنه، پمپ تزریق تک مخزنه و از نوع برقی، پدالی و یا دستی باشد.



↑ پمپ تزریق یک مخزنه ↑



↑ پمپ تزریق دو مخزنه برقی ↑

به محض اینکه مواد تزریق (رزین اپوکسی) از روزنه تزریق بعدی تراوش کرد یا فشار کار دستگاه بالا رفت، تزریق را متوقف کرده و از روزنه بعدی ادامه عملیات ترمیم ترکهای بتن با تزریق رزین اپوکسی را انجام می دهیم. به منظور اطمینان از صحت تزریق، از ترکها مغزه گیری می شود تا میزان نفوذ رزین اپوکسی مشخص گردد. علاوه بر این می بایستی نمونه ها با استفاده از جک بارگذاری و شکسته شوند که در این آزمایش صفحه شکست نباید از سطح ترک خورده ای که با رزین اپوکسی پر شده است عبور کند.

### ترمیم ترکهای بتن با تزریق رزین اپوکسی :

آیین نامه ACI 503 – Specification for Crack Repair by Epoxy Injection

راهنمای ترمیم به روش تزریق رزین اپوکسی

بسته ۴ کیلویی رزین تزریق اپوکسی دو جزئی RTAFIT E900 مطابق استانداردهای ASTM, ASTM C881

DIN 53505, DIN 53457, D638

۲۰ عدد پکر تزریق ۸ سانتی و ۲۰ عدد نیپل تزریق به همراه مته متناسب با سایز پکر

یک عدد پمپ تزریق دستی

بسته ۴ کیلویی بتونه اپوکسی ECOPATCH E420 مطابق استاندارد ASTM C881 Type 1

لوازم ایمنی فردی

### تعمیر ترک سازه‌ای با تزریق اپوکسی

شیوه تزریق بسته به محل ترک و کاربری عضو ترک خورده متفاوت است. مثلاً برای ترکهای افقی، عمودی یا بالاسری باید رویکردهای متفاوتی در نظر گرفت. روش کار می بایست بر اساس میزان دسترسی به سطح ترک خورده و ابعاد ترکها انتخاب شود. ترکها را می توان از یک طرف یا هر دو طرف عضو ترک خورده تزریق نمود. اگر امکان تزریق فقط از یک سمت عضو میسر باشد، ممکن است تغییر در غلظت ماده اپوکسی، تجهیزات مورد استفاده برای تزریق، میزان فشار تزریق و تعیین فواصل مناسب تزریق لازم باشد تا از نفوذ کامل اپوکسی در ترک اطمینان حاصل شود. در مورد علل و روشهای درمان ترک در بتن نوشته شده است که از مهمترین آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود.

ترکهای ناشی از انقباض بتن حین خشک شدن

ترکهای ناشی از انقباض و انبساطهای حرارتی

ترک‌های ناشی از نشست

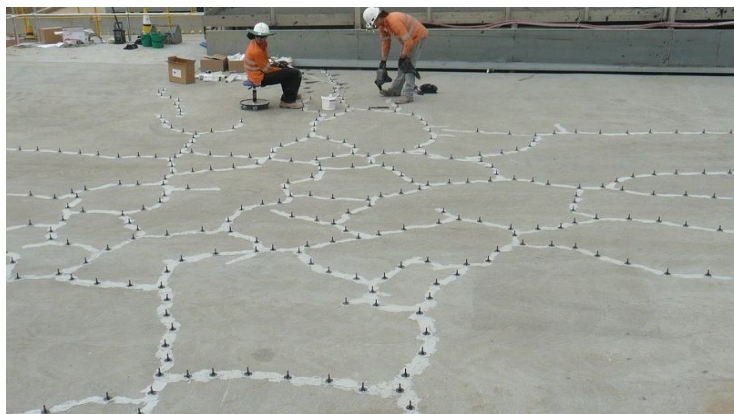
ترک‌های ناشی از فقدان درزهای کنترلی مناسب

شرایط بارگذاری نامتناسب که موجب ایجاد ترک‌های خمشی، کششی و برشی در بتن می‌شود.

ترک‌های ناشی از قیود و موانع حرکتی یکی از راهکارهای بلقوه مؤثر در تعمیر ترک

تزریق تحت فشار مواد اپوکسی درون ترک

به تناسب کیفیت اجرا و رعایت شرایط خاص و ملزومات کار درزگیری، تعمیر ترک‌ها به روش تزریق اپوکسی می‌تواند سلامت سازه‌ای عضو را بازگرداند و و میزان نفوذ رطوبت به ترک‌های با عرض  $0.5/0$  میلیمتر و بیشتر را کاهش دهد. هر چند، قبل از اقدام به هر تعمیری در بتن، علت ایجاد ترک باید مشخص شده و رفع شود. به طور کلی هدف از تعمیر باید از قبل مشخص شود. به عنوان مثال اگر ترک ایجاد شده در بتن ناشی از وجود قید یا مانع حرکتی باشد، روش درزگیری با اپوکسی فایده‌ای نخواهد داشت. در ترک‌های روی سطوح مسطح افقی که عرض مناسبی دارند، روش پرکردن ترک با اپوکسی بدون اعمال فشار اضافی، مناسبترین روش تعمیر است.



هدف اصلی از انجام این نوع تعمیر، بازگرداندن سلامت و صحت عملکرد سازه‌ای و عایق نمودن عضو بتنی در مقابل نفوذ رطوبت است. معمولاً تزریق زمانی به عنوان روش انتخابی در تعمیر ترک‌های افقی، عمودی و بالاسری مورد استفاده قرار می‌گیرد که سایر روش‌های مرسوم قادر به پرکردن کامل مواد تعمیراتی به درون ترک نباشند. پیش از شروع درزگیری با روش تزریق اپوکسی باید علت ترک خوردگی مشخص شود و تعمیر سازه‌ای عضو به طور قطع در دستور کار تعمیر قرار گیرد. اگر ترک مورد نظر در عملکرد سازه‌ای کل سازه مورد نظر بی تأثیر باشد، احتمالاً روش تزریق با گروت پلی اورتان یا دیگر ملات‌های غیرسازه‌ای می‌تواند انتخاب مناسبتری برای پر کردن ترک باشد. در صورت لزوم تعمیر سازه‌ای، عواملی که باعث ایجاد ترک شده، قبل از انجام تزریق اپوکسی، باید برطرف شود. چنانچه ترک مرطوب بوده و خشک کردن آن امکان پذیر نباشد، از ماده اپوکسی سازگار با رطوبت باید استفاده شود. ترک‌های ناشی از خوردگی آرماتورهای فولادی نباید به روش تزریق اپوکسی تعمیر شوند زیرا ادامه فرآیند خوردگی موجب بروز ترک‌های جدیدی خواهد شد.

### آماده سازی سطح

ناحیه اطراف ترک به عرض حدود ۱۳ میلیمتر از هر سمت باید تمیز شود. دلیل این کار، اطمینان از پیوستگی مناسب بین مصالح مصرفی در درزگیری با بتن ناحیه ترک است. تمیز نمودن با برس سیمی توصیه می‌شود زیرا ابزارهای ساب مکانیکی ممکن است درحین کار ترک را با گرد و غبار پر کنند. آلودگی‌ها را همچنین می‌توان با آب تحت فشار، هوای فشرده چربی زدا یا جاروی برقی صنعتی برطرف نمود. وقتی از آب برای تمیز کردن ترک استفاده می‌شود، برای تسریع در روند خشک شدن درز، باید از هوای گرم تحت فشار استفاده نمود. در غیر این صورت، قبل از تزریق با مواد اپوکسی حساس به آب، فرصت کافی برای خشک شدن طبیعی ترک باید لحاظ شود. در جاهایی که بتن طرفین ترک شکسته باشد، باید محل درز ترک به شکل



شمار V تراشیده شود تا سطح بی‌عیبی از بتن نمایان شود. در مواقعی که هنگام تزریق اپوکسی تحت فشار نیاز به ایجاد لایه درپوش محکمتری بر روی ترک باشد از این شمار می‌توان استفاده کرد. ویژگی‌های زیر را در مورد انتخاب نوع اپوکسی، می‌توان در انتخاب در نظر گرفت. مدول الاستیسیته (سختی)

عمر سازه

تغییرات رطوبت

رنگ

مقاومت فشاری، خمشی و کششی

### ملاحظات ایمنی

رزین‌های اپوکسی مواد خطرناکی هستند و در مواجهه با آنها باید این موضوع را در نظر گرفت. دستورالعمل‌های ایمنی محیط کار باید مد نظر قرار گیرند و تنها به موارد ذکر شده در زیر بسنده نشود. شیوه نامه مشخصات ایمنی محصول باید در کارگاه موجود باشد.

پوشیدن لباس و عینک ایمنی مخصوص در هنگام کار

استفاده از دستکش لاستیکی و کرم‌های محافظ برای دست‌ها

امکانات لازم برای شستشوی چشم‌ها در صورت نیاز

دستگاه تنفس مصنوعی برای مواقع ضروری

دستگاه تهویه برای فضاهای بسته

مخزن ایمنی برای نگهداری مواد خطرناک

در دسترس بودن مواد شوینده

اطلاع رسانی افراد در محل در حین اجرا برقراری و اجرای شیوه‌های تأمین سلامتی و ایمنی مقتضی و متناسب با شرایط کار بر عهده مجری است. کاربر باید قابلیت اجرا و کلیه محدودیت‌های مشخص شده را قبل از استفاده بررسی نماید.

### هماهنگی قبل از اجرا

پیش از اقدام به شروع عملیات درزگیری، برگزاری یک جلسه هماهنگی قبل از اجرا توصیه می‌شود. در این جلسه همه‌ی طرف‌های دخیل در پروژه تعمیر باید حضور داشته باشند (کارفرما، مشاور، پیمانکار، تولیدکننده مصالح و ...) و به صورت ویژه در خصوص پارامترها، مفاهیم، دستورالعمل‌ها، سیمای نهایی کار و الزامات مواد مصرفی برای نیل به اهداف تعمیر توضیحات لازم را بیان کنند.

### روش تعمیر ترک

نصب پستانک‌های مخصوص ورود مواد تزریق، پستانک‌ها باید صرفاً پس از آماده کردن سطوح نصب شوند. دو نوع از پستانک‌های مخصوص برای تزریق قابل استفاده هستند.

سطحی (نصب شده روی سطح)

سوکتی (نصب شده روی سوکت)

پستانک‌ها می‌توانند مانند هر وسیله لوله مانند، حرکت و انتقال رزین اپوکسی به درون ترک را میسر سازند. برخی تفنگ‌های مخصوص تزریق با نازل خاصی که دارند، امکان تزریق بدون استفاده از پستانک‌های مذکور را فراهم می‌کنند. در هنگام نصب پستانک‌ها رعایت فواصل ۴۰ میلیمتری مرکز به مرکز آنها باید رعایت شود که البته این فواصل در ترک‌های عریضتر می‌تواند افزایش یابد. فواصل پستانک‌ها ممکن است بر اساس ضخامت عضو بتنی تعیین شود. پستانک‌های نصب شده روی سطوح مسطح افقی، برای اکثر ترک‌ها مناسب هستند. پستانک‌های سوکتی در ترک‌هایی که بسته شده باشند مثلاً زمانی که با بتن

کلسیته شده مواجه باشید، کاربرد دارند. البته می‌توان از سیستم دارای چند خروجی برای تغذیه همزمان چند پستانک بطور همزمان بهره گرفت که به صرفه نیز است.

### اجرای لایه درپوش روی درز ترک

اجرای صحیح لایه درپوش روی ترک موجب حفظ ماده اپوکسی تزریق شده در وضعیت صحیح در زمان تزریق درون ترک می‌شود. زمانی که ترک‌ها کاملاً در ضخامت یک مقطع بتنی گسترش پیدا کرده باشند، بهترین حالت، اجرای لایه درپوش در هر دو طرف مقطع ترک خورده است که باعث محصور شدن مواد اپوکسی تزریق شده درون شیار ترک خواهد شد. جنس لایه‌های درپوش معمولاً از مواد اپوکسی، پلی استر، واکس پارافینی و پودر بتونه سیلیکونی هستند.

انتخاب صحیح ماده مصرفی برای درپوش باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های زیر و با توجه به نوع ترکی که تحت تعمیر قرار گرفته است صورت گیرد.

پایداری در مقابل نفوذ و شره زدن مواد درون ترک ( برای ترک‌های عمودی و بالاسری)

تغییرات رطوبت

عمر سازه

مدول الاستیسیته (سختی)

دمای بتن بعد از اجرای لایه درپوش تغییر می‌کند و قبل از تزریق ممکن است موجب ترک خوردگی لایه شود. اگر این اتفاق رخ داد باید قبل از تزریق نسبت به ترمیم لایه اقدام نمود. قبل از اجرای لایه درپوش باید محل عریضترین نقطه ترک را علامتگذاری نموده و به موارد زیر نهایت توجه صورت گیرد. فقط از موادی استفاده شود که تاریخ مصرفشان منقضی نشده باشد.

نسبت به بخشبندی دقیق ناحیه اجرای کار اقدام شود. سعی شود بخش‌های اجرای کار، تا حد ممکن کوچک انتخاب شوند تا مواد مصرفی بدلیل طولانی شدن مدت اجرا کهنه نشوند. رعایت فاصله پستانک‌ها به شکل صحیح صورت گیرد.

اجرای یکنواخت لایه درپوش در ابعادی به عرض ۲۵ میلیمتر و به ضخامت ۵ میلیمتر در طول ترک صورت گیرد.

### تزریق اپوکسی

برای یک تزریق موفقیت آمیز لازم است نسبت به بخش بندی مناسب محل و ترکیب متناسب مواد اپوکسی، دقیقاً بر اساس دستورالعمل تولید آن، اقدام شود.

قبل از شروع اجرا باید اطمینان حاصل شود که لایه درپوش و پستانک‌های تزریق به خوبی در جای خود محکم و پایدار باشند تا بتوانند فشار ناشی از تزریق را تحمل کنند. آغاز تزریق باید از عریضترین نقطه ترک در سطوح افقی شروع شود (پیش از قراردادن لایه درپوش، این نقطه باید مشخص شود).

در ترک‌های قائم تزریق معمولاً باید از پایین به بالا صورت گیرد. عمل تزریق باید تا حد امکان ادامه یابد. اگر یکی از

ورودی‌های مجاور شروع به پس زدن ماده و تراوش به خارج نمود.

عملیات تزریق در ورودی فعلی باید متوقف و درپوش آن بسته شود و ادامه عملیات از دورترین پستانک که در حال تراوش است (نسبت به نقطه فعلی) ادامه یابد.

غالباً ترک‌های مویی با روش پمپاژ تا پس زدن پر نمی‌شوند. برای این ترک‌ها باید برای مدت ۵ دقیقه نسبت به تزریق اپوکسی با فشار بالا اقدام نمود (حدود ۳/۱ مگاپاسکال).

انتخاب فواصل نزدیک به هم برای پستانک‌ها باید مبتنی بر قضاوت و فلسفه طراحی صورت گیرد. زمانی که تزریق درون یک ورودی تمام شد باید سریعاً درپوش آن بسته شود.

برای تزریق درون ترک‌های خیلی تنگ یا افزایش سرعت تزریق می‌توان از فشار بالا استفاده نمود. هر چند که در هنگام

استفاده از فشار بالاتر باید مراقبت‌های ایمنی در خصوص ترکیدن لایه درپوش یا پریدن پستانک‌ها صورت گیرد.

### برداشتن پستانک‌ها و لایه درپوش

به محض اینکه کار تزریق به پایان رسید باید پستانک‌ها و لایه درپوش را با حرارت دادن، تراشیدن یا دستگاه ساب مکانیکی از روی سطح برداشت. اگر نمای ظاهری کار اهمیت نداشته باشد، لایه درپوش می‌تواند در محل باقی بماند. اما اگر برداشتن کامل لایه مورد نظر باشد، برای رسیدن به یک سطح تمیز و کاملاً صیقلی می‌توان از دستگاه ساب سطحی استفاده نمود.

### چگونگی کنترل تعمیر ترک

برای اطمینان از موفقیت آمیز بودن تزریق، کنترل کیفیت بوسیله مغزه‌گیری یا آزمایشات غیر مخرب (NDE) انجام می‌شود.

### آزمایش مغزه‌گیری

محل گرفتن مغزه‌ها باید طوری انتخاب شود که موجب قطع میلگردهای فولادی نشود. در نقاطی از عضو که تنش‌ها بیشتر است یا از نقاط زیر خط تراز آب نباید اقدام به مغزه‌گیری نمود. در صورت مواجهه با مشکلاتی از این قبیل، تعیین محل مغزه‌گیری بر عهده مهندس مشاور می‌باشد. قبل از اینکه یک مغزه حفاری و خارج شود، باید اطمینان حاصل شود که ناحیه تزریق اپوکسی درون آن مغزه قرار گرفته باشد. مغزه‌گیری (معمولاً با قطر ۵۰ میلیمتر) برای کنترل میزان نفوذ مؤثر ماده اپوکسی انجام می‌شود. بازدید چشمی از مغزه‌ها در جهت مشخص نمودن میزان نفوذ اپوکسی در ترک صورت می‌گیرد. بر روی مغزه‌ها می‌توان آزمایشات مقاومت فشاری و مقاومت کششی را بر اساس ASTM C 42 انجام داد. در انتها، جای خالی مغزه‌ها باید (بعد از مراحل آماده سازی سطح) با یک ملات منبسط شونده یا ملات اپوکسی سازگار با بتن موجود و همچنین با بتن اطراف محل مغزه پر شوند.

### روش‌های ارزیابی غیر مخرب

امواج صوتی (IE)

امواج فرا صوت (UPV)

آنالیز امواج سطحی (SASW)

### تعمیر صحیح انواع ترک در بتن

اصولاً تعمیر صحیح انواع ترک در بتن به علت وقوع و همچنین انتخاب روش درخور آن بستگی دارد. در غیر این صورت تعمیرات ممکن است به صورت موقت باشند. لذا برای یک تعمیر موفق و همیشگی باید از عدم پیشروی علل ترک خوردگی کسب اطمینان نمود چرا که ممکن است برخی روش‌های رایج که برای تعمیر و اصلاح ترک‌ها در اعضا بتنی به کار گرفته می‌شوند، شامل موارد زیر است.



### تزریق اپوکسی یا فوم پلی یورتان

ترک‌های باریکی را می‌توان به طریقه تزریق رزین‌های اپوکسی پر نمود. در این روش نقاط تزریق متناوباً با فواصل کوتاهی در طول ترک قرار داده شده و سپس سطح ترک کاملاً آب بند می‌شود تا از فرار و نشست رزین در مدت تزریق جلوگیری شود. روش تزریق به این صورت است که رزین از یک نقطه تزریق شده و سپس اطمینان حاصل می‌شود که عمل تزریق تا نقطه

بعدی کاملاً صورت گرفته و خلل و فرج‌های اطراف پر شده است. معمولاً از پلی یورتان‌ها در مواقعی استفاده می‌شود که نیاز به ماده فنی احساس می‌شود. زیرا خاصیت ارتجاعی و انعطاف پذیری پلی یورتان‌ها بیش از سیستم اپوکسی‌ها است. یکی از نمونه‌های پلی یورتان‌ها، به کارگیری آنها در داخل مخازن و مخازن و جاهایی است که از سیستم انتظار مقاومت بالایی در برابر تغییرات و اختلاف دما می‌رود.

### بخیه زدن

این روش در موقعی به کار گرفته می‌شود که ترک‌های زیادی روی سطح بتن ظاهر شده و باید برای به دست آوردن و حفظ مقاومت سازه‌ای، آنها شکل با U را مسدود کنید. در این روش المان‌های پایه‌های کوتاه در عرض ترک‌های در درون حفره‌های تعبیه شده، قرار گرفته و سپس این حفره‌ها با ملات‌های روان یا دوغاب که خاصیت جمع شدگی ندارند، پر می‌شود.

### تنیدن

اگر در محل‌های مورد تعمیر، ترک‌ها در منقطه بسیار وسیعی ظاهر شده باشد، به طوری که بخیه زدن بسیار گسترده‌ای را ایجاد نماید، ممکن است راه حل تنیدن را مدنظر قرار داد. در روش تنیدن میلگرد یا کابل‌هایی در منطقه بتن آسیب دیده کارگذاری شده و پس به آنها تنش‌های از پیش محاسبه شده را وارد کرده و در نهایت مهارشان می‌نمایید. در این روش باید دقت کافی مبذول شود تا عمل تنیدگی باعث به وجود آمدن ترک‌هایی در مناطق دیگر نشود.

### افزودن میلگرد محاسباتی

این تکنیک شامل حفر سوراخ‌های مناسب، در صفحه ترک، تمیز نمودن ترک و سوراخ‌ها، درزگیری سطحی ترک، پر کردن سوراخ و صفحه ترک با اپوکسی و نصب سریع میلگردهای مسلح کننده در سوراخ‌های است. معمولاً میلگردهای ۱۳ تا ۱۶ میلیمتر برای این منظور استفاده می‌شود که در هر سمت ترک، حداقل نیم متر امتداد دارد.

### خورانش ثقلی (پر کردن ثقلی)

روش ثقلی تنها می‌تواند برای کف پارکینگ‌ها، سقف‌های طبقات و سطوح مشابه به کار برده شود. یعنی تنها برای ترک‌هایی که به قسمت پایین سطح افقی گسترش پیدا کرده باشد. بنابراین تزریق ثقلی رزین، نباید به عنوان یک راه حل درازمدت برای رفع مشکل ترک خوردگی، خوردگی و حمله سولفات‌های مورد توجه قرار گیرد.

### پر کردن با دوغاب سیمان یا گروت

این روش برای تعمیر ترک‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که غیر فعال هستند خصوصاً در سدهای وزنی و دیوارهای بتنی از گروت به علاوه سیمان پرتلند برای تعمیر ترک‌های عریض و از گروت به علاوه یک سری مواد شیمیایی برای آب بندی ترک‌هایی به باریکی ۰.۰۲/۰ اینچ معادل یا ۵/۰ میلیمتر استفاده می‌شود که البته مقاومت آن کمتر از سیمان پرتلند است.

### انواع ترک در ساختمان

ترک در ساختمان امر نامطلوبی است که علاوه بر ایجاد حس ناخوشایند در بیننده در برخی از حالات می‌تواند منجر به خسارت های جبران ناپذیر در سازه گردد. لذا آشنایی و شناخت انواع ترک در ساختمان از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

### طبقه بندی ترک ها

انواع ترک را می توان به شکل های مختلف طبقه بندی نمود مانند ترک های سازه ای و ترک های غیر سازه ای ، انواع ترک از نظر عرض آن ، جهت ترک مانند ترک افقی ، ترک مورب و ....

### ترک های سازه ای

این ترک در اجزا سازه ای ساختمان مانند تیر ها ستون ها و دیوارها اتفاق می افتد و عدم توجه به آن در برخی از موارد پیامد های بسیار جدی در بر دارد که می تواند منجر به تخریب ساختمان گردد. از علت های ایجاد این نوع ترک می توان به موارد ذیل اشاره نمود.

ضعف در طراحی و محاسبات سازه

روش اجرای نادرست

عدم استفاده از مصالح استاندارد

بارگذاری بیش از حد بر روی سازه (بار قائم و افقی)

نشست (جابجائی) فونداسیون

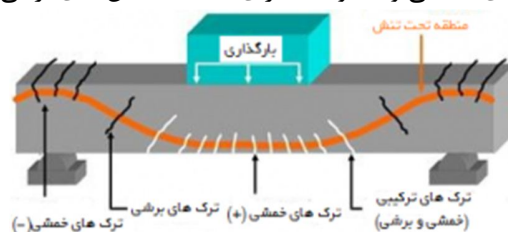
گودبرداری غیر اصولی در مجاورت سازه

تنش های حرارتی

### ترک در تیرهای بتنی

ترک در تیرهای بتنی به دو دسته ترک های ناشی از تنش های خمشی و ترک های ناشی از تنش های برشی تقسیم می شوند . که بسته به شرایط تکیه گاهی محل وقوع آنها تغییر می نماید . شکل زیر ترکهای ایجاد شده در تیرهای بتنی را نشان می دهد.

میلگردهای طولی برای مقابله با ترکهای خمشی و خاموت ها برای مقابله با تنش های برشی در تیر بتنی تعبیه می گردند.



ترکهای خمشی و برشی در تیر های بتنی

### ترک در ستون های بتنی:

ترکهای قطری

این ترکها می تواند ناشی از کم بودن سطح مقطع فولاد مورد نیاز ( میلگرد های طولی و تنگ ها) برای مقابله با نیرو های کششی ، ضعف مقاومت بتن و بطور کلی ضعیف بودن ظرفیت باربری ستون باشد.

ترکهای افقی

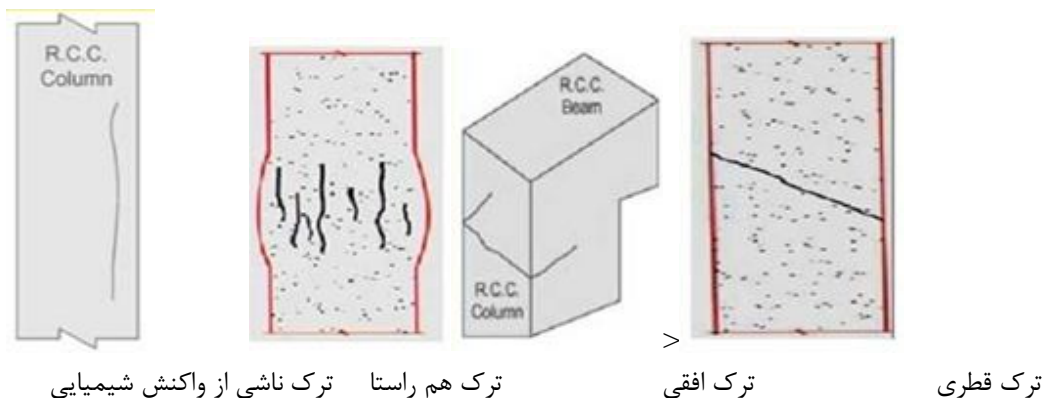
این دسته از ترک ها در محل اتصال تیر با ستون و بر اثر ضعف مقاومت خمشی و کمبود فولاد پدیدار می شوند

ترکهای هم راستا با ستون

این ترک ها به علت ضعف مقاومت فشاری بتن و همچنین زیاد بودن فاصله تنگ ها و افزایش بار غیر مجاز در ستون اتفاق می افتد .

ترکهای ناشی از واکنش شیمیایی میلگردها

این ترکها در ستون های بتن مسلح معمولاً در امتداد میلگردها رخ می دهد. این ترکها معمولاً عرض یکسانی دارند. خوردگی میلگردها و کافی نبودن پیوند بتن و میلگردهای فولادی، دلیل وقوع این ترکها است. در صورتی که اقدامات لازم برای تعمیر چنین ترکهایی انجام نشود، این ترکها به سرعت گسترش می یابند.



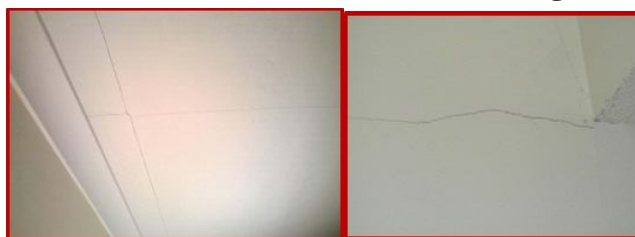
### ترک در دیوارها:

ترک در دیوارها می تواند تنها در سطوح ظاهری و اندودها نمایان شوند که عموماً ترک های غیر سازه ای بوده و جزء ترکهای مرده (ترکهایی که پس از حادث شدن توسعه آنها متوقف می گردد) محسوب می شوند و مشکل چندانی ندارند اما ترک های مورب و یاپله ای غالباً ناشی از نشست پی بوده و ابتدا در گوشه چارچوب درپها و پنجره ها نمایان می شوند و در جسم دیوار امتداد می یابند که دارای اهمیت می باشند که بسته به مرده یا زنده بودن، اندازه و عرض ترک باید اقدامات پیشگیرانه انجام داد.



### ترکهای غیر سازه ای

ترک های غیر سازه ای به ترک هایی اطلاق می گردد که به دلیل افزایش بارهای وارده بر اجزا ساختمان، تغییر میزان رطوبت، تغییرات دما، یخ بندان و ... حادث می شوند. ترک های ایجاد شده در اندود دیوارها، محل اتصال سقف و دیوار، گوشه چارچوب درها و پنجره ها و ... به دلیل عوامل ایجاد شده از نمونه های ترک های غیر سازه ای می باشند. معمولاً ترکهای با عرض و عمق کم ترکهای غیر سازه ای هستند و از اهمیت زیادی به لحاظ تخریب ساختمان و خطرات جانی برخوردار نیستند



### طبقه بندی بر اساس اندازه ترک

بطور کلی این طبقه بندی در ۵ گروه صورت می پذیرد که عبارتند از:

ترک های موئی با عرضی کمتر از ۱ میلیمتر .

این ترک ها علیرغم ایجاد حس ناخوشایند اثرات سوء قابل ملاحظه ای بر روی سازه ندارند.

ترکهای جزئی با عرضی بین ۱ تا ۵ میلیمتر .

جابجائی و نشست جزئی سازه موجب ایجاد چنین ترکهایی در ساختمان می گردد. که پس از مدتی این نشست جزئی متوقف شده و این ترکها با نقاشی و رنگ آمیزی ساختمان قابل ترمیم می باشند.

ترکهای متوسط با عرضی بین ۵ تا ۱۵ میلیمتر:

این ترکها باید مورد بررسی قرار گرفته و علت آن مشخص گردد و همچنین برای رفع آن اقدام بعمل آید. آثار این ترکها پیرامون پنجره و چارچوب درها نمایان می گردد.

ترک های نسبتا عمیق با عرضی در حدود ۲۵ میلیمتر

این ترکها نشانه جابجایی قابل ملاحظه در سازه و پی آن بوده و با ترک های ریزتر نیز همراه می باشند. برای جلوگیری از توسعه و پیشرفت ترکها تا زمان ترمیم اصلی نیاز به داربست و شمع برای نگهداری سازه است.

ترک های عمیق با عرضی بیش از ۲۵ میلیمتر

این دسته از ترکها نشان دهنده وارد شدن آسیب جدی به سازه می باشد تا جائیکه احتمال تخریب بخش های از سازه وجود دارد. برای جلوگیری از توسعه و پیشرفت ترکها تا زمان ترمیم اصلی ، نیاز به سازه نگهدارنده برای نگهداری ساختمان است

### **طبقه بندی بر اساس شکل ترک**

ترکهای پراکنده (پوست سوسماری)

این ترکها به شکل شبکه نامنظم در اندود دیوارها و دالهای بتنی بصورت ترکهای موئی قابل مشاهده است که بعلت آبرفتگی اندود یا بتن در سطح ایجاد می شوند.

### **ترک های افقی :**

این ترکها می تواند ناشی از تغییرات دما ، غیر همگون بودن کیفیت بتن در محل اتصال لایه های بتن ریزی ، کماتش در اعضای فشاری و بطور کلی بعلت وجود تنشهای کششی و برشی در اجزای ساختمان پدیدار گردد.

### **ترکهای عمودی:**

ترکهایی که می تواند ناشی از تنش های حرارتی بعلت عدم پیش بینی درز انبساط یا انقباض در ساختمان ، عدم اتصال صحیح در دیوارهای آجری ، غیر همگون بودن کیفیت بتن در محل اتصال لایه های بتن ریزی و یا نشست پی و ایجاد تنشهای خمشی در دیوار یا عضو سازه ای باشد.

### **ترک های مورب :**

اینگونه ترکها با زاویه ای در حدود ۴۵ درجه، نشان از نشست پی در ساختمان دارد که از محل گوشه پنجره ها و چارچوب درها شروع شده و به سایر نقاط دیوار توسعه می یابد و در صورت تداوم نشست تعداد و عرض ترکها افزایش می یابد که حتما باید اقدام فوری در خصوص رفع مشکل بعمل آید.

### **ترکهای مارپیچی**

این ترکها بعلت تنش های پیچشی در تیرها یا ستونها قابل مشاهده است.

### **ترک در بتن**

ایجاد ترکهایی در بتن که نیازمند ترمیم ترک در بتن می باشند ، علل مختلفی دارند . برخی ترکها در بتن فقط ترکهای ظاهری هستند و برخی ترکها در بتن بعلاوه ی ظاهری بودن ترک در بتن نشان دهنده ی وسعت بیشتری از مشکلات در بتن می باشند . این ترکها در بتن بدلیل مقاومت پایین بتن و گاهی بر اثر تنش نمایان می شوند . نوع ترک و نوع سازه نشان دهنده ی خرابی های احتمالی بوجود آمده در بتن می باشند که نیازمند اجرای عملیات ترمیم بتن با هدف بهبود مقاومت بتن هستند.

برای ترمیم ترک در بتن باید ترک ها را به دقت بررسی کرد و با توجه به علت بروز ترک در بتن ، ابعاد ترک در بتن و وضعیت فعلی ترک در بتن اقدام به اصلاح بتن ضعیف کرد . روش ترمیم و اصلاح ترک در بتن وابسته به شرایط محیطی سازه نیز می باشد . علاوه بر ارزیابی نوع اقلیم سازه باید احتمال وجود رطوبت ، آب یا موادآلوده درون ترک در بتن را نیز در نظر داشت . در بیشتر روش های تعمیر و ترمیم ترک در بتن ، ظاهر ترک در سطح بتن ناپدید نمی شود و در مکان هایی که ظاهر معماری بتن اهمیت دارد باید این مورد را بررسی کرد و با بکاربردن اندوذهای مناسب برای تمام سطوح پس از پایان کار ، ظاهر را تا حدودی مطلوب ساخت .

### علت ایجاد ترک در بتن

علت ایجاد ترک در بتن سازه و مقاطع بتن مسلح اتفاقی اجتناب ناپذیر می باشد . در ادامه به توضیح علت بروز ترک در بتن می پردازیم . با توجه به خطرات ترک ایجاد ترک در بتن باید طراحی و اجراء به نحوی به صورت پذیرد که در صورت بوجود آمدن ترک ها در بتن عرض ، طول و عمق آنها در مقاطع سازه های بتنی مسلح از حدود ضوابط و آیین نامه ها تجاوز نکند و برای پیشگیری از آنها نیز اقداماتی برنامه ریزی و انجام شود که در راستای **مقاوم سازی بتن** باشد . در ادامه به برخی از **دلایل ایجاد ترک در بتن** اشاره می کنیم :

۱- ترک در بتن بدلیل استفاده از میلگردهای سبک با مقاومت بالا :

مهندسان محاسب گاه برای کاهش هزینه های مصرفی از میلگردهای سبک با وزن کم و مقاومت بالا استفاده می کنند ، در چنین شرایطی میزان تنش در میلگردها افزایش پیدا می کند . با توجه به اینکه سطح مقطع عضو بتن مسلح سازه مقدار ثابتی است و ضرورت برقراری اصل توازن تنش در مقطع های میلگردهای بتن وجود دارد ، مقدار تنش در مقطع بتن نیز افزایش پیدا می کند . در چنین شرایطی کرنش مقاطع بتنی بیشتر می شود و احتمال بروز ترک در بتن افزایش پیدا می کند .

۲- بروز ترک در بتن بدلیل تغییر شکل در خمیر بتن تازه (shrinkage) :

تغییر شکل در خمیر بتن یکی دیگر از عوامل مهم بروز ترک در مقاطع سازه های بتنی است . رعایت نکردن ضوابط و شرایط میزان اختلاط بتن ، نسبت زیاد آب به سیمان ، عدم توجه به دانه بندی مصالح سنگی ، استفاده نکردن از روان کننده ها برای کاهش نسبت آب به سیمان ، قالب بندی غیر اصولی که سبب خروج لعاب سیمان می شود ، عدم رعایت تراکم استاندارد بتن درون قالب ها ، عدم نگهداری و رعایت شرایط عمل آوری بتن بویژه در بتن هایی ه در معرض تابش مستقیم آفتاب و وزش باد هستند ، یخ زدن در بتن های تازه نیز منجر به بروز ترکهای زودرس در خمیر بتن می شود . با رعایت ضوابط و شرایط بتن ریزی ، نگهداری و عمل آوری می توان تا مقدار زیاد از بروز **ترک های ساختمانی** جلوگیری کرد .

۳- بروز ترک در بتن بدلیل خزش (creep) :

خزش های طولانی مدت و ثابت سبب بروز تغییر کل یا رفتار غیر الاستیک مصالح در سازه های بتنی می شود . برای پیشگیری از بروز این نوع ترک در بتن ضوابط خاصی در آیین نامه ها ذکر نشده است اما تجربه نشان داده است که با رعایت برخی نکات و توجه به اصول آیین نامه های موجود در مرحله ی اجرا و پیش از آن تا حد زیادی می توان از ظاهر شدن این گونه ترک در بتن جلوگیری کرد ، رعایت برخی اصول از قبیل ؛ دقت در جنس و دانه بندی سنگدانه های مصرفی ، کاهش بارهای مرده در کنار طراحی بر مبنای تولید بتن کارآمد (High performance concrete) می تواند بر این اتفاق غلبه کند .





#### ۴- بروز ترک در بتن بدلیل انبساط و انقباض متاثر از نوسانات دما (Early thermal cracking) :

بتن هایی که عمر کمی دارند به تغییرات دمای محیطی حساس ترند و به دلیل تحمل کم در برابر این نوسانات احتمال بروز آسیب و ترک در بتن بیشتر است لذا دمای بتن تازه طی عمل آوری و حفاظت باید کنترل شود به همین دلیل مجریان ساختمانی با در نظر گرفتن شرایط آب و هوای جغرافیایی منطقه باید اقداماتی را جهت حفظ دمای مناسب در محدوده ی ضوابط ذکر شده در آیین نامه انجام دهند . همچنین در مرحله ی عمل آوری بتن های تازه باید محیط آنها از هر گونه تغییرات دمایی و شوک های حرارتی (تغییر ناگهانی در کاهش و افزایش دما) ایمن باشد . تجربه نشان داده برای جلوگیری از بروز ترکهای ناشی از انقباض و انبساط در بتن باید علاوه بر استفاده از میلگردهای حرارتی ، اقدامات دیگری نیز صورت بگیرد .

#### ۵- بروز ترک در بتن بدلیل تعبیه غیر اصولی درزها و اتصالات :

رعایت نکردن ضوابط ذکر شده آیین نامه ها در تعبیه درزها و عدم اجرای اصولی و صحیح اتصالات احتمال بروز ترک در بتن و در مقاطع سازه های بتنی افزایش می دهد که ایجاد آنها مستلزم تقویت سازه های بتنی می باشد .

#### ۶- بروز ترک در بتن بدلیل افزایش بارهای وارده :

بارها مشاهده شده که به دلیل تغییر کاربری ساختمان و اعمال بارهایی بیش از مقدار پیش بینی شده در مرحله ی طراحی ، مقدار تنش در سازه های بتنی رشد و افزایش داشته است . با توجه به اینکه محل وقوع ترک ها در بتن وابسته به نوع و میزان تنش است ، احتمال وقوع ترک در بتن جدید در اعضای سازه ی بتنی افزایش می یابد .



۷- بروز ترک در بتن بدلیل احتمال بروز نشست : در هنگام تحلیل عددی سازه و طراحی باید احتمال نشست پایه ها و به طبیعتا دامنه ی این تغییرات در شرایط مختلف بارگذاری به ویژه مرحله ی بهره برداری به دقت بررسی شود و ضمنا مقاطع سازه ی

ساختمان باید به گونه ای طراحی شوند که بحرانی ترین تنش های وارد شده را با حفظ حاشیه ایمنی مطلوب تحمل کنند و چنانچه این نکات به دقت بررسی شود و نشت بصورت غیر یکنواخت و در زمان های مختلف باشد ، نیروها مجددا توزیع می شوند و احتمال تغییر در مقدار توزیع و ... وجود دارد و اگر مقاطع مورد نظر تحمل چنین تنش هایی را نداشته باشند ، ترک در بتن نمایان می شود. ۸- بروز ترک در بتن بدلیل واکنش شیمیایی یون های مخرب با میلگردها :

وجود یون های مخرب از قبیل اکسیژن ، گوگرد کلر و کربن در محیط های آلوده ی حاوی عوامل تجزیه کننده و نفوذ این یون ها به درون مقاطع بتنی سبب بروز واکنش شیمیایی با میلگردها می شود که بدنبال آن پدیده ی ترک در بتن رخ می دهد .

عوامل ذکر شده که سبب بروز آسیب در سازه می شوند نسبت به زمان ، روندی تصاعدی دارند و در صورت عدم کنترل عوامل آسیب زا و از بین بردن آنها با زوال زودتر از موعد در سازه مواجه می شویم .

### ترمیم ترک در بتن

هدف از ترمیم ترک در بتن اصلاح ترک های ترک ها ناشی از عوامل تخریب کنند ، افزایش سطح عملکرد سازه و افزایش دوام و طول عمر سازه می باشد . پیش از اقدامات باید علت بروز ترک های بتن را شناسایی و بررسی کرد و ضمن اطمینان از انسجام و پیوستگی اعضای سازه از روند خوردگی میلگردها اطلاعات دقیقی کسب کرد . برای ترمیم ترک در بتن از ملات های ترمیمی مختلفی استفاده می شود که در ادامه به آنها اشاره می کنیم :

#### ۱) ترمیم ترک ها در بتن با تزریق اپوکسی

۲) ترمیم ترک در بتن با آب بندی بتن

۳) ترمیم ترک در بتن با بخیه زدن یا دوختن

۴) ترمیم ترک در بتن با افزودن میلگرد

۵) ترمیم ترک در بتن با حفاری و اتصال

۶) ترمیم ترک در بتن با تزریق گروت

۷) ترمیم بتن به روش پیش تنیده کردن خارجی

### انواع ترک در بتن

ترک های سازه ای در بتن ۲) ترک های غیر سازه ای در بتن

ترک های سازه ای بتن عموماً دارای عرض ۵/۱ تا ۲ میلی متر و عمق ۵/۱ تا ۲ سانتی متر می باشند ، وجود این ترک ها در بتن بسیار حائز اهمیت است چراکه به عنوان زنگ خطری برای سازه می باشد که آسیب های جانی و مالی یا تخریب سازه را در پی دارد در چنین شرایطی عناصری که دارای ترک های سازه ای هستند مستلزم تخریب و بازسازی می باشند و در برخی موارد نیز می توان آنها را به شیوه ای خاص از راه دوختن ، ترمیم و اصلاح کرد ، در مقابل ترک های غیر سازه ای دارای عرض و عمق ناچیز می باشند و تاثیر مهمی در تخریب سازه ندارند ، وجود ترک های غیرسازه ای در بتن در بیشتر مواقع آسیب های سنگینی در پی نخواهد داشت

۱- ترک خمشی در بتن : ترک خمشی در بتن یکی از انواع ترک در بتن می باشد که هم بصورت منفرد هم بصورت تعداد زیادی ترک در بتن ممکن است بوجود بیاید. ترک خمشی در بتن زمانی ظاهر می شود که مقاومت خمشی بتن پایین باشد و تار کششی حداکثر عرض خود را داشته باشد . این ترک در بتن مقاومت کلی سازه را تحت تاثیر قرار می دهد لذا عملیات تعمیر و ترمیم ترک در بتن باید فوراً انجام گیرد

۲- ترک برشی در بتن : این نوع ترک در بتن هنگامی پدیدار می گردد که مقاومت برشی در مقطع عضو مربوطه کم باشد این ترک در بتن به سمت بالا و پایین گسترش پیدا می کند و سبب کاهش مقاومت در

سازه می گردد به همین دلیل این نوع ترک نیز سریعا باید تحت عملیات ترمیم ترک در بتن قرار گیرد .  
۳- ترک پیچشی در بتن : این نوع ترک بتن در مقطعی که مقاومت پیچشی پایینی دارند و دارای عرض  
یکنواختی هستند رخ می دهد . حالت این ترک ها بصورت مارپیچ نمایان می شود و بصورت تکی بروز می  
کنند

۴- ترک بدلیل بروز لغزش در اتصالات میلگرد : این نوع ترک در بتن هنگامی که مرز کافی در اتصالات  
وجود ندارد و بعلت انقطاع فوری میلگردها رخ می دهد .

۵- ترک بتن در طول تیرها : این نوع ترک در بتن عموما بدلیل خطاهای حین اجرا و اشتباهات قالب  
بندی رخ می دهد.

۶- ترک کششی در بتن : این نوع ترک بتن بدلیل کیفیت نامرغوب بتن و عدم وجود آمارتور بندی به  
مقدار کافی در مقاطع تحت کشش در بتن ، نمایان می گردد .

۷- ترک بتن در ستون ها : ترک های ستون در دو حالت اریب و افقی ظاهر می شوند . ترک های افقی  
بتن در ستون بدلیل خوردگی آرماتور ها و عدم طراحی مقاطع ستون جهت خمش رخ می دهد . ترک  
های اریب بتن در ستون نیز هموما بعلت عدم پیشبینی نیروهای جانبی و کم بودن سختی هنگام اعمال  
نیروهای محوری پدید می آید .

۸- ترک ناشی از خوردگی در بتن : این نوع ترک در بتن ناشی از خوردگی و زنگ زدگی آرماتورها ، عدم  
وجود پوشش لازم و کیفیت نامرغوب و کم بتن می باشد .

۹- ترک های خمشی بتن در دال : این نوع ترک در بتن بدلیل عدم رعایت توزیع در میلگردها و ادامه  
ندادن میلگرد اصلی در بتن رخ می دهد

۱۰- ترک های ناشی از جمع شدگی بتن در دال طره ای : این نوع ترک مربوط به خطاهای اجرایی بتن  
می باشد . نسبت زیاد مقدار آب به سیمان ، عمل آوری نامناسب در بتن سبب ظهور این نوع ترک در بتن  
می شود که نیازمند ترمیم ترک می باشد .

### جلوگیری از ترک در بتن

جلوگیری از ترک خوردگی بتن با استفاده از بتن کم حرارت :

یکی از اصلی ترین دلایل ایجاد ترک در بتن بویژه در سازه هایی با مقاطع حجیم بتنی کند بودن روند از بین رفتن  
گرمای حاصل از فرآیند هیدراتاسیون می باشد که افزایش دمای درون بتن را بدنیال دارد ، افزایش دمای درون بتن  
در نهایت سبب بروز ترک های حرارتی در بتن می گردد . لازم است برای پیشگیری از ایجاد ترک در بتن بجای  
استفاده از سیمان معمولی از سیمان هایی استفاده شود که روند تولید حرارت در آنها با سرعت بیشتری انجام شود  
، در این صورت عدم افزایش دمای درون بتن ، مانع ایجاد ترک در بتن می شود .

۲- جلوگیری از ترک خوردگی بتن با پیش سرمایه گذاری بتن :

یکی دیگر از راه های جلوگیری از ترک در بتن پیش سرمایه گذاری بتن است که به چند طریق از جمله : استفاده از آب  
با دمای کم در فرآیند تولید بتن ، دمیدن در داخل مصالح یا شستن مصالح با آب خنک محقق می گردد ضمنا  
انتخاب مصالح اولیه با کیفیت و دانه درشت نیز تاثیر زیادی در جلوگیری از ایجاد ترک در بتن دارد . در واقع این  
روش باعث ایجاد تعادل گرمایی می گردد و مانع بروز ترک های حرارتی در بتن می شود .

۳- جلوگیری از ترک خوردگی بتن با پایین آوردن دمای بتن :

یکی دیگر از راه های پیشگیری از بروز ترک در بتن پایین آوردن دمای بتن بعد از بتن ریزی (پس سرمایه گذاری) می  
باشد که عمدتا با کمک لوله های احداث شده صورت می پذیرد . برای اجرای این فرآیند بعد از بتن ریزی لوله هایی

با طول ۲۵۰ متر و قطر ۲۵ میلی متر و در فاصله ای حدود ۵۰ سانتی متر الی ۲ متر بطوریکه با یکدیگر در ارتباط باشند روی بتن تعبیه می گردند و در نهایت بعد از بتن ریزی آب با سرعت زیادی روی بتن ریخته می شود. در این روش آب سرد تا جایی روی بتن ریخته می شود که دمای بخش های اصلی بتن به میزان مورد نظر کاهش یابد ضمناً توجه داشته باشید که پایین آوردن دمای بتن بویژه در فصل گرما جهت پیشگیری از خشک شدن بتن از اهمیتی دو چندان برخوردار است

۴- جلوگیری از ترک در بتن با کاهش سیمان

لازم بذکر است وجود درصد بالای سیمان در فرآیند ساخت بتن سبب تولید گرمای بیشتر در هیدراتاسیون می گردد. لذا در تولید بتن مورد استفاده در سازه های حجیم بتنی لازم است تا از درصد سیمان بکار رفته کاسته شود چرا که در صورت تولید بتن با سیمان زیاد میزان خروج حرارت در بخش های داخلی بتن بسیار آهسته تر از بخش های خارجی بتن می باشد که این مسئله ایجاد ترک های حرارتی را بدنبال دارد و عمدتاً پیشنهاد می گردد سیمان بکار رفته در بتن داخلی سازه حدود ۲۰ درصد کمتر از سیمان موجود در بخش های خارجی سازه ی بتنی باشد

۵- جلوگیری از ترک در بتن با اتصال بخش های مختلف به یکدیگر :

ایجاد اتصالات انقباضی یکی از راه های جلوگیری از ایجاد ترک در بتن بر اثر انقباضات و تغییرات بتن بدلیل مختلف از جمله تغییرات دما می باشد. اتصالات انقباضی یک روش مناسب برای اتصال بخش های مختلف سازه به یکدیگر جهت مقاومت در برابر تغییرات بتن و در نهایت جلوگیری از ایجاد ترک در بتن است

### روش های ترمیم ترک بتن

**ترمیم ترک بتن با گروت** : ترمیم ترک به این روش از سایر روش ها اقتصادی تر است و با سرعت بالاتری اجرا می گردد. از گروت عموماً برای ترمیم ترک هایی در بتن استفاده می شود که به شکل مستقیم هستند. در این روش یک حفره در مجاورت ترک تشکیل می شود و با استفاده از گروت پر می شود. در این روش تزریق گروت از گسترش ترک در بتن جلوگیری می کند

۲- **ترمیم ترک بتن با تزریق اپوکسی** : در این روش ترک در بتن با تزریق اپوکسی یا سایر مواد دارای اپوکسی و با استفاده از آرماتورهای از پیش مشخص شده ترمیم می شود. این روش مثل دوخت در ترمیم ترک های بتن عمل می کند. در این روش ابتدا حفره ای به قطر ۵۰ الی ۷۵ میلی متر با توجه به ابعاد ترک و وضعیت آن به گونه ای که گنجایش کافی برای جابجایی مصالح را داشته باشد حفر می شود و سپس با تزریق اپوکسی پر می گردد.

۳- **ترمیم ترک بتن با دوختن** : ترمیم ترک های بتنی به روش دوختن یک راه آسان و ماندگار است. طی اجرای این روش در طول ترک حفره هایی ایجاد می شود و بطور محکم بسته می شوند سپس ملات یا گروت اپوکسی در طول ترک تزریق می گردد.

۴- ترمیم ترک بتن به روش پیش تنیده کردن خارجی : در این روش میلگرد کششی بوسیله ی دستگاه انکر به تیر وصل می شود. ترمیم ترک در بتن به این روش علاوه بر اینکه مانع گسترش ترک در سطح بتن می گردد، با تامین نیروی فشار لازم سبب تعمیر و ترمیم ترک های بتن نیز می گردد.

### ترک مویی در بتن

ترک های مویی نیز یکی از انواع ترک در بتن است که مانند سایر ترک های بتن ممکن است ناشی از آسیب های سازه ای یا غیر سازه باشند. ترک هایی مویی عموماً بعلت تنش های ناشی از دو پارامتر مهم بروز می کنند که عبارتند از : تنش های ایجاد شده بر اثر نیروهای وارده و تنش های ایجاد شده ناشی از آب رفتگی بتن هنگام خشک شدن یا بر اثر تغییرات دما، ضمناً در برخی مواقع ممکن است بر اثر بتن ریزی در هوای گرم مشکلاتی از قبیل ترک های مویی در بتن ظاهر شود. عموماً

از طریق درزهای اجرایی می توان مانع از بروز یا گسترش ترک های مویی در بتن شد . یکی از اصلی ترین راه های پیشگیری از وقوع ترک های غیر قابل رویت یا ترک های مویی در بتن ، اجرای درزهای کنترل کننده است . درزهای اجرایی نیز با جدا سازی دال از سایر قسمت های سازه امکان حرکت در دال را برقرار می کنند و در نهایت اجرای درزهای اجرایی پس از هر بار بتن ریزی با جداسازی نواحی مختلف سازه که در دفعات مجزا از یکدیگر بتن ریزی می شوند ، مانع از بروز ترک های مویی در سطح بتن می گردند یا از طریق کنترل آنها تعداد ترک های مویی را به حداقل می رسانند .

### علت ترک مویی در بتن

همانطور که پیش تر اشاره کردیم ، ترک های مویی یا غیر قابل رویت بدلائل مختلفی ظهور می کنند که وارد شدن تنش به سازه اصلی ترین عامل آنها بود . اما با رعایت برخی نکات در هنگام بتن ریزی می توان مقدار آنها را به حداقل رساند ، در ادامه به نحوه ی صحیح بتن ریزی در مراحل آن به گونه ای که مانع وقوع ترک در بتن گردد می پردازیم .

در ابتدا درباره ی نکات پیشگیری از وقوع ترک مویی در بتن صحبت می کنیم ، آماده سازی بتن پیش از بتن ریزی شامل مراحل مختلفی از جمله : پاکسازی سطح ، مرطوب سازی زمین ، متراکم سازی ، آماده سازی قالب ها ، جابجایی آرماتور ها و .... بطور مطلوب و درست می باشد . هنگام قرار دهی قالب های باید توجه داشت که آنها حتما بطور محکم در محل خود قرار گیرند . ضمنا باید از قالب هایی استفاده کرد که پس از سخت شدن بتن ظاهر مناسبی را به محیط ارائه دهند لازم بذکر است استفاده از قالب های چوبی توصیه نمی گردد چرا که آب بتن را جذب می کنند و دچار افزایش حجم می گردند که همین مسئله برداشتن آنها را دشوار می کند و در ضمن در صورت استفاده از قالب های چوبی نباید از میخ های بزرگ استفاده گردد چرا که باعث وارد شدن آسیب به بتن در نهایت ترک در بتن می گردند . پیش از بتن ریزی جهت پیشگیری از ظاهر شدن ترک های مویی در آینده لازم است عدم زنگ زدگی میلگردها به خوبی بررسی گردند . بتن ریزی نیز باید به نحوی با دقت اجرا گردد که از بروز هر نوع ترک از جمله ترک مویی در بتن جلوگیری شود . بتن ریزی باید حداقل امکان پیوسته و در محل نهایی باشد در واقع نحوه ی ریختن بتن باید از انتهای دال شروع گردد و هر بخش از بتن دقیقا روی بتن قبلی ریخته شود ضمنا هر لایه باید پیش از ریختن بتن جدید روی آن بطور کامل متراکم شده باشد . جهت پیشگیری از ایجاد خطوط جریان ، درزها و نواحی بتن ضعیف لازم است سرعت بتن ریزی تا جای ممکن بالا باشد تا لایه بتن ریخته شده هنگام بتن ریزی لایه ی جدید در حالت خمیری باشند . بتن ریزی های اولیه از دو انتهای عضو شروع می گردد و کم کم به نواحی مرکزی می رسد ضمنا لازم است در تمام حالت ها مانع از جمع شدگی آب در گوشه ها شد . موقع بتن ریزی در نواحی مرتفع نیز در صورت امکان جدایی دانه های درشت از ترکیب بتن ضروری است که بتن ریزی از طریق باز شو های پهلویی انجام شود ولی بصورت معمول نیازی به کاستن از ارتفاع هنگام سقوط آزاد بتن نمی باشد . باید توجه داشت برای پیشگیری از اتصال سرد که باعث آسیب به بتن می شود نیز باید پیش از سخت شدن لایه ی ریخته شده ، بتن ریزی اجرا گردد . برای برداشتن قالب های توجه شود که بدلیل کنترل بتن از آسیب دیدن و بروز ترک مویی در بتن توصیه می گردد قبل از اطمینان حاصل کردن از رسیدن بتن به مقاومت کافی و قابلیت تحمل بارهای وارد بر آن هرگز نباید قالب ها برداشته شوند و پس از رسیدن بتن به مقاومت کافی باید باز کردن قالب ها با دقت و به نحوی که هیچگونه آسیبی به آن وارد نگردد صورت گیرد . عموما ۱۲ الی ۲۴ ساعت پس از بتن ریزی می توان قالب ها را برداشت و برای اطمینان از مقاومت لازم بتن می توان از نتایج آزمایش ها بهره برد . برداشتن قالب ها باید به گونه ای باشد که کمترین فشار به گوشه ها وارد گردد .

پس از برداشتن قالب های بتن باید تمام ایراد های موجود در آن با ترمیم بتن اصلاح گردد . در صورت رعایت دقت در مراحل بتن ریزی عملیات تعمیر و ترمیم ترک مویی در بتن به حداقل خود خواهد رسید و پس از آن باید خورا پروسه ی عمل آوری شروع گردد تا از خشک شدن زودتر از موعد بتن و آسیب دیدن آن پیشگیری شود . خواص بتن تحت تاثیر مستقیم نحوه ی عمل آوری آن است . باید از خشک شدن زود هنگام ، تغییرات زیاد و سایر آسیب ها در بتن ریزی تازه انجام شده پیشگیری گردد تا مانع از ایجاد ترک های مویی در بتن شد ضمنا بهتر است پس از پایان عملیات بتن ریزی فوراً مرحله ی عمل آوری

جهت حفظ بتن در یک دمای ثابت و پیشگیری از کاهش رطوبت بتن انجام گیرد ضمناً بهتر است برای جلوگیری از بروز ترک های مویی در بتن و مقاوم سازی بتن از بتن ریزی در دمای بالا جلوگیری شود .

### ترک های عمیق در بتن

ترک ها در بتن که به شکل عمیق نمایان می شوند عموماً ناشی از نشست مرتب پی ساختمان می باشد و گاهی بصورت دائمی در بتن باقی می ماند . وجود ترک عمیق در بتن در برخی اوقات می تواند یک علامت خطر برای ساکنان ساختمان باشد .

### ترک های ثابت در بتن

هنگام نشست پی در ساختمان ، سطح زیر سازه فشرده می شود و رطوبت موجود قطع می گردد بنابراین تحرک سازه نیز کم می شود و بدنبال آن شکست و افت اسکلت سازه متوقف می گردد در این هنگام حالت ترک ها در بتن نیز ثابت می گردد .

### جهت ترک های در بتن

ترک های افقی در بتن : ترک های افقی همانطور که از نام آنها پیداست در راستای افق در سطح دیوارهای بتنی نمایان می گردند و عموماً ناشی از دو علت مهم می باشند :

(۱) یکی از دلایل بوجود آمدن ترک های افقی در طول دیوار ، عدم پاکسازی گرد و غبار یا آلودگی ها در هنگام اجرای مرحله ی دوم دیوار تا تراز ارتفاعی نهایی آن می باشد ، اجرای دو مرحله ای دیوار بتنی بدلیل ناپیوسته بودن احتمال ظهور ترک های افقی در بتن را ایجاد می کند .

(۲) در برخی مواقع اگر بر خلاف گزینه ی قبل دیوار در دو مرحله اجر نگردهد و بصورت تک مرحله ای تعبیه شود احتمال کمایش دیوار زیاد می شود و به بیان دیگر دیوار شکم می دهد که در نهایت موجب ظهور ترک های افقی در بتن می گردد . ترک های عمودی در بتن : این ترک ها در بتن بصورت عمود بر راستای افق در عناصر بتنی سازه نمایان می گردد که به چند علت اصلی بوجود می آیند :

(۱) ترک های عمودی بتن در سازه بدلیل نبودن شناژ قائم یا کمبود آن و ایجاد فاصله زیاد بین شناژ ها ایجاد می گردد .  
(۲) ترک های عمودی می تواند ناشی از حرکت پی زیر دیوارهای سازه باشد که منجر به تشکیل ترک های بتن بصورت قائم می شود (۳) اجرای اشتباه هشتگیر در تقاطع دیوارها ، می تواند منجر به تشکیل ترک های عمود بر سطح افق بتن گردد . ترک های مورب در بتن : ترک های مورب یکی از ترک های خطرناک در سطح بتن است چراکه عموماً ناشی از نشست دیوارها یا شکست آنها می باشد ، ترک مورب در بتن همانطور که از نام آن مشخص است بصورت مورب و زاویه ی حدوداً ۴۵ درجه با سطح افق می باشد از طریق ادامه ی راستای این ترک ها در بتن می توان نقطه ی نشست دیوار را مشخص کرد.

### تزریق رزین اپوکسی و پلی ئورتان:

عملیات تزریق رزین با اهداف متفاوتی می تواند صورت گیرد. از آن جمله می توان به تزریق آب بندی ، تزریق ترمیمی سازه آسیب دیده، تزریق تحکیم بستر و یا ترکیبی از هر کدام می تواند باشد. عملکرد و اهدافی که هر یک دنبال می کنند کاملاً متفاوت بوده و برای انجام اینکار بایستی نیازمندیهای کلیدی برای انتخاب نوع مواد و فشار تزریق و نوع پکر یا نیپل توسط کارشناس مربوطه سنجیده و انتخاب شود. تیپ عملیات تزریق یا Injection برای هر دو حالت یکسان است اما چیزی که باعث تفاوت در آن می شود، الگوی تزریق و جنس مواد مورد تزریق می باشد. البته نباید این مهم را نادیده گرفت که با توجه به نیازمندی سازه مورد ترمیم و یا آب بندی، میزان فشار مورد نیاز دستگاه تزریق و نیز طول و قطر پکر ممکن است متفاوت باشد.

### تزریق رزینهای اپوکسی و پلی ئورتان:

عملیات تزریق رزین با اهداف متفاوتی می تواند صورت گیرد. از آن جمله می توان به تزریق آب بندی ، تزریق ترمیمی سازه آسیب دیده، تزریق تحکیم بستر و یا ترکیبی از هر کدام می تواند باشد. عملکرد و اهدافی که هر یک دنبال می کنند کاملاً متفاوت بوده و برای انجام اینکار بایستی نیازمندیهای کلیدی برای انتخاب نوع مواد و فشار تزریق و نوع پکر یا نیپل توسط

کارشناس مربوطه سنجیده و انتخاب شود. تیپ عملیات تزریق یا Injection برای هر دو حالت یکسان است اما چیزی که باعث تفاوت در آن می شود، الگوی تزریق و جنس مواد مورد تزریق می باشد. البته نباید این مهم را نادیده گرفت که با توجه به نیازمندی سازه مورد ترمیم و یا آب بندی، میزان فشار مورد نیاز دستگاه تزریق و نیز طول و قطر پکر ممکن است متفاوت باشد.

### تزریق رزین پلی ئورتان با هدف آب بندی:

سازه های بتنی بدلیل ضعفهای اجرایی همچون کیفیت پایین بتن و نفوذپذیری بالا، قطع بتن ریزی و بروز درز سرد، کرمو شدگی و ... نیازمند آب بندی می باشند. از آن جمله سازه ها می توان به مخازن آب و فاضلاب، سد ها و آب بند های بتنی، کانالها، بام ها، دیوارهای زیر زمین و طبقات منفی، چاله آسانسورها و ... اشاره نمود. برای آب بندی هر یک از این موارد بسته به شرایط حاکم تیپ آب بندی و نوع متریال مورد نیاز انتخاب و مورد استفاده می گردد. یکی از روشهای حرفه ای برای آب بندی این سازه ها تزریق رزین پلی ئورتان یا رزین اپوکسی آبدوست می باشد که انجام آن نیازمند دانش فنی و تجربه بالا کافی می باشد. در این روش آب بندی بصورت عمقی بوده و تمام فضای خالی داخل بتن با رزین پر می شود. تفاوت عمده و مزیت اصلی این روش نسبت به کوتینگهای ممان منفی در عمیق بودن آب بندی می باشد که از حضور فیزیکی آب در داخل بتن جلوگیری کرده و مانع خوردگی فولاد و تخریب بتن می شود.

### تزریق رزین اپوکسی با هدف ترمیم ترک:

تن ماهیتی ترد و شکننده دارد. کرنش پایین آن باعث شده تا عملاً امکان اجرای بتن بدون ترک امری بسیار بعید شود. ترک در بتن انواع مختلفی دارد که تشخیص صحیح آن نیازمند دانش فنی و تجربه بالایی می باشد. ترکها را از دو دیدگاه کلی سازه ای که بدلائل بارگذاری بیش از حد مجاز، طراحی اشتباه یا خطاهای اجرایی رخ می دهد و نوع غیر سازه ای که بدلیل ماهیت بتن بوجود می آید تقسیم بندی کرد. بطور کلی ترکهایی که سازه را تحدید می کنند لازم است ترمیم شوند تا عضو بتنی به سرویس دهی بازگردد. اینکار با ایجاد پیوند پلیمری بین دو جداره ترک تامین می گردد که این امر با تزریق چسب های پیوند زای قوی انجام می شود. تزریق چسب اپوکسی با فشار کافی برای روند تعمیراتی عمیق بتن سالهاست توسط مهندسی و متخصصین امر انجام شده و بدین شکل عمر سرویس دهی سازه بتنی را افزایش می دهند.

### دستگاه تزریق رزین اپوکسی و پلی یورتانتک جزئی و دو جزئی

در حال حاضر روش های مختلف استاندارد و غیراستانداردی در زمینه تعمیر سازه های بتنی در سطح دنیا شناخته شده است که هر یک بسته به شرایط تاثیر گزار می توانند کاربردی و موفقیت آمیز باشند. از جمله روش های کاربردی و فنی موثر در شرایط خاص استفاده از تزریق رزین ها می باشد. رزین های تزریقی در سازه های بتنی دو نوع میباشند. این رزین ها شامل رزین های تزریقی پلی یورتان و رزین های تزریقی اپوکسی می باشند.

### رزین تزریقی اپوکسی : رزین تزریقی اپوکسی به واسطه خصوصیات مثبت و منحصر به فرد از جمله مقاومت چسبندگی بالا

، دوام بالا ، ویسکوزیته پایین و قابلیت نفوذ و تزریق ، مقاومت مکانیکی و فشاری بالا ، دارای عملکرد موثر و پراهمیتی به خصوص در تعمیرات سازه ای در بتنهای آسیب می باشد. این رزین های با تزریق و یا نفوذ ثقلی درون ترکها سازه ای و غیرسازه ای ، با چسباندن طرفین ترک علاوه بر حذف نفوذ به بازگشت خصوصیات اولیه بتنآسیب دیده کمک بسیاری می کند تا جایی که می توان پیش بینی کرد تا حدود نزدیک به صددر صدی ( در صورت اجرای صحیح ) عملکرد سازه به حالت اولیه بر می گردد. نکات مهم در این سیستم ، اهمیت پر شدن کامل ترک از رزین ، عاری از آلودگی و گرد و غبار بودن درون ترک ، خالی از آب بودن ترک می باشد . از معایب این سیستم می توان به هزینه نسبتاً بالا ( که با توجه به عملکرد منحصر به فرد توجیح پذیر می باشد ) ، ظاهر مشخص محل تعمیر ، اجرای تخصصی و نیاز به تیم با تجربه ، تجهیزات گران قیمت اشاره کرد. (البته در صورتی که عمق ترک زیاد نبود و عرض ترک بیش از یک میلیمتر باشد در سطوح حلقی می توان به روش ریزی و ثقلی اجرا کرد که در این صورت نیاز به تجهیزات ویژه تزریق نمی باشد ).

**رزین تزریقی پلی یورتان :** این محصولات که بسته به نوع رزین اولیه به صورت دو جزئی و تک جزئی می باشد دارای خصوصیات فوم شونده می باشند. این تیپ رزینها تزریق درون ترک ها آبدار ( در مجاورت آب ) افزایش حجم داده و منجر به جلوگیری از نشست و نفوذ آب می گردد. مصرف عمده این روش برای آب بندی سازه های بتنی می باشد. این مواد حجم باید به روش تزریق رزین با پمپ های تک مخزن تک جزئی و یا دو جزئی دومخزنه استفاده گردد.

### تجهیزات و مصالح مصرفی جانبی مورد نیاز در تزریق رزین های اپوکسی و پلی یورتان :

**پکر تزریق Paker :** پکر های تزریق که مدخل ورود رزین ها درون بتن می باشند از یک طرف به نازل پمپ و از طرف دیگر درون بتن قرار می گیرند. پکرها با توجه به نوع طراحی به صورت یک طرفه عمل کرده و باعث ورود به طرفه رزین درون بتن می گردند. پکر ها در دو نوع فلزی و پلاستیک تولید می گردند. پکر هاف مصرفی از نظر طول و قطر دارای انواع مختلفی میباشد که هر یک بسته به فشار مورد نیاز و عرض دیوار یا ترک می توانند به کار گرفته شوند. پکر ها در حال حاضر از نظر قطر در انواع ۸ ، ۱۰ و ۱۳ میلیمتر و از نظر طول ۸ ، ۱۰ ، ۱۳ و ۱۵ سانتیمتر ارائه می گردند. همچنین برای ترک ها کم عمق و سطحی از پکر های سطحی یا نیپل که جنس آنها پلاستیکی است می توان استفاده نمود.

**پمپ تزریق :** پمپ های تزریق که در دو نوع تک جزئی و دو جزئی ارائه می شوند دارای چهار بخش اصلی الکترو موتور ، گیج فشار سنج و تنظیم فشار ، مخزن ورودی رزین ها و سنگ و نازل می باشند. پس از ریختن رزین درون مخزن ، رزین مذکور تحت فشار از طریق نازل به درون پکر ها تزریق می گردد. فشار مورد نیاز تزریق بسته به کیفیت بتن ، عمق ، طول و عرض ترک ، متغیر می باشد. باید برای تزریق رزین حتما از اکیپ تخصصی استفاده گردد چرا که با توجه به زمان گیرش پایین رزین ها از مشکلات شایع این روش خشک شدن متریال درون پمپ و مشکلات ناشی از آن و تمیز کاری بخش های مختلف پمپ از جمله شلنگ تزریق می باشد.

**دریل سوراخ کار :** از دریل برای سوراخ کاری بتن به منظور نصب پکر استفاده می شود. قطر سوراخ باید متناسب با قطر پکر تزریق بوده و عمق آن به حدی باشد که رزین به محل ترکیب درز دسترسی داشته باشد. در ترک ها باید سوراخ در طرفیت آن و با زاویه ۴۵ درجه صورت پذیرد. درون سوراخ پس از حفاری باید به خوبی از گرد و غبار زدوده شود. فواصل سوراخ ها باید متناسب با عرض و عمق ترک باشد ولی به صورت یک امر کلی ۳۰ سانتیمتر کفایت می کند.

**بتونه اپوکسی :** از بتونه های اپوکسی برای فیکس کردن پکر تزریق وسیل و آب بندی کردن ترک برای جلوگیری از خروج رزین ها از طول ترک و اطمینان از پر شدن ترک به واسطه فشار استفاده می شود. بتونه اپوکسی با توجه به مشخصات فیزیکی و چسبندگی بالا و گیرش سریع می تواند کارایی مناسبی برای این امر داشته باشد. بهترین نوع رزین اپوکسی برای این امر **Dezosive A-100** می باشد.

### تزریق اپوکسی

یکی از ضعف های متداول در سازه های بتنی بروز ترک های مختلف می باشد که بدلیل ماهیت این ماده تعمیر و تقویت آنها در بهبود مقاومت ساختمان از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از روش های ترمیم بتن و تزریق رزین اپوکسی تحت فشار و پکر گذاری برای جوش دادن عضو گسیخته در اثر ترک خوردگی می باشد. تزریق رزین اپوکسی شکاف های موجود در بتن را پر می کند و مانع از نفوذ آب و مایعات به ساختار آن می شود که مقاوم سازی ساختمان را بدنبال دارد. ماده مورد استفاده در عملیات **تزریق اپوکسی** دارای ماهیتی مقاوم در برابر عوامل شیمیایی محیطی، افت ناچیز، سرعت بالای گیرش، مقاومت در برابر رطوبت و چسبندگی بالا می باشند. رزین اپوکسی تزریقی ترکیبی از دو جز مختلف سخت شده است. اجرای تشکیل دهنده ی این ماده جز عمل آورنده و سخت کننده یا هاردنر هستند.

### روش تزریق رزین اپوکسی



مراحل تزریق اپوکسی برای پر کردن ترک های موجود در بتن به ترتیب زیر است :

- ۱) پاکسازی سطح ترک های موجود به کمک مواد شیمیایی ویژه و تعبیه ی روزنه های تزریق رزین اپوکسی در فاصله های مشخص از یکدیگر
- ۲) برای افزایش تحمل فشار ناشی از تزریق رزین اپوکسی و سهولت نفوذ آن ضروری است سطوح ترک های بتن با استفاده از چسب های مخصوص درزبندی شود.
- ۳) تزریق رزین اپوکسی که دارای مدت گیرش مطلوب و چسبندگی کم باشد با استفاده از چسب های مخصوص از پایین ترین روزنه
- ۴) بلافاصله پس از ریزش رزین اپوکسی از روزنه تزریق بعدی، شیر روزنه بسته می شود . ادامه ی تزریق رزین از روزنه ی بعدی صورت می گیرد .
- ۵) تزریق رزین اپوکسی با فشار اولیه تقریبی ۲۵ اتمسفر انجام می گیرد و در تزریق های بعدی کم کم فشار تزریق رزین افزایش داده می شود.
- ۶) در آخر برای حصول اطمینان از تزریق رزین های انجام شده و میزان نفوذ آنها در بتن، عملیات مغزه گیری از ترک های بتن صورت می گیرد. بعلاوه امکان شکست بخش های بارگذاری شده و تحلیل و بررسی شکست مغزه با کمک جک بارگذاری وجود دارد.

#### تزریق رزین اپوکسی در بتن

افزایش ساخت و سازه های بتنی در سطح کشور نیازمند تهمیداتی برای کنترل بهره برداری و پیش گیری یا تعمیر آسیب های احتمالی در بتن است. بتن بدلیل داشتن مزایایی نظیر مقاومت فشاری زیاد و پایداری طولانی آن به وفور در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار می گیرد. این ماده علاوه بر مزایایی که دارد بدلیل ماهیت خاص آن در صورت عدم رعایت برخی نکات فنی و اجرایی هنگام ساخت، بتن ریزی و عمل آوری دچار آسیب می شود که در نهایت افت سازه را در پی دارد که نیازمند اجرای روش های تقویت سازه ی بتنی می باشد. بجز خطاهای اجرایی و طراحی عواملی که سبب آسیب دیدن بتن می شود عبارتند از : عوامل شیمیایی محیطی ، ترک های سطحی و عمیق غیر عادی و ... یکی از روش های رایج و موثر برای ترمیم بتن، روش پکر گذاری و تزریق رزین اپوکسی در عمق بتن می باشد. برای تزریق رزین اپوکسی به بتن در ابتدا باید با استفاده از استفاده از تست های بتن نواحی که کمبود مقاومت دارد را شناسایی کنیم و سپس عملیات تزریق بتن را به دقت انجام دهیم.

مراحل تزریق رزین اپوکسی برای ترمیم بتن در عمق عبارتند از :

- ۱) الگوگذاری و تعیین نقاط سوراخ
- ۲) حفاری نقاط مشخص شده برای محل سوراخ ها
- ۳) تعبیه نیپل و پکرها
- ۴) بتونه کاری و در صورت نیاز اجرای FRP
- ۵) تزریق رزین اپوکسی با استفاده از پمپ تزریق رزین اپوکسی تزریقی

همانطور که گفتیم رزین اپوکسی تزریقی ماده ای دو جزئی است که از هاردنر و عمل آورنده تشکیل شده است و برای پر کردن درزها ، ترک های بتن و تقویت سازه های بتنی و المان های آن کاربرد دارد. از ویژگی های اصلی رزین اپوکسی های قدرت چسبندگی بالای این مواد و قابلیت نفوذ آنها در بتن جهت ترمیم بتن ضعیف و ترمیم بتن کف و سقف و ترمیم بتن دیوار می باشد. رزین تزریقی ماده ای است که حالت فیزیکی مایع دارد و در برابر ضربات شیمیایی مقاومت بالایی دارد. لازم

است بدانید رزین های تزریقی قابلیت استفاده در سطوح خشک و تر را دارند.

### چسب اپوکسی

چسب اپوکسی FRP یکی از انواع رزین های اپوکسی که کاربرد پر رنگی در مقاوم سازی ساختمان با الیاف FRP دارد و دو جز رزین و سخت کننده تشکیل شده است. موارد مصرف این ماده در ترمیم، تقویت و مقاوم سازی ساختمان، ساخت کامپوزیت های FRP، خودروسازی، هواپیما و... می باشد.

ویژگی های رزین اپوکسی تزریقی

- ۱) رزین های تزریقی در مقاومت خمشی، برشی و فشاری بالایی برخوردارند.
- ۲) بدلیل ویژگی های به خصوص رزین های اپوکسی تزریقی این مواد کاربرد زیادی در صنعت ساختمان دارد
- ۳) رزین تزریقی اپوکسی از مقاومت مناسبی در برابر عوامل مخرب شیمیایی مختلف مثل اسیدها، نمک، حلال ها و .. برخوردار است.
- ۴) رزین های تزریقی از نظر اقتصادی نیز دارای قیمت مناسبی هستند و مقرون به صرفه محسوب می شوند.
- ۵) استحکام و پایداری رزین اپوکسی تزریقی در برابر شرایط جوی و محیطی زیاد است.
- ۶) رزین های تزریقی اپوکسی در هنگام گیرش دچار انقباض و جمع شدگی نمی شوند
- ۷) چسبندگی و قدرت اتصال رزین اپوکسی تزریقی بالا است.

### تزریق پلی یورتان دو جزیی

برای آب بندی و تعمیر ترک در بتن که تحت فشار آبی هستند مثل : تونل ها، تاسیسات زیر آب، چاله آسانسور و ... با استفاده از تزریق ماده ی پلی یورتان امکان پذیر است. پلی یورتان تزریقی یک ماده ی دو جزیی می باشد که در ترکیب با آب واکنش میدهد و حدودا ۱۰ الی ۱۵ برابر مقاومت می گردد. امکان پر کردن تمامی درزها، خلل ها و ترک های داخل بتن را فراهم می کند. پلی یورتان تزریقی با استفاده از پمپ های مخصوص در فشار منفی اجرا می شود.

### دستگاه تزریق رزین اپوکسی

برخی از تجهیزات مورد نیاز و جانبی برای تزریق رزین اپوکسی و پلی یورتان عبارتند از : پمپ تزریق، پمپ تزریق، دریل سوراخ کاری، بتونه اپوکسی که در ادامه به توضیحاتی درباره ی آنها می پردازیم

پمپ تزریق : پمپ های تزریق دو مدل فلزی و پلاستیکی دارند و از نظر قطر و طول دارای مقادیر مختلفی هستند که بسته به فشار مورد نیاز و ابعاد ترک مورد استفاده قرار می گیرند مثلا برای ترک های کم عمق از یک های تزریق سطحی یا نیپل که جنس پلاستیکی دارند، استفاده می شود. پمپ های تزریق محل ورود رزین ها به داخل بتن هستند، یک سمت از آنها به نازل پمپ و سمت دیگر آنها درون بتن قرار می گیرد. پمپ های تزریق رزین در قطر ۸ و ۱۰ و ۱۳ و طول های ۸ و ۱۰ و ۱۳ و ۱۵ موجود هستند.

پمپ تزریق : پمپ تزریق متشکل از چندین بخش اصلی الکترو موتور، گج فشار سنج و تنظیم فشار، مخزن ورودی رزین ها و نازل است. در ابتدا رزین مورد استفاده درون مخزن ریخته می شود و سپس تحت فشار بوسیله ی نازل به درون پمپ ها تزریق می شود. از عوامل موثر در فشار تزریق کیفیت بتن ، عمق و ابعاد ترک می باشد که بسته به آنها مقادیر این عوامل فشارهای تزریق متفاوت خواهد بود. البته از مشکلات این روش خشک شدن متریال درون پمپ و مشکل بودن تمیزکاری آنهاست.

دریل سوراخکاری: برای تعبیه پمپ ها از دریل سوراخ کاری استفاده می شود. ابعاد حفاری برای تعبیه ی پمپ ها باید بر اساس قطر پمپ های تزریق باشد و عمق حفاری نیز باید به حدی باشد که دسترسی رزین به ترک ها امکان پذیر باشد ضمنا پس از ایجاد سوراخ ها با دریل سوراخکاری لازم است درون آنها پاکسازی و عاری از هرگونه آلودگی گردد. ضمنا فواصل نقاط حفر شده از یکدیگر براساس ابعاد ترک ها تعریف می شود اما بطور کلی، سوراخ ها با فاصله ی ۳۰ سانتی متر از یکدیگر حفر می

شوند.

پکرگذاری و تزریق اپوکسی و پلی یورتان به بتن



پکرگذاری و تزریق اپوکسی و پلی یورتان به بتن

تزریق رزین اپوکسی تحت فشار (Concrete Resin Injection Systems) و پکر گذاری به منظور جوش دادن عضو بتنی گسیخته شده در اثر ترک خوردگی، از جمله روش های مقاوم سازی کاربردی می باشد.

**خواص :**

اپوکسی تزریقی خلل ها و ترک های بتن را پر کرده و همچنین مانند سد پوشش محافظ از ورود آب به داخل سطوح جلوگیری می نماید.

**اجزا :**

رزینهای اپوکسی مورد استفاده در سیستمهای تزریق به بتن از اختلاط دو جزء رزین سخت شده (SET) و جزء عمل آورنده (Curing Agents) یا سخت کننده (Hardeners) حاصل می شود.

رزین تزریقی ویژگی های چسبندگی بسیار عالی، مقاومت شیمیایی در برابر اسیدها، افت کم، زود سخت شونده (زمان عمل آوری پائین) و مقاوم در برابر رطوبت دارند.

**مراحل پر کردن ترک های بتن توسط تزریق اپوکسی عبارتست از:**

تمیز نمودن سطوح ترکهای موجود با استفاده از مواد شیمیایی مخصوص و نصب روزنه های تزریق در فواصل مشخص

درز بندی سطوح ترک توسط چسبهای ویژه بمنظور تحمل فشار ناشی از تزریق تا امکان نفوذ رزین اپوکسی فراهم شود.

تزریق رزین اپوکسی مخصوص (با چسبندگی کم و زمان گیرش مناسب و تنظیم شده) توسط پمپهای ویژه از پایین ترین روزنه

به محض ریزش رزین از روزنه تزریق بعدی، شیر روزنه بسته می شود و از روزنه بعدی ادامه عملیات تزریق انجام می شود. فشار اولیه تزریق معمولاً ۲۵ اتمسفر می باشد که در طی اجرای

تزریق به تدریج فشار افزایش داده می شود.

به منظور بررسی و اطمینان از تزریق صورت گرفته و میزان نفوذ رزین اپوکسی در بتن، مغزه گیری از ترکها صورت می گیرد. همچنین می توان نمونه های بدست آمده را با استفاده از جک بارگذاری

شکست و صفحه شکست مغزه را بررسی کرد

هدف اصلی از ارزیابی سریع سازه در برابر زلزله، بررسی آسیب پذیری لرزه ای آن با توجه به ویژگی های مهم و موثر بر عملکرد لرزه ای، بدون صرف هزینه های ناشی از ارزیابی های تفصیلی است. (ارزیابی تفصیلی بر اساس دستورالعملهای معتبر نظیر نشریه ۳۶۰ با عنوان "دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود" انجام می شود).

نتایج ارزیابی سریع سازه در برابر زلزله می تواند برای دسته بندی و اولویت بندی ساختمان ها به کار گرفته شود. به عبارت دیگر، پس از جمع آوری اطلاعات مورد نظر، این روش ارزیابی طی یک فرایند دو مرحله ای که شامل ارزیابی لرزه ای چشمی و کیفی است، صورت می پذیرد. در این فرآیند ها با تکمیل برگه های ارزیابی ساختمان براساس چارچوب های تعریف شده و محاسبه شاخص ارزیابی لرزه ای معیاری برای قضاوت و انتخاب یکی از سه گزینه ی ذیل برای ساختمان مهیا می شود:

الف- ایمنی نسبی یا آسیب پذیری لرزه ای اندک ساختمان و عدم اولویت برای ارزیابی تفصیلی؛

ب- آسیب پذیری لرزه ای زیاد ساختمان و نیاز به ارزیابی تفصیلی؛

ج- آسیب پذیری لرزه ای بسیار زیاد ساختمان، عدم اولویت برای ارزیابی تفصیلی و بررسی راهکارهای دیگر نظیر تغییر کاربری، تخریب و نوسازی و ...

### انواع ترک در بتن و روش های ترمیم آن

انواع ترک در بتن ممکن است فقط ظاهری یا نشانه ای از یک تنش سازه ای مهم، فقدان مقاومت و دوام سازه یا نشان دهنده وسعت خرابی و حجم بیشتری از مشکلات باشند. اهمیت آنها بستگی به نوع سازه و نوع ترک خوردگی دارد. انواع ترک هایی که برای سازه های ساختمانی قابل قبول است، ممکن است برای سازه های دیوار حائل آبی قابل قبول نباشند و تعمیر مناسب انواع ترک در بتن بستگی به علت ترک و انتخاب مراحل تعمیر متناسب با این علت ها دارد و گرنه ترک ها ممکن است موقت و زودگذر باشند.

انواع ترک در بتن

#### #ترک\_خمشی

زمانی که مقاومت خمشی مقطع بتن پایین بوده و تار کششی بیشترین عرض را داشته و به سمت تارهای دیگر همگرا شده به تنهایی یا گروهی اتفاق می افتد. این نوع ترک در سلامت سازه تاثیر گذاشته و باید بررسی شود.

#### #ترک\_برشی

زمانی که مقاومت برشی مقطع بتن پایین بوده و در ناحیه ای با برش ماکزیمم (بیشترین عرض را در میانه عمق) به سمت بالا و پایین به تنهایی یا گروهی گسترش یافته، رخ می دهد و تاثیر زیادی در سلامتی سازه دارد.

#### #ترک\_پیچشی

در مقطع با مقاومت پیچشی پایین که عرض یکنواختی دارد، در فرم ماریپیچ و به تنهایی رخ می دهد.

ترک های مربوط به لغزش اتصالات میلگردها

به دلیل انقطاع سریع میلگردها زمانی که مرز کافی در اتصالات وجود ندارد، اتفاق می افتد.

#### #گسترش\_ترک در طول تیر

به دلیل نبود تکنیک کافی حین ساخت و مشکل در قالب بندی اتفاق می افتد.

#### #ترک\_کششی

به دلیل نبود آرماتوربندی کافی در مقطع تحت کشش و پایین بودن کیفیت بتن اتفاق می افتد.

ترک ستون

ترک های افقی به دلیل خوردگی آرماتورها و عدم طراحی مقطع ستون برای خمش اتفاق می افتد. ترک های اریب به دلیل

در نظر نگرفتن نیروهای جانبی و پایین بودن مقاومت در تحمل بار محوری بوجود می آیند.

### ترک‌های خوردگی

به دلیل #خوردگی آرماتورها، عدم پوشش کافی و کیفیت پایین بتن اتفاق می‌افتد.

### ترک‌های خمشی در #دال

به دلیل نقص در طراحی تحت بارگذاری، اضافه بار در مقطع و کیفیت پایین بتن اتفاق می‌افتد.

### ترک‌های بالای خمشی در دال

به دلیل توزیع ناکافی میلگردها و عدم امتداد کامل میلگرد اصلی اتفاق می‌افتد.

### ترک‌های #جمع شدگی در دال طره‌ای

به دلیل نسبت آب به سیمان بالا در بتن، عمل آوری نامناسب و عدم مهار در گوشه‌ها اتفاق می‌افتد.

### انواع ترک در سطوح بتن

بتن، مانند دیگر مصالح ساختمانی با تغییرات موجود در رطوبت و درجه حرارت، انقباض و انبساط می‌یابد و با توجه به بار وارده و شرایط نگهداری، تغییر شکل می‌دهد. زمانی که تمهیداتی برای این حرکات در طراحی و اجرا فراهم نشود، آنگاه ترک‌ها ایجاد می‌شود. برخی انواع ترک در بتن معمولی عبارتند از: ترک خمیری، ترکیدگی ناشی از جمع شدگی پلاستیک، ترک‌های #جمع شدگی ناشی از خشک شدن، ترک‌های حرارتی سنین اولیه، جمع شدگی ناشی از کرناتاسیون، ترک‌های ناشی از اتصال ناصحیح، ترک‌های ناشی از قیود خارجی پیوسته (مثلاً دیوار درجا ریخته شده مقید در امتداد لبه تحتانی بر روی پی نواری)، ترک‌های کف زیرزمین، ترک‌های موازی لبه قطعات صفحه‌ای ناشی از انجماد و آب شدگی و ترک‌های پوست ماری. ترک‌های خمیری

در نتیجه کاهش آب از خمیر سیمان (در اثر عوامل بوجود آورنده)، جمع شدگی حجمی در بتن بوجود می‌آید، این جمع شدگی به عنوان جمع شدگی خمیری (پلاستیک) شناخته می‌شود. ترک‌های جمع شدگی خمیری معمولاً به صورت موازی به فاصله ۳/۰ تا ۱ متر از یکدیگر ایجاد می‌شوند و عمق قابل ملاحظه‌ای دارند. این نوع ترک‌ها در بتن معمولاً تا لبه‌های آزاد بتن ادامه نمی‌یابند زیرا در آن نقاط امکان انقباض آزاد وجود دارد. زمان ظهور این نوع ترک ۳۰ دقیقه تا ۶ ساعت پس از بتن ریزی است. هیدراتاسیون، کرناتاسیون و نیز مکش آب از سوی بتن خشک زیرین یا بستر خاکی، کاهش آب در نتیجه تبخیر از سطح بتن از عوامل بوجود آورنده جمع شدگی خمیری است. هر چه سرعت تبخیر بیشتر باشد جمع شدگی خمیری بیشتر خواهد بود. سرعت تبخیر با دمای هوا، دمای بتن و سرعت باد، نسبت مستقیم و با رطوبت نسبی هوا نسبت معکوس دارد یعنی هر چه دمای هوا، دمای بتن و سرعت باد بیشتر باشد سرعت تبخیر نیز بیشتر و هر چه رطوبت نسبی هوا بیشتر، سرعت تبخیر کمتر خواهد بود. ممانعت کامل از تبخیر، بلافاصله بعد از ریختن بتن، جمع شدگی خمیری را کاهش می‌دهد.

### ترک‌های جمع شدگی ناشی از خشک شدن در بتن (ترک‌های انقباضی)

خروج آب از بتن سخت شده در هوای غیر اشباع باعث جمع شدگی ناشی از خشک شدن خواهد شد. هنگامی که بتن خشک می‌شود آب موجود در حفره‌ها کاهش می‌یابد و خروج آب از حفره‌ها باعث تغییر رطوبت خمیر سیمان می‌شود که در نتیجه دو عامل فوق، بتن جمع می‌شود. در واقع گت ترک‌های انقباضی در اثر از دست دادن آب، وقتی که درخشندگی آب از سطح بتن محو می‌شود و از بین می‌رود شکل گرفته و ظاهر می‌شوند. البته این جمع شدگی به کندی صورت گرفته و پس از چندین هفته یا ماه اتفاق می‌افتد این ترک‌ها معمولاً در هم و مستقیم هستند و اصولاً در سطح داخلی دال رخ می‌دهند و به ندرت تا لبه گسترش می‌یابند. این ترک‌ها سطحی و کم عمق هستند و مشکل جدی غیر از تغییر ناخوشایند ظاهر بتن ندارند.

### جمع شدگی ناشی از کرناتاسیون

گاز  $CO_2$  موجود در هوا با وجود رطوبت تشکیل اسید کربنیک داده که  $Ca(OH)_2$  را تشکیل می‌دهد. دیگر ترکیبات سیمان هم با کربنات کلسیم حاصل از هیدراتاسیون سیمان واکنش داده و تجزیه می‌شوند. پس از انجام کرناتاسیون مقداری جمع شدگی در بتن بوجود می‌آید که به عنوان جمع شدگی ناشی از کرناتاسیون شناخته می‌شود. عمل کرناتاسیون از سطح

بتن شروع و به داخل آن ادامه می‌یابد که سرعت آن بسیار پایین است. سرعت کربناتاسیون به نفوذپذیری، مقدار و رطوبت بتن، همچنین درصد 02 و رطوبت نسبی هوا بستگی دارد.

ترک‌های حرارتی سنین اولیه

از عوامل مهم اثرگذار در انواع ترک در بتن، درجه حرارت محیط است. بتن‌ریزی در هوای گرم است که باعث افزایش میزان تبخیر آب بتن شده و در نتیجه عمل هیدراتاسیون بخوبی صورت نگرفته و باعث ایجاد ترک‌هایی در بتن می‌شود. به وجود آمدن انواع ترک در بتن سخت شده در اثر تبخیر از آب اختلاط اولیه مورد نیاز، بیشتر در هوای گرم یا در اثر تبخیرات حجمی ناشی از خنک شدن از درجه حرارت بالا در هنگام بتن‌ریزی به درجات پایین در هنگام بهره برداری اتفاق می‌افتد. در مقاطع با ابعاد بزرگ، اختلاف میان دمای داخلی و خارجی ممکن است سبب تنش‌هایی شود که برای ایجاد انواع ترک در بتن کافی است. هوای گرم روی حباب‌های هوا نیز اثر گذاشته که در درجه حرارت بالا، بتن نیاز به افزایش در مقدار ماده افزودنی حباب‌زا برای رسیدن به مقدار هوای کل مورد نظر خواهد داشت.

ترک‌های سازه‌ای در عضوایی مثل تیر، ستون و دال دیده می‌شود. ترک‌های موجی در تیرها در نقاط با ممان ماکزیمم رخ می‌دهد که توانایی مقطع در تحمل ممان پایین است و آرماتورگذاری کافی وجود ندارد.

#تعمیر صحیح انواع ترک در بتن

اصولاً تعمیر صحیح انواع ترک در بتن به علت وقوع و همچنین انتخاب روش درخور آن بستگی دارد، در غیر این صورت تعمیرات ممکن است بصورت موقت باشند. لذا برای یک تعمیر موفق و همیشگی بایستی از عدم پیشروی علل ترک خوردگی کسب اطمینان نمود چرا که ممکن است برخی روش‌های رایج که برای تعمیر و اصلاح ترک‌ها در اعضاء بتنی بکار گرفته می‌شوند، شامل موارد زیر است.

### پکر تزریق

در مهندسی سازه علاوه بر ساخت سازه‌های جدید یکی از کارهای بسیار مهمی که انجام می‌شود تعمیرات بخش‌های تخریب‌شده سازه‌ها مانند ترک‌ها می‌باشد. ترک‌های ایجادشده در مواد بتنی یکی از این آسیب‌هاست که با توجه به علت ایجاد آن قابل تعمیر هستند. یکی از روش‌های اصلی برای تعمیر این ترک‌ها تزریق اپوکسی تحت فشار و پکر گذاری یا پکر تزریق برای جوش دادن دو قطعه ترک‌خورده به همدیگر است.

پکر تزریق چیست؟

با توجه به رشد هرروزه سازه‌های بتنی قطعاً نیازمند راهکارهایی برای تعمیر آن‌ها نسبت به آسیب‌های احتمالی هستیم تا بتوانیم عمر مفید سازه را هرچه بیشتر افزایش داده و از نظر هزینه کمتر ضرر کنیم. یکی از آسیب‌های رایج در بتن‌ها ترک‌خوردگی در برخی سطوح آن می‌باشد. پکر تزریق یا پکر گذاری نیز یک روش عالی برای از بین بردن ترک‌ها و ترمیم این نوع سازه‌ها است که به دلیل کاهش هزینه تعمیر و عدم نیاز به تعویض کل سطح بتنی، طرفداران زیادی بین کارفرمایان دارد. نوع پکر تزریق به چه مواردی بستگی دارد؟

همان‌طور که قبلاً هم اشاره کردیم نوع پکر تزریق به علت ایجاد آسیب بستگی دارد. حتماً می‌دانید که بتن یکی از محکم‌ترین و بهترین مصالح در ساخت انواع سازه‌ها است؛ اما همین مصالح سخت که فشارهای بسیار بالا را تحمل می‌کند و دوام بسیار خوبی دارد نیز ممکن است تخریب شود؛ زیرا هر مصالحی علاوه بر محاسنش معایبی هم دارد. بتن نیز در صورتی که در یک محیط اسیدی باشد، مشکلات اجرایی یا مقاومت کمی داشته باشد کم‌کم دچار ترک می‌شود و هرکدام از این دلایل پکر گذاری مخصوص به خودش را می‌خواهد. در ادامه توضیح خواهیم داد که پکر گذاری چگونه انجام می‌شود.

نحوه انجام عملیات پکر تزریق

برای ترمیم ترک‌های بتن اول باید ناحیه ترک‌خوردگی به‌طور دقیق مورد بررسی قرار بگیرد. بعد از مشخص شدن ناحیه دقیق آسیب‌دیده ترمیم با دقت بسیار بالا به‌وسیله مهندسین خبره و حاذق در این کار انجام می‌شود. ترمیم ترک‌خوردگی‌ها کار آسانی نیست و هرکسی نمی‌تواند آن را انجام دهد.

### مراحل انجام عملیات ترمیم بتن در عمق به شرح زیر است:

مشخص کردن ناحیه آسیب‌دیده به‌طور دقیق و مشخص کردن الگوها

سوراخ کردن محل‌های مشخص شده

نصب پکرها

بتونه‌کاری و نصب الیاف FRP

تزریق اپوکسی

نحوه انجام عملیات پکر تزریق

همان‌طور که در قسمت قبلی گفتیم ابتدا باید محل عملیات تزریق را مشخص نمود. معمولاً فاصله بین سوراخ‌ها به‌صورت افقی و عمودی بین ۱۰ الی ۲۰ سانتیمتر می‌باشد؛ بنابراین طبق این اندازه با دریل‌های مخصوص سوراخ‌ها ایجاد می‌شوند، سپس سوراخ‌های ایجادشده توسط فشار با پمپ‌های باد کاملاً تمیز گشته و پکرها جایگذاری می‌شوند. میزان عمق سوراخ‌ها میزان تزریق مواد را مشخص می‌کند. بعد از گذاشتن پکرها با استفاده از مواد بتونه آن‌ها را سر جای خود محکم می‌کنند. سپس اجازه می‌دهند بتونه‌ها به‌طور کامل خشک شوند. در مرحله بعد به‌عنوان تمیزکاری برای پنهان کردن تعمیر و زیبایی کار یک لایه الیاف FRP روی مکان تعمیر شده نصب می‌شود. بعد از تثبیت لایه FRP برای تکمیل تعمیرات رزین اپوکسی در شیار سوراخ‌ها تزریق می‌شود که این تزریق با استفاده از پمپ و از پایین‌ترین سوراخ انجام می‌شود. تزریق رزین اپوکسی برای هر شیار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که مقداری از مواد از شیار بعدی مشخص شود و قبل از تراوش آن به بیرون تزریق سوراخ قبلی پایان می‌یابد.

پکر تزریق به‌راحتی می‌تواند ترک‌های سازه‌های بتنی را تعمیر کند. به‌علاوه برای آب‌بندی چاله آسانسورها، تونل‌ها و زیرزمین‌های مرطوب نیز استفاده می‌شوند و در سایزهای مختلف در بازار موجود هستند. انجام کار با این پکر تزریق کار آسانی است اما نیاز به مهارت و تمرین دارد و افراد مبتدی به‌خوبی نمی‌توانند این کار را انجام دهند.

سایز	جنس بدنه	قطر
10*10	فلز و پلاستیک	10m
8*8	فلز و پلاستیک	8m



رزین تزریق پایه اپوکسی جهت ترمیم ترک و حفرات در سازه های بتنی  
DEZOSIVE 4000

#### شرح :

DEZOSIVE 4000 بر پایه رزین اپوکسی ، دو جزئی ، فاقد فیلر و پرکننده ، با قابلیت نفوذ بالا ، جهت پر کردن و ترمیم حفرات و ترکها در سازه های بتنی و بنایی به روش تزریق می باشد.

#### موارد مصرف :

تزریق و ترمیم ترک ها در ستون ، دیوار ، تیر و فونداسیون ها  
ترمیم و پر کردن درزهای استاتیک در سازه های بتنی و بنایی

#### مزایا و ویژگیها :

ویسکوزیته پایین و توان نفوذ بالا  
چسبندگی بالا به بدون های درز  
بدون جمع شدگی  
امکان تزریق در بتن های مرطوب  
مقاومت مکانیکی بالا  
کسب مقاومت سریع

#### هشدارها و محدودیت ها :

از تماس با پوست و چشم خود داری شود.  
در زمان یخبندان و بارندگی از اجرا ممانعت گردد.  
پس از اجرا تا خشک شدن کامل ، در برابر تابش مستقیم آفتاب، یخ زدگی ، باران ، تردد و رطوبت شدید محافظت شود.  
به مدت ۲۴ ساعت از زمان اجرا در برابر ترافیک سنگین محافظت شود.  
از اعمال در دمای هوا و سطح کمتر از ۱۰ درجه سانتیگراد و بیش از ۳۵ درجه سانتیگراد خود داری نمایید.



مشخصات فنی :		استاندارد :
		براساس استاندارد EN 1504 و ACIE 706
		<b>روش مصرف :</b>
	Content	آماده سازی سطح : زمانی که رزین به صورت ثقلی اجرا می گردد ترکهای روی سطح باید با استفاده از شیار زن ، به شکل V ، به عرض ۵ تا ۱۰ میلیمتر و عمق ۱۰ تا ۱۲ میلیمتر باز شوند. درون ترک باید با استفاده از فشار هوا از گرد و غبار و هرگونه آئینه پاک شود.
Component A : Epoxy Resin	Color	روش اجرا : جزء A و B را به تناسب به هم اضافه و با همزن
Component B : Epoxy Hardener	Mixture	سرعت پایین مخلوط می کنیم. پکر های تزریق رزین
Transparent	Density	DEZOSIVE 4000 باید در طول ترک نصب گردند. پکر
1,0 – 1,1 g/cm <sup>3</sup>	Solid Content	ها نصب خواهند شد در سوراخ هایی که با استفاده از دریل در
100%	Viscosity	بتن ایجاد شده اند و سپس طول ترک یا درز با استفاده از
200 – 300 MPa.s	Compressive	بتونه اپوکسی بسته و سیل می شود. بعد از آن رزین اپوکسی
>65 N/mm <sup>2</sup> (7 days)	Strength	DEZOSIVE 4000 با استفاده از نازل درون پکرها (
>25 N/mm <sup>2</sup> (7 days)	Flexural	PACKER ) تزریق می شود. عملیات تزریق با استفاده از
>2 N/mm <sup>2</sup> (7 days)	Strength	پمپ های مخصوص تک یا دو جزئی انجام می گیرد. اگر امکان
>+62°C	Adhesion on	اجرای سریع DEZOSIVE 4000 وجود داشته باشد باید
+10°C to +35°C	Concrete	از پمپ تک جزیی استفاده شود. در غیر این صورت پمپ دو
	Flash Point	جزئی مورد نیاز می باشد. فشار تزریق نباید بیش از ۵ بار باشد.
	Application	معمولا وقتی تزریق در یک پکر را شروع می کنیم عملیات ادامه
	Temperature	می یابد تا شاهد خروج رزین از یک یا چند پکر ( PACKER
	Pot Life	( نزدیک به آن باشیم.
25 minutes	Drying Time	
18-24 hours	Re-coating	
7 days	Full curing	
3907.30	HS Code	

برای ترک های مویرگی و کم عرض در سطوح افقی می توان به جای استفاده از پمپ ، به روش ریزشی و بهره گیری از نیروی وزن رزین ( با توجه به ویسکوزیته پایین ) حرکت رزین انجام گردد. باید توجه داشت که سرعت واکنش و گیرش رزین اپوکسی بالا بوده و می بایست به سرعت مورد استفاده قرار گیرد. همچنین بای حجمی از محصول مخلوط و آماده مصرف شود که امکان استفاده از آن در مدت زمان حداکثر ۱۰ دقیقه وجود اشه باشد.

#### مقدار مصرف :

بسته به محل مصرف می باشد. به کارگیری سیستم تزریق رزین اپوکسی برای ترمیم و بازسازی ترک با عرض حداقل ۲ و حداکثر ۱۰ میلیمتر مناسب می باشد.

#### بسته بندی و شرایط نگهداری :

ست ۱۰ کیلوگرمی ( جزء A : گالن ۶,۶۷ کیلوگرمی ، جزء B : گالن ۳,۳۳ کیلوگرمی ) در محیط خشک و دمای ۵ تا ۳۵ درجه سانتیگراد نگهداری شود. در برابر تابش مستقیم نور خورشید ، حرارت زیاد و یخبندان محافظت گردد.

#### پاکسازی تجهیزات :

تجهیزات و لوازم استفاده شده باید بلافاصله پس از استفاده با حلال های صنعتی شستشو شود. در صورت خشک شدن رزین اپوکسی بر روی تجهیزات پاکسازی صرفا به روش های مکانیکی میسر خواهد بود.

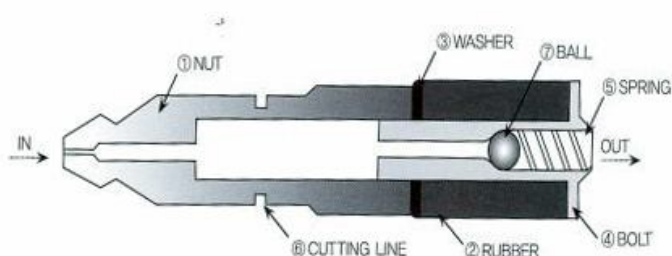
### نکات ایمنی :

از تماس با چشم و پوست خود داری شده و پس از استفاده دست های خود را شستشو دهید. در صورت تماس با چشم، پوست و یا بلعیده شدن ، سریعا به پزشک مراجعه شود و یا به بخش ایمنی دیتا شیت مراجعه گردد. درب ظرف را زمانی که استفاده نمی گردد بسته و به دور از دسترس اطفال نگهداری شود.

### Mechanical Injection Packer.bak



Our company is manufacturing various kinds of packers for injection use that are essential items for repairing and reinforcing the maintenance of concrete structure. With the automation of production line, we are providing the cost saving and also producing the quality products in equal. Especially, as the packer for high pressure injection use, it has excellent back flow preventing ability in spite of its durability and low viscosity resin. And it is designed for easy packing and finishing.



### Mechanical Injection Packer

#### Merits of Method of Construction of Packer

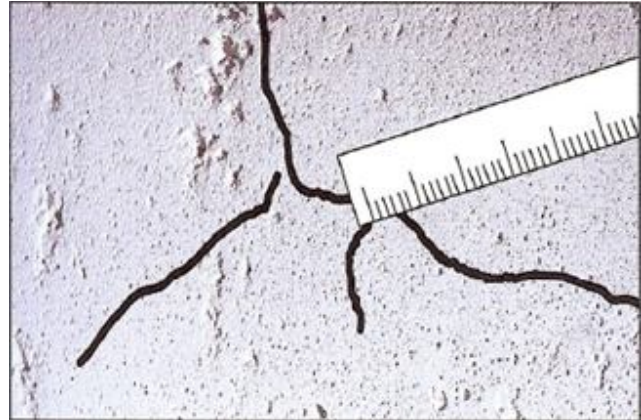
- It can inject large amount of resin with high pressure /speed so it enhances the work efficiency.
- It can achieve perfect injection by injecting it forcefully with high speed.
- It has excellent finishability after injection operation.

---

**Usage of Packer for each Specification**

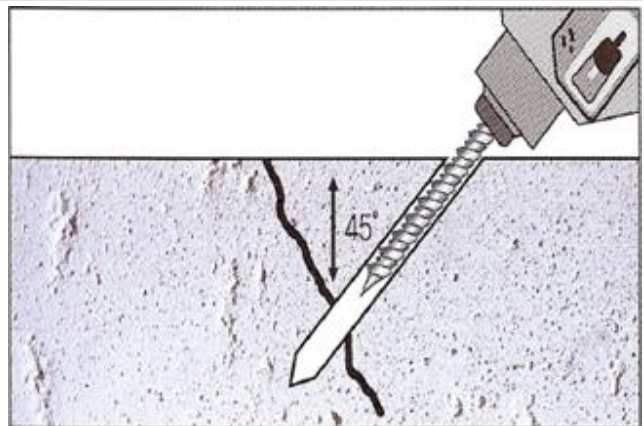
	6Φ-45	8Φ-55	10Φ-60	10Φ-100	13Φ-70
Maximum Expansion Diameter	7.6	10.2	12.5	12.5	15.4
Maximum Pressure	350	380	520	520	520

---

**A Method of Construction for Injection**

**1. Crack and leakage condition inspection**

Check the process procedure after finding the thickness, width and depth of crack and leakage condition of the structure

---


**2. Drilling Operation**

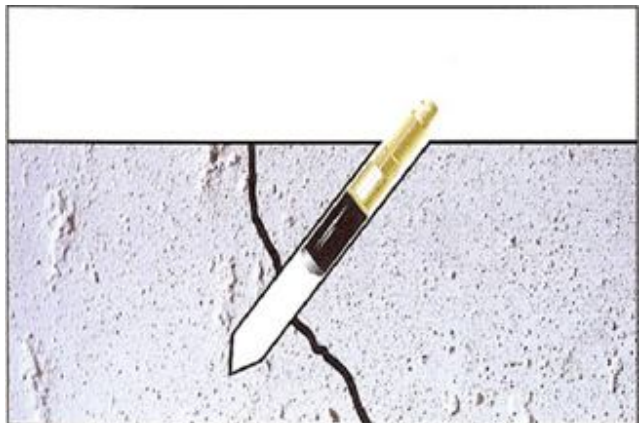
Drill directly into crack section if the thickness of concrete is thinner than 10cm. For the thickness of 10cm~50cm, drill it with 45 degree angle by keeping a distance of 1/5 of concrete thickness. Make sure it penetrates the crack section. If the thickness is over than 50cm, keep the distance of 20cm~30cm and drill it with 45 degree angle until it penetrates crack section. And keep drilling by maintaining the fixed interval. (5 holes per 1 meter. Drill it in zigzags)

---



### 3.Packer Installation

Clean the inside of drilled holes with compressor. Make sure that rubber sleeve of packer and cutting line of tightening nut should be put into the inside of concrete surface when installing. Tighten the packer completely by using the T-box. (Packer might be damaged if you tighten it too strongly)



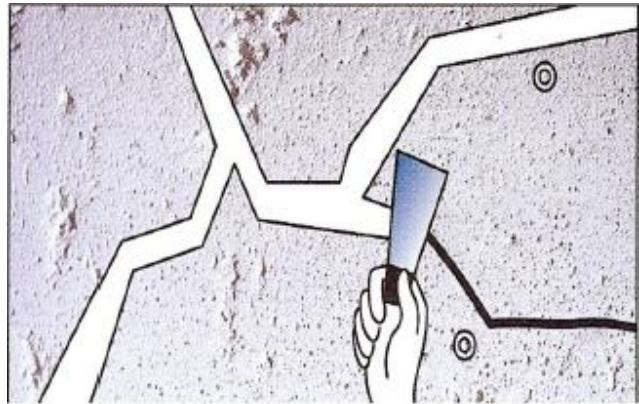
### 4.Injection Operation

Inject the urethane water stopping material by using the high pressure device or grease gun. Maintain the initial injection pressure as around 40kg/cm and increase the pressure by each 10kg/cm gradually until the water stopping material flows out from crack section. Water will come out from the crack section first and then water stopping foaming agent and then water stopping liquid at last. If the water stopping material that is not foamed comes from the crack section, then move to next packer for injection.



### 5.Packer Removing Operation

Remove and break the packer by using vise pliers or hammer as a tool. If there is still a wet section, then inject the water stopping material again.

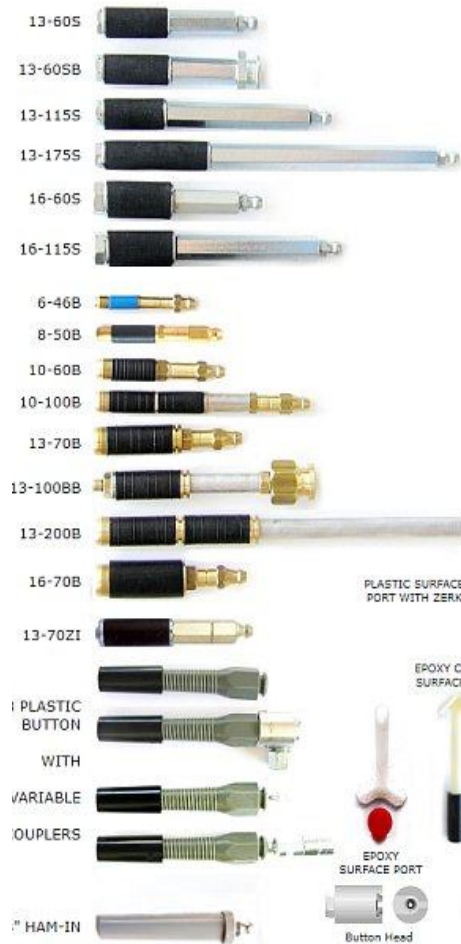


### **6. Finishing Operation**

Remove the water stopping material that is remained on the crack section. Spreading with the elastic sealing material.

# SealBoss®

## Packer Info Sheet

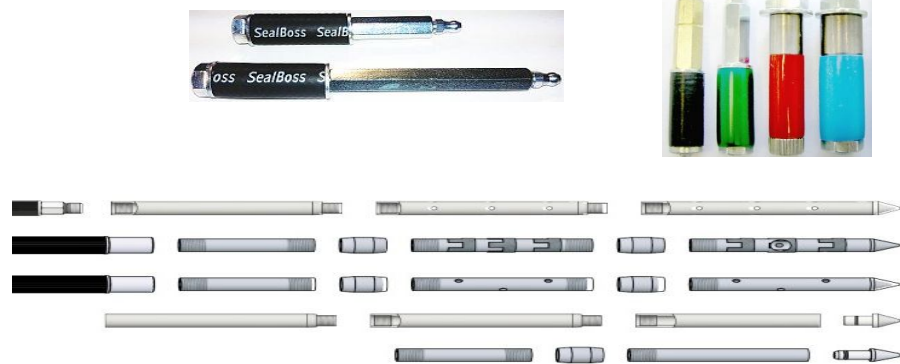


### Professional Packer & Injection Accessories

Code	Size	
<b>S-TYPE</b>		
13-60S	1/2x3 in	13x70 mm
16-60S	5/8x3 in	16x70 mm
13-115S	1/2x4 in	13x100 mm
13-175S	1/2x6 in	13x150 mm
16-115S	5/8x4 in	16x100 mm
<b>B-TYPE</b>		
13-70B	1/2x3 in	13x70 mm
16-70B	5/8x3 in	16x70 mm
10-60B	3/8x2.5 in	10x60 mm
8-50B	5/16x2 in	8x50 mm
6-46B	1/4x1.8 in	6x46 mm
13-100B	1/2x4 in	13x100 mm
16-100B	5/8x4 in	16x100 mm
13-150B	1/2x6 in	13x150 mm
16-150B	5/8x6 in	8x150 mm
13-200B	1/2x8 in	13x200 mm
16-200B	5/8x8 in	8x200 mm
<b>ZINC-TYPE</b>		
13-70ZI	1/2x3 in	13x70 mm
<b>PLASTIC BUTTON-TYPE</b>		
5/8BPB	5/8x4 in	16x100 mm
<b>HAMMER-IN PLASTIC PACKERS</b>		
HAM3/8	3/8x3 in	10x70 mm
<b>SURFACE EPOXY PORTS</b>		
SPCORNER	1/4 in	Hole: 10 mm
HAM1/2-EP	1/2 in	Port: 13 mm
SPEPTRI	1/4 in	Port: 10 mm

## Injection Packer Data Sheet Injection Lances Data Sheet

- Concrete Injection Packer Supplies Mechanical Packers Metal and Plastic Packers Zerk & Buttonhead Types Hammer in Types and Surface Ports Custom Made Packers for All Needs Hammer-In Packers Epoxy Injection Packers Surface Ports Button Head Packers Zerk Style Packers





#### Static Mixers

#### Recommended Product Use

by Mixer Number:

- 1- 6060 QuickFix
- 2- PA3000 Epoxy Machine Short
- 3- JointMaster Pro 2 Short
- 4- PA3000 Epoxy Machine Standard
- 5- 4500F Epoxy Paste & 6500 JointFiller
- 6- 4000 LV / 4050 SLV Epoxy Cartridge
- 7- JointMaster Pro 2 Standard

#### Drill Bits

Maximum Life, Premium Carbide

Tipped Hammer Drill Bits to fit SDS Plus Style Mounting

Selected, Quality Tested Long Life Drill Bits

We added selected quality drill bits to our line of accessories to save you money and ease the job. Please call our office at 1877-932-2293 for more information on these competitively priced maximum life drill bits.

<https://www.sealboss.com/PACKER.php>

[https://swchem.net/en/?page\\_id=788](https://swchem.net/en/?page_id=788)

#### Chemical Injector Quill

The chemical injector and sampler are the end devices of the chemical injection system or the piping medium sampling system. Periodically injecting chemical inhibitor into the pipeline is the most practical way for minimizing or controlling corrosion, which requires chemical injectors. EMT Injection System for easy, reliable access, inhibitors can be injected under operating pressure with safety. The chemical injector has many types of nozzles. The sampler is approximately the same as the injector.

#### Removable Chemical Injector Quill

The chemical injector and sampler are the end devices of the chemical injection system or the piping medium sampling system. Periodically injecting chemical inhibitor into the pipeline is the most practical way for minimizing or controlling corrosion, which requires chemical injectors. EMT Injection System for easy, reliable access, inhibitors can be injected under operating pressure with safety. The chemical injector has many types of nozzles. The sampler is approximately the same as the injector.

Removable chemical injector quill

[http://www.emtpipeline.com/product-list/chemical-injector-quill?gclid=EAlaIqobChMI36XPr4bk7wIVwu3tCh2aQQbsEAAYASAAEgJ40PD\\_BwE](http://www.emtpipeline.com/product-list/chemical-injector-quill?gclid=EAlaIqobChMI36XPr4bk7wIVwu3tCh2aQQbsEAAYASAAEgJ40PD_BwE)

#### Plastic Injection Molding

A manufacturer of injection molding machines wants a system that will close a molding chamber, apply pressure to the molding chamber for 5 seconds and then open the mold.

This action needs to be synchronized with other machine events. When the molding chamber is open the motor must be "parked" at a designated position to allow clearance to remove the molded part. The manufacturer would like an electronic solution (this is the only hydraulic axis on the current machine).

**Machine Objectives:**

- Electronic solution
- Computer-controlled solution
- 4000N (900lbs.)force

**Motion Control Requirements:**

- Position and torque control
- Serial link to computer and other drives
- Ability to change pressure and dwell

**Application Solution:**

A BDHX75E/230V brushless servo drive with an MD3450/230V motor and an ETS80-BO4LA Electro-Thrust Electric Cylinder were used. The BDHX servo was chosen because it can switch between position control and torque control on-the-fly without instability or saturation and then, while in torque control mode, directly controls motor torque.

**Product Solutions:**

- Controller/Drive - [BDHX75E/230V](#)
- Motor - MD3450/230V
- Actuator - E2580-BO4LA

<http://www.parkermotion.com/applications/plasticmold.htm>

Plastic Injection Molding

**15years plastic injection molding factory in shenzhen china**

We are a professional mold manufacturer founded in 1996, And bought Vowin at 2008, To Provide from Design to Prototype Make to Mold Manufacturing And Assembly,Injection,Painting,Screen Printing, and Ship, ALL IN ONE Service Company.

Which Mold you want do? Plastic Injection/or die casting or punch mould etc Which Mould Material you want choice? 45#, 50#, P20, H13, 718, 2738, NAK80, S136, SKD61 etc. Which Product Material want? PP, PC, PS, PE, PU, PVC, ABS, PMMA etc.

How many Cavity? Single/Multiple which Designing Software you use? UG/CAD/PROE etc. Runner? Hot/cold

Tolerance? 0.005 – 0.01mm Mould Life you want? 300000 –1000000 Shots Mould Base? LKM/HASCO/DME etc.

Package Wooden Case Delivery By Sea /By Air or keep the mould in our factory and injection from us Specifications As per customers' demand

**7 Major Advantages and steps of Plastic Injection Molding make**

1. RD or Customer drawing Sent to us 3D drawing , meanwhile ,We support customer R&D. Make the files or improve the design if you needed.
2. Negotiation the quality, price, material, delivery time, payment item, ect.
3. Place an order according your own design or our design drawing which according to your need
4. Mould

According customers request to build the mould. Before make the mould, we send mould design to customer approval first, before move forward to production; we send samples to customer to confirm first.

5. Sample shoot



If the first sample come out is not satisfied customer, we modify the mould and until meet customers satisfactory. Also the customer pay the 30% of the total

6.MASS PRODUCTION After everthing ok, customer approved and signed the sample to us go ahead Mass production

7. Delivery time Delivery goods by sea or by air, according customers requirement.

### **The top 8 benefits of plastic injection molding**

#### **1) It's accurate.**

Plastic injection molding is such a precise method that it can fabricate nearly any type of plastic part. There are certain design restrictions, but the molds that are made allow the finished product to be very precise. In fact, accuracy is typically within 0.005 inches.

#### **2). High Efficiency– Fast Production**

There are several good reasons that plastic injection molding is known as the most common and most efficient form of molding. The process itself is extremely fast compared to other methods, and the high production output rate makes it even more efficient and cost-effective. Speed depends on the complexity and size of the mold but only about 15–120 seconds pass between each cycle time.

#### **3) Low labor costs.**

Injection molding equipment typically runs with a self-gating, automatic tool to keep operations streamlined and production ongoing, requiring minimal supervision.

#### **4) It's resourceful.**

With so much attention being paid to sustainability these days, it's commonplace for product developers to choose processes that benefit the environment and minimize waste. Plastic injection molding isn't only an efficient, effective process, but it is also resourceful. That's because a) only as much plastic as is necessary is used to create the part and b) excess plastic can be ground up and recycled after use.

#### **5. Flexibility– Material and Color**

Choosing the right material and color for a project are two of the essential factors in creating plastic parts. Due to the wide variety of both, the possibilities are almost endless. The advances in polymers over the years have contributed to the development of a large selection of resins from which to choose. It is important to work with an injection molder that has experience with a variety of resins and applications including resins that are compliant with FDA, RoHS, REACH and NSF. To ensure you select the right resin for your project, keep in mind the following variables: impact strength, tensile strength, a flexural modulus of elasticity, heat deflection and water absorption.

Plastics can be colored using various coloring systems, each of which offers its own unique properties, benefits, and drawbacks. Masterbatches, "salt and pepper" blends, Liquid Color, and precolored resins are four of the most common coloring techniques. To learn more, check out our recent article on how plastic resins get their color.

#### **6. Complex Part Design**

Injection molding can handle extremely complex parts, and uniformity, as well as the ability to make millions of virtually identical parts. To optimize the effectiveness of high-volume injection molding and maximize the precision and quality of your parts, key design elements should be

taken into account. The part design must be developed to maximize the efficiency inherent in high-volume molding. With the right design, parts can be made consistently and with quality. Without a good design, costly processing mistakes can be made.

Around the industry, most molding professionals agree that there are fundamental design elements that must occur during the injection process to work correctly. They include wall thickness, rib design, boss design, corner transitions and weld lines and gate placement, and properly placed vents. You can learn more about all of these elements here.

#### **7) A smooth finished appearance.**

Plastic injection molding is a process, for the most part, where produced parts need little to no end finishing. That's because all parts that come out of the mold are about the closest thing to a finished appearance. Yes, the surface finish is really that good right out of the mold! Getting back to benefit No. 3 on this list, here's another an example of how injection molding creates low labor costs.

#### **8) Cheaper than plastic machining, long-term.**

The initial creation of a mold can be expensive, with the cost being a few thousand dollars. But once the mold is created you can create a very large volume of plastic components at a minimal cost. For this reason, large production runs using plastic machining can cost up to 25 times more than plastic injection molding.

[https://www.vowin.cn/en/Mold/Plastic\\_Mold/?gclid=EAlaIqObChMIpPKCkIfk7wIVBbDtCh1e6AIOEAMYASAAEgl\\_d\\_D\\_BwE](https://www.vowin.cn/en/Mold/Plastic_Mold/?gclid=EAlaIqObChMIpPKCkIfk7wIVBbDtCh1e6AIOEAMYASAAEgl_d_D_BwE)

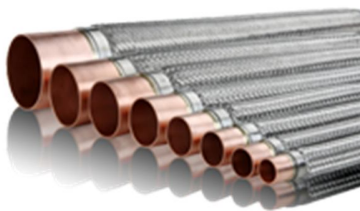
Our Flexible Hose is produced with deep pitch stainless steel corrugated tube and high tensile wire braid, Each end is TIG welded by stainless steel ferrules and clamped the wire braid by high pressure clamping machine.

A stopper can also be designed on each connection end, providing a more positive seal and low leak rate. All Flexible Hoses are tested twice by Helium and hydraulic leak test machine.

OEM designed Flexible Hose is also available. Max working pressure is from 44.8 bar to 13 bar, working temperature is from -40°C to +120°C . UL and CE certified.

#### **Introduction for Flexible Hose with Elbow, Bending, Flare nut**

---



Flexible Hoses are installed in the suction and discharge lines of Air conditioning and Refrigeration system to eliminate vibration and noise which compressor generates, and for reducing stress linked with piping thermal expansion in AC&R.

Each Flexible Hose is 100% pressure tested by helium leak detector and hydraulic leak tester. All units are carefully cleaned, dehydrated and sealed in film and packed into individual box after final inspection.

Flexible Hoses are compatible with all kinds of refrigerants and lubricants.

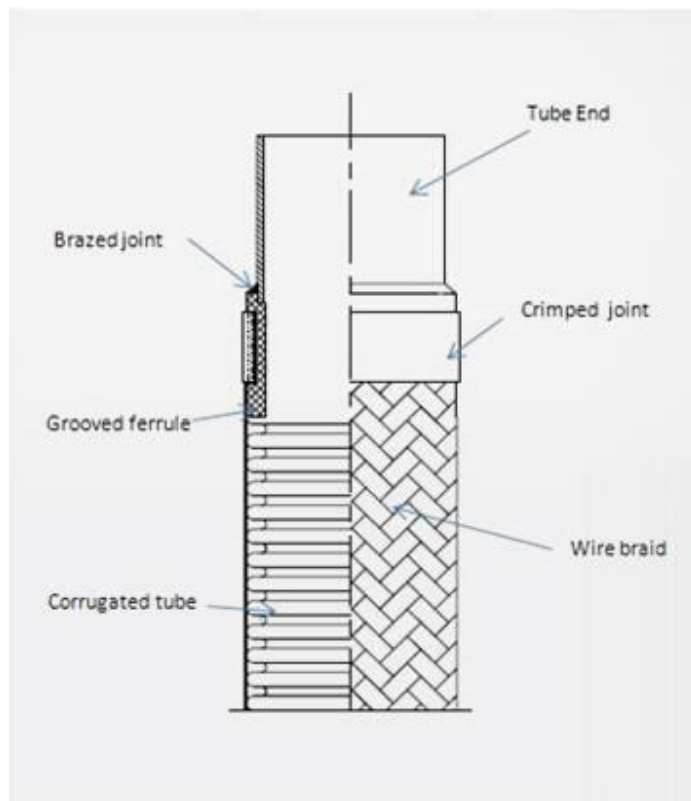
## Product features

---

- \* Deep pitch stainless steel corrugated tube and high tensile wire braid, Each end is TIG welded by stainless steel ferrules and clamped the wire braid by high pressure clamping machine.
- \* A stopper can also be designed on each connection end, providing a more positive seal and low leak rate.
- \* All Flexible Hoses are tested twice by Helium and hydraulic leak test machine.
- \* OEM designed Flexible Hose is also available.
- \* Max working pressure is from 44.8 bar to 13 bar, working temperature is from -40°C to +120°C .
- \* UL and CE certified.

## Specifications

---



Model	MWP barg(psig)	Max. working Temperature °C	Min. working Temperature °C	UL rated burst pressure barg (psig)
HES-014	44.8 (650)	+120	-40	224.0 (3250)
HES-038	44.8 (650)	+120	-40	224.0 (3250)
HES-012	44.8 (650)	+120	-40	224.0 (3250)

HES-058	44.8 (650)	+120	-40	224.0 (3250)
HES-034	44.8 (650)	+120	-40	224.0 (3250)
HES-078	44.8 (650)	+120	-40	224.0 (3250)
HES-118	41.3 (600)	+120	-40	206.8 (3000)
HES-138	37.9 (550)	+120	-40	189.6 (2750)
HES-158	35.1 (510)	+120	-40	175.8 (2550)
HES-218	27.5 (400)	+120	-40	137.8 (2000)
HES-258	24.1 (350)	+120	-40	120.6 (1750)
HES-318	22.0 (320)	+120	-40	110.3 (1600)
HES-358	13.0 (190)	+120	-40	39.3 (570)
HES-418	13.0 (190)	+120	-40	39.3 (570)

#### Product details



در مهندسی سازه علاوه بر ساخت سازه‌های جدید یکی از کارهای بسیار مهمی که انجام می‌شود تعمیرات بخش‌های تخریب‌شده سازه‌ها مانند ترک‌ها می‌باشد. ترک‌های ایجادشده در مواد بتنی یکی از این آسیب‌هاست که با توجه به علت ایجاد آن قابل تعمیر هستند. یکی از روش‌های اصلی برای تعمیر این ترک‌ها تزریق اپوکسی تحت فشار و پکر گذاری یا پکر تزریق برای جوش دادن دو قطعه ترک‌خورده به همدیگر است.

پکر تزریق چیست؟

با توجه به رشد هرروزه سازه‌های بتنی قطعاً نیازمندی راهکارهایی برای تعمیر آن‌ها نسبت به آسیب‌های احتمالی هستیم تا بتوانیم عمر مفید سازه را هرچه بیشتر افزایش داده و از نظر هزینه کمتر ضرر کنیم. یکی از آسیب‌های رایج در بتن‌ها ترک‌خوردگی در برخی سطوح آن می‌باشد. پکر تزریق یا پکر گذاری نیز یک روش عالی برای از بین بردن ترک‌ها و ترمیم این نوع سازه‌ها است که به دلیل کاهش هزینه تعمیر و عدم نیاز به تعویض کل سطح بتنی، طرفداران زیادی بین کارفرمایان دارد.

نوع پکر تزریق به چه مواردی بستگی دارد؟

همان‌طور که قبلاً هم اشاره کردیم نوع پکر تزریق به علت ایجاد آسیب بستگی دارد. حتماً می‌دانید که بتن یکی از محکم‌ترین و بهترین مصالح در ساخت انواع سازه‌ها است؛ اما همین مصالح سخت که فشارهای بسیار بالا را تحمل می‌کند و دوام بسیار خوبی دارد نیز ممکن است تخریب شود؛ زیرا هر مصالحی علاوه بر محاسنش معایبی هم دارد. بتن نیز در صورتی که در یک محیط اسیدی باشد، مشکلات اجرایی یا مقاومت کمی داشته باشد کم‌کم دچار ترک می‌شود و هر کدام از این دلایل پکر گذاری مخصوص به خودش را می‌خواهد. در ادامه توضیح خواهیم داد که پکر گذاری چگونه انجام می‌شود.

نحوه‌ی انجام عملیات پکر تزریق

برای ترمیم ترک‌های بتن اول باید ناحیه ترک خوردگی به‌طور دقیق مورد بررسی قرار بگیرد. بعد از مشخص شدن ناحیه دقیق آسیب‌دیده ترمیم با دقت بسیار بالا به‌وسیله مهندسین خبره و حاذق در این کار انجام می‌شود. ترمیم ترک خوردگی‌ها کار آسانی نیست و هر کسی نمی‌تواند آن را انجام دهد.

### مراحل انجام عملیات ترمیم بتن در عمق به شرح زیر است:

- مشخص کردن ناحیه آسیب‌دیده به‌طور دقیق و مشخص کردن الگوها
- سوراخ کردن محل‌های مشخص شده
- نصب پکرها
- بتونه کاری و نصب الیاف FRP
- تزریق اپوکسی

نحوه انجام عملیات پکر تزریق

همان‌طور که در قسمت قبلی گفتیم ابتدا باید محل عملیات تزریق را مشخص نمود. معمولاً فاصله بین سوراخ‌ها به‌صورت افقی و عمودی بین ۱۰ الی ۲۰ سانتیمتر می‌باشد؛ بنابراین طبق این اندازه با دریل‌های مخصوص سوراخ‌ها ایجاد می‌شوند، سپس سوراخ‌های ایجاد شده توسط فشار با پمپ‌های باد کاملاً تمیز گشته و پکرها جایگذاری می‌شوند. میزان عمق سوراخ‌ها میزان تزریق مواد را مشخص می‌کند. بعد از گذاشتن پکرها با استفاده از مواد بتونه آن‌ها را سر جای خود محکم می‌کنند. سپس اجازه می‌دهند بتونه‌ها به‌طور کامل خشک شوند. در مرحله بعد به‌عنوان تمیزکاری برای پنهان کردن تعمیر و زیبایی کار لایه الیاف FRP روی مکان تعمیر شده نصب می‌شود.

بعد از تثبیت لایه FRP برای تکمیل تعمیرات رزین اپوکسی در شیار سوراخ‌ها تزریق می‌شود که این تزریق با استفاده از پمپ و از پایین‌ترین سوراخ انجام می‌شود. تزریق رزین اپوکسی برای هر شیار تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که مقداری از مواد از شیار بعدی مشخص شود و قبل از تراوش آن به بیرون تزریق سوراخ قبلی پایان می‌یابد.

پکر تزریق به راحتی می‌تواند ترک‌های سازه‌های بتنی را تعمیر کند. به‌علاوه برای آب‌بندی چاله آسانسورها، تونل‌ها و زیرزمین‌های مرطوب نیز استفاده می‌شوند و در سازه‌های مختلف در بازار موجود هستند. انجام کار با این پکر تزریق کار آسانی است اما نیاز به مهارت و تمرین دارد و افراد مبتدی به‌خوبی نمی‌توانند این کار را انجام دهند.

سایز  
10\*10  
8\*8

جنس بدنه

فلز و پلاستیک

فلز و پلاستیک



### فروش پمپ ، پکر تزریق ، رزین پلی یورتان و اپوکسی بتن

تزریق رزین : تزریق رزین برای ترمیم بتن‌های دارای ترک و یا نقاط ، درزها و ترکهای آب دار استفاده می شود. دو روش اصلی برای ترمیم بتن با استفاده از تکنیک تزریق رزین به کار گرفته می شود:

الف - رزین اپوکسی : رزین های اپوکسی عمل آوری شده به صورت جامد با مقاومت بالا و مدول الاستیسیته نسبتا بالا می باشند. چسبندگی رزینهای اپوکسی به بتن در حدی می باشد که با اجرای مناسب قابلیت بازگرداندن استحکام سازه ای اولیه بتن ترک خورده را دارند. مدول الاستیسیته بالای رزین اپوکسی باعث شده که برای چسباندن بتنهای ترک خورده که در آینده دارای احتمال جابجایی هستند مناسب نباشند. از رزین اپوکسی برای آب بند نمودن ترکهای آبدار استفاده می شود. اما با این حال به علت سرعت پایین عمل آوری رزین های اپوکسی به خصوص در دماهای پایین و نیز در صورت وجود جریان زیاد آب ، استفاده از آن برای آب بندی ممکن نیست. ترک هایی که در آنها رزین اپوکسی تزریق می شود باید دارای عرضی بین ۰,۰۰۵ اینچ تا ۰,۲۵ اینچ باشند. تزریق رزین اپوکسی در ترکهای با عرض ۰,۰۰۵ سخت و ناممکن است و همچنین نگهداری از رزین تزریق شده در ترک های عریض تر از ۰,۲۵ اینچ کار دشواری است ، اگر چه گاهی این امر با استفاده از رزین های اپوکسی با چگالی بالا با موفقیت قابل انجام است. رزین های اپوکسی عمل آوری شده دارای حالت تردد و شکننده، با استحکام چسبندگی بیش از مقاومت برشی و کششی بتن می باشند. اگر این مواد برای اتصال مجدد بتن ترک خورده ی در معرض بارهای بیش از مقاومت برشی و کششی استفاده گردد ، باید انتظار داشت که ترکهایی مجددا در کنار خط اتصال اپوکسی نمودار شود. به عبارت دیگر برای ترمیم ترک های فعال نباید از رزین اپوکسی استفاده نمود..

موفقیت در اجرای رزین های اپوکسی برای ترکهای مرطوب متفاوت و متغیر است. تعدادی تکنیک های ویژه و در حال توسعه برای چسبندگی مجدد و آب بندی ترکهای آب دار به وسیله ی رزین اپوکسی وجود دارد. این روش و تکنیک های ویژه بسیار تخصصی و فنی بوده و در جاهای خاصی به کار برده می شوند. این روشها صرفا زمانی در پروژه های تعمیراتی به کار گرفته می شوند که پس از بررسی و تحلیل به این نتیجه برسیم که سایر روشهای موجود و استاندارد برای تعمیر پاسخگو و مناسب نیستند.

ب- رزین های پلی یورتان : از رزین های پلی یورتان برای آب بندی و حذف نشت آب از ترک ها و درزهای بتن استفاده می شود. آنها همچنین می توانند در ترکهایی که امکان جابجایی های کوچک خواهند داشت، تزریق شوند. چنین سیستم هایی، به جز سیستم پلی یورتان دوجزئی جامد، مقاومت کمی داشته و نباید برای چسباندن دوباره ترکها مورد استفاده قرار گیرند. رزین پلی یورتان نباید در ترکهای با عرض کمتر از ۰,۰۰۵ اینچ استفاده و تزریق شود. تا کنون برای تزریق رزین های پلی یورتان، هیچ حدی برای حداکثر اندازه ترک مشخص نشده است. رزین های پلی یورتان با تنوع قابل توجهی از منظر خواص فیزیکی در دسترس می باشند. برخی از رزین های پلی یورتان پس از عمل آوری به شکل فوم منعطف در می آیند. سیستم های دیگر رزین پلی یورتان پس از عمل آوری به صورت جامد با انعطاف پذیری نسبی و چگالی بالا در می آیند که می توانند برای چسباندن مجدد درزهای با امکان جابجایی مورد استفاده قرار گیرند. رزین های پلی یورتان فوم شونده برای شروع عملیات عمل آوری نیازمند آب می باشند به همین دلیل طبیعی است که از آنها برای تعمیر و ترمیم بتنهای در معرض آب یا مرطوب استفاده کرد. تا کنون هیچ استانداردی برای رزین های پلی یورتان مانند آنچه در استانداردهای معتبر برای رزین های اپوکسی وجود دارد، ارائه نشده است. با توجه به فقدان استاندارد از یک سو و از سوی دیگر تغییرات گسترده در خواص فیزیکی رزین های پلی یورتان ، لازم است که دقت و مراقبت زیادی در انتخاب این رزین برای تعمیر بتن صورت گیرد. راهنمای کاربردی برای این نوع رزین ها زیاد مفید و موفقیت آمیز نمی باشد. بعضی از مراکز تحقیقاتی و آزمایشگاهی در حال انجام مطالعات و تحقیقات بر روی این نوع ارزشمند از رزین ها می باشند. در صورت نیاز به مشاوره و راهنمایی برای روشهای اجرا می توان از این مراکز کمک گرفت.

به علت هزینه بالای روش تزریق، معمولا از این روشها برای ترمیم ترکهای کم عمق و خشک استفاده نمی شود. مشخصات فنی و اجرایی رزین های تزریقی در بخش پیوست مربوط به استانداردهای تعمیر و مرمت مدرج گردیده است.

الف - آماده سازی : ترک ها ، درزهایی که رزین در آنها تزریق می شود باید از همه ی آلایندها و مواد آلی به خوبی پاک شود. از روشهای مختلف با بازدهی متفاوت برای پاکسازی ترکها استفاده می شود. استفاده مکرر از تزریق هوای فشرده و پس از آن آب ، از محل سوراخ های ایجاد شده برای انجام عملیات تزریق، روش مناسبی برای شستشو و پاکسازی ترکهای در معرض نشت آب می باشد. استفاده ی موفق از صابون ها در شستشو با آب، توسط تعدادی از دست اندرکاران گزارش گردیده است. حذف کامل صابون از درون ترکها مشکل بوده ، لذا ممکن است با توجه به این مشکلات استفاده از آن معقول و راضی کننده نباشد. استفاده از اسیدها برای تمیز کردن ترکها در عملیات بازسازی و ترمیم مجاز نیست. معمولا نباید در ترکهایی از رزین اپوکسی برای ترمیم و چسبندگی مجدد آنها استفاده می شود اقدام به تزریق آب نمود. از رزین اپوکسی می تواند برای تزریق در ترکهای مرطوب نیز استفاده نمود، لذا آنها چسبندگی بالاتری در هنگام اتصال به بتن های خشک خواهند داشت.

ب- مواد : رزین اپوکسی مورد استفاده برای تزریق باید حاوی ۱۰۰ درصد مواد جامد و منطبق با استانداردهای معتبر باشد. اگر هدف از انجام تزریق بازگرداندن به شرایط باربری اصلی و اولیه طراحی باشد باید رزینهای اپوکسی تیپ چهار انتخاب و استفاده شود. اما اگر هدف از تعمیر بازگرداندن قابلیت باربری اولیه نباشد استفاده از رزین های اپوکسی تیپ یک کفایت می کند. استفاده از هر گونه حلال و یا رقیق کننده غیر واکنش زا در رزین پلی یورتان مجاز نمی باشد.

رزین پلی یورتان به کار برده شده در تعمیر ترکها سیستمی دو بخشی شامل ۱۰۰ درصد از رزین پلی یورتان به عنوان بخش اول و آب به عنوان بخش دوم می باشد. رزین های پلی یورتان در هنگام اختلاط با آب و عمل آوری به شکل فوم های انعطاف پذیر یا ژل در می آیند که این امر مرتبط و متناسب با نسبت اختلاط رزین با آب می باشد. با این حال در صورتی که اختلاط رزین پلی یورتان با مقدار مناسبی از آب انجام شود فوم رزین عمل آوری و سخت شده دارای حداقل مقاومت کششی 20 psi با چسبندگی

به بتن 20 psi و حداقل ازدیاد طول ۴۰۰ درصد در هنگام گسیختگی کششی می باشد. قبل از استفاده و تزریق رزین های پلی یورتان باید گواهی نامه ای از تولید کننده مبنی بر اینکه محصول مورد نظر حداقل مشخصات مذکور را دارا می باشد، اخذ گردد. ج - تجهیزات تزریق: رزین ها می توانند با انواع مختلف تجهیزات تزریق شوند. در تعمیرات کوچک با رزین اپوکسی از هر سیستمی که بتواند به شکل مناسب و موفقیت آمیز تزریق مورد نیاز رزین اپوکسی را انجام دهد، می توان استفاده نمود. در این سیستم ها می توان دو جزء رزین اپوکسی را پیش از اجرا در ظرفی مجزا مخلوط نمود. با توجه به عمر کوتاه رزین اپوکسی پس از اختلاط، این روش می تواند از نظر زمانی بحران ساز باشد.

معمولا در کارهای بزرگ تزریق رزین اپوکسی نیاز است از تزریق به روش تک مرحله ای که در آن دو جز اپوکسی از مخزن به طور مجزا به نازل پمپاژ و در آنجا مخلوط می شوند، استفاده شوند. با انجام اختلاط در نازل این امکان به وجود می آورد که دو جزء در کنار ترک تعمیراتی با هم مخلوط و پس از آن تزریق صورت گیرد. اپوکسی مورد استفاده در این روش باید در ابتدا ویسکوزیته پایینی داشته و زمان مجموعه عملیات به دقت کنترل شود. کاخانه های مختلف تولید کننده دارای تجهیزات با مشخصات اختصاصی خود می باشند. مجموعه اپوکسی ها و روش های مختلف توسعه یافته این امکان را فراهم می سازد که تعمیرات در شرایط نامطلوب با رضایت و موفقیت انجام گردد. در صورت نیاز به تعمیرات عمده به روش تزریق رزین اپوکسی باید با این شرکت ها تماس حاصل کرد.

رزین های پلی یورتان پس از انجام اختلاط دارای عمری بسیار کوتاه بوده از این رو باید زمانی که همه مولفه ها آماده می باشد اختلاط صورت گیرد و برای تزریق از تجهیزات اختصاصی تک مرحله ای مانند آنچه برای تزریق رزین اپوکسی در تعمیرات بزرگ به کار گرفته می شود، استفاده نمود. دستورالعملهای تعمیراتی موجود، اجازه ی تزریق رزین ۱۰۰ درصد خالص را نمی دهند. در هر مرحله باید ترکیباتی از مخلوط آب و رزین یا رزین نوع A و نوع B به کار گرفته شود. این تجهیزات اجزای سیستم رزین باعث می گردد تا اختلاط دقیقا قبل از نقطه تزریق رزین درون ترک صورت پذیرد. اندازه ی تجهیزات تزریق رزین پلی یورتان از انواع کوچک و دستی، تا تجهیزات بزرگ تجاری که قادر به تزریق حجم زیادی از رزین در ساعت می باشند، متفاوت است. فشار پمپاژ تجهیزات تزریق رزین پلی یورتان ممکن است بیش از 3000 psi باشد. تعدادی از تولیدکنندگان وجود دارند که تجهیزاتی با کیفیت مناسب و بالا ارائه می نمایند و به ندرت پیش می آید که نیاز به طراحی نوع خاصی از تجهیزات برای پروژه تعمیراتی باشد.

د - روش اجرا: موفقیت پروژه های تعمیراتی با تزریق رزین به طور مستقیم به تجربه و دانش نیروهای اجرایی بستگی دارد. پیمانکاری که برای تعمیر بوسیله تزریق برگزیده می شود می بایست دارای ۳ سال تجربه در قراردادهای مشابه بوده و یا حداقل در پنج پروژه مشارکت داشته باشد. در پروژه تعمیراتی در صورتی می توان از پیمانکار با تجربه کمتر استفاده نمود که شرکت تولیدکننده قبول کند که به صورت تمام وقت اقدام به نظارت بر روند اجرایی پروژه نماید و تولید کننده مذکور دارای پنج سال سابقه ارائه رزین به پروژه های مشابه باشد.

(۱) روش اجرا رزین اپوکسی با تزریق تحت فشار: هدف از تزریق رزین اپوکسی پر کردن کامل ترک و نگهداری از آن تا اتمام مرحله عمل آوری و سفت شدن می باشد. اولین گام در فرایند تزریق رزین، تمیز کردن کامل سطوح بتن مجاور ترک از بتنهای سست، فرسوده و آلودگی ها است. سپس محل و ورودی تزریق بازرسی و بررسی می گردد. انواع مختلفی از روشهای تزریق را می توان به کار گرفت:

• اگر ترکها به وضوح قابل مشاهده و نسبتا باز باشند می توان پکر تزریق را با فواصل مناسب با حفاری مستقیم در سطح ترک نصب کرد. در هنگام سوراخ کاری برای نصب پکر باید مراقب بود تا از ایجاد گرد و غبار و بقایای سوراخ کاری و در نتیجه مسدود شدن مسیر و دهانه، جلوگیری شود. دریل هایی با وکیوم مخصوص برای این کار وجود دارد. سطح ترک بین پکر ها باید بوسیله بتونه اپوکسی بسته شود تا امکان سفت شدن رزین در ترک به وجود آید. عملیات تزریق از کم ارتفاع ترین پکر شروع و تا بالاترین پکر ادامه می یابد.



روش بهتر برای نصب پکر سوراخ کاری متناوب از بالا و پایین ترک ، با زاویه تا هنگام قطع و عبور از سطح ترک می باشد. این روش تضمین می کنند که سوراخ ایجاد شده، حتی در صورت وجود ترکهای انشعابی و یا شیب در ترک ، با آن تلاقی خواهد داشت. سپس باید همانند آنچه در بالا گفته شد ، سطح روی ترک به وسیله بتونه یا خمیر اپوکسی بسته شود.

باید تزریق رزین اپوکسی را با فشار نسبتا پایین انجام داده و اجازه داد تا رزین حرکت و همه حفرات را پر نماید. استفاده از فشار بالا در تزریق رزین باعث بسته شدن مسیر تزریق و عدم پر شدن کامل ترک می شود که این امر از علائم بی تجربگی پیمانکار مربوطه می باشد. بهترین روش برای حصول اطمینان از کیفیت عملیات تزریق رزین اپوکسی ، اخذ و تصویب برنامه دقیق آماده سازی و اجرای عملیات از پیمانکار و انجام عملیات کرگیری با ابعاد کوچک از محل تزریق رزین در بتن می باشد. اگر بیش از ۹۰ درصد از حفرات خالی در بتن طی عملیات تزریق پر شده باشد می توان آن را به عنوان تزریق کامل در نظر گرفت. اگر تزریق به طور کامل نباشد پیمانکار بدون دریافت هرگونه هزینه ای از کارفرما ، ملزم به انجام عملیات تزریق مجدد می باشد.

( ۲ ) روش اجرا رزین پلی یورتان با تزریق تحت فشار : اصول اصلی تزریق رزین پلی یورتان مبتنی بر کنترل نفوذ آب با استفاده از تزریق رزین تحت فشار و بستن ترک می باشد. اکثر مسائل مربوط به تزریق رزین پلی یورتان مشابه روش تزریق دوغاب سیمان می باشد. برای مهار بهتر جریان آب می بایست حتی امکان سوراخ های حفر شده برای تزریق در سطح بتن باشند. می توان بر روی سوراخ ها از پکر شیردار استفاده کرد تا در هنگام تزریق با استفاده از آن فشار آب ترک در سطح بتن را از بین برد . برای جلوگیری از خروج و پرت زیاد رزین در هنگام تزریق ، ترک را باید با استفاده گوه چوبی ، پشم سنگ ، طناب کنافی به همراه رزین و یا بتونه اپوکسی به طور موقت مهر و موم کرد. سوراخ های ایجاد شده برای تزریق رزین می بایست به صورت متناوب در طرفین ترک و با حداکثر فاصله ۲۴ اینچ از هم باشند. سوراخ های مذکور به صورت زاویه دار و با عمق ۸ تا ۲۴ اینچ ( سوراخها باید بسته به ضخامت بتن تا عمقی که امکان دارد ادامه یابد - باشند. بسته به روش تزریق و میزان آب ، از انواع مختلف پکر ها و یا پکر شیردار استفاده می شود. تزریق رزین پلی یورتان می بایست براساس روند و مراحل از پیش تعیین شده، صورت گیرد.

سیستم تزریق از نظر فواصل تزریق همانند فواصل تزریق دوغاب سیمان موفقیت آمیز، می باشد. در این سیستم ابتدا تزریق از سوراخهای ابتدایی و پس از آن از سوراخ های میانی صورت می گیرد. به طور مثال ابتدا تزریق رزین از سوراخ های ابتدایی طرفین انجام و پس از آن سوراخ سوم در وسط آنها حفر و تزریق صورت می گیرد. فشار تزریق باید حداقل فشار مناسب برای حرکت رزین و پر کردن ترک باشد. با این حال معمولا از فشار ۱۵۰۰ PSI تا ۲۰۰۰ PSI برای تزریق استفاده می شود. زمانی تزریق در یک سوراخ باید پایان دهیم که جریان تزریق با فشار ثابت طی یک دوره ۱۰ تا ۱۵ دقیقه ای ، متوقف شده باشد. این روش در اتمام و متوقف کردن تزریق باعث می شود تا تضمین لازم برای پر شدن کامل ترک، تراکم و ایجاد ترمیمی مناسب ایجاد گردد. این یک اشتباه است که به محض توقف نشت آب تزریق خاتمه داده شود. اگر از این روش استفاده شود می توان تا حدودی عملکرد را با استفاده از تزریق رزین با چگالی پایین تر تحت فشار هیدروستاتیک و تزریق مجدد در صورت وقوع نشت ، بهبود داد.

همچنین استفاده از تزریق های متناوب به منظور آب بندی ترک ها با شدت آب زیاد رایج است. در این روش یک مرحله تزریق اولیه در تعدادی از پکر های از پیش انتخاب شده انجام می گردد و پس از گذشت ۱۵ دقیقه تا ۲ ساعت مرحله بعد تزریق ها انجام می گردد. برای آب بندی ترکهای با حجم زیاد جریان آب ممکن است چندین مرحله از عملیات تزریق نیاز باشد. از همین رو تعداد قطعی تزریق مورد نیاز نامعین است. در تزریق رزین پلی یورتان ، با نسبتهای مختلف آب به رزین انجام می گردد. برای جریان های زیاد آب ، نسبت آب به رزین ۱:۰.۵ می تواند مطلوب و مناسب باشد. لازم به ذکر است که رزین و آب گفته شده ممکن است در محدود ۱ اینچ تا ۵ فوت از لوله دستگاه تزریق و پیش از خروجی مخلوط شده و واکنش کف زایی پس از ورود جریان به شبکه ترکها انجام می گردد. از پکر های با طول زیاد می توان برای تزریق رزین در نقاط عمیق سازه استفاده نمود. اگر از رزین مخلوط شده برای تزریق در چنین سوراخهایی استفاده شود واکنش در طول سوراخ و قبل از رسیدن رزین به عمق مورد نظر ترک رخ خواهد داد. این پکرهای مخصوص ، با حرکت مجزا اجزا رزین تزریقی، امکان حرکت رزین تا سوراخ انتهایی پکر در عمق ترک را مهیا می سازند.

در انجام کارهای اینچینی، نیاز به استفاده از پیمانکاران با تجربه و مشاوران فنی اهمیت بیشتری می یابد (۳) پاکسازی : در اتمام عملیات تزریق باید سوراخ های تزریق ، رزینهای سر ریز و اضافه و بتونه های موجود در سطح ترک باید از سطوح قابل مشاهده کار حذف و زدوده شود. این امر می تواند به وسیله ساب زدن ، تراشیدن یا واتر جت با فشار بالا صورت گیرد. برای پر سازی حفرات تزریق باید ملات های آماده یا سایر مواد ترمیم کننده مناسب، پیش بینی و اجرا شود.

### بهبودسازی خاک به روش تزریق

تزریق (Grouting) فرایندی است که در آن سیمان یا ماده مناسبی با فشار به داخل یک سازند سنگی و از طریق گمانه های حفاری شده به منظور بهسازی ترکها و شکستگی های موجود وارد می گردد.

### اهداف تزریق

- ۱ ( افزایش مقاومت زمین یا توده سنگ
- ۲ ( مسدود کردن جریان آب در توده سنگ
- ۳ (تأمین هر دو مورد فوق در یک زمان

### انواع روش های تزریق

- ۱ ( روش های تزریق در خاک
- ۲ ( روش های تزریق در سنگ
- ۳ ( روش های تزریق سازه های
- روش های تزریق در خاک
- ۱ ( تزریق جت
- ۲ ( تزریق تراکمی
- ۳ ( تزریق نفوذی
- ۴ ( تزریق شکست هیدرولیکی

عواملی نظیر دانه بندی خاک، ترازهای مختلف آب زیرزمینی، عمق سازه از سطح زمین و دسترسی سطحی به تجهیزات بهترین روش و حالت را تعیین می کنند.

### تزریق جت ( jet grouting )

تزریق جت، تکنیک نسبتاً جدیدی است که از سال ۱۹۶۰ گسترش پیدا کرده است ( ولش ۱۹۹۱). در این روش، لایه های نازکی از ملات سیمانی تزریق، با فشار بسیار زیاد به دیواره های گمانه بر خورد می کنند. پس از اصابت به دیواره گمانه، به طور همزمان، از یک سو مصالح موجود را حفاری نموده و از سوی دیگر نیز با خاک مخلوط می شود. عمل برش دهندگی لایه های نازک ملات سیمان تزریق را می توان با وارد کردن هوای فشرده در آن، افزایش داد. هنگامی که دوغاب تزریق با فشار بسیار بالا از نازل خارج و به درون بافت خاک می رود، مشخصات ژئوتکنیکی خاک، مطابق با ملزومات ویژه پروژه، تغییر می نماید. نتیجه کار نیز، ستونی از خاک تغییر یافته است که نفوذپذیری آن پایین آمده و مقاومت آن نیز بهبود یافته است.

### تزریق دوغاب سیمان

عملیات تزریق دوغاب سیمان بایستی با دقت در بخش ساخت دوغاب و تزریق آن صورت گیرد. ساخت دوغاب تزریق در همزن های اولیه صورت می گیرد. ابتدا آب به میزان مورد نظر ریخته شده و سپس متناسب با نسبت آب به سیمان (WCR) مورد نیاز، سیمان به آن افزوده می شود. زمان حداقل هم زدن دوغاب سیمان، ۳۰ ثانیه است. نسبت آب به سیمان مورد استفاده با توجه به شرایط زمین بین ۰/۵ تا ۱/۵ مطلوب می باشد. پس از آماده شدن دوغاب، جهت نگهداری، دوغاب در داخل همزن ثانویه ریخته شده و سپس به وسیله پمپ های تزریق مخصوص تزریق می گردد. تزریق دوغاب سیمان در ریز شمع ها توسط پکر به اعماق مختلف صورت می گیرد. مرحله اول بستن پکر برای ریز شمع ۸ تا ۱۰ متری در عمق ۶ متری گمانه بوده و پس از اتمام عملیات تزریق

عمق ۶ متری، پکر در عمق ۴ متری بسته می‌شود و پس از اتمام تزریق در این مرحله، پکر در عمق ۲ متری بسته می‌شود و نهایتاً پس از تزریق در این مرحله، پکر سر چاهی بسته می‌شود و عملیات تزریق به اتمام می‌رسد. در صورتی که نشتی دوغاب از سطح یا ریز شمع‌های جانبی مشاهده شود، عملیات تزریق متوقف می‌گردد. در این حالت بایستی درون ریز شمع‌ها توسط هوای فشرده یا آب تخلیه گردیده تا امکان ادامه عملیات تزریق پس از توقف حاصل گردد.

#### روش‌های مختلف تزریق با فشار بالا

بر خلاف روند پیشرفت و توسعه، به طور معمول از سه روش استفاده می‌شود

روش (F1 one-fluid system)

روش (F2 two-fluid system)

روش (F3 three-fluid system)

روش (F1 one-fluid system)

این روش ساده‌ترین تکنیک تزریق با فشار بالاست که سیال مورد استفاده در آن دوغاب سیمان می‌باشد که به طور همزمان وظیفه تخریب و تزریق تشکیلات موجود را بر عهده دارد. عملیات با چرخش و انتقال یکسان مونیاتور در هر لایه ادامه می‌یابد تا ستونی از مصالح بهسازی شده تشکیل شود. در واقع در این روش تنها یک جانشینی جزئی در خاک اتفاق می‌افتد بطوری که ستون حاصل ترکیبی از خاک تخریبی و دوغاب می‌باشد.

#### روش (F2 two-fluid system)

این روش حالت پیشرفته‌تر روش قبلی بوده که در آن اثر برشی جت دوغاب به طور قابل توجهی به وسیله پوششی از هوای فشرده، با فشار حدود ۲ تا ۱۵ بار، افزایش می‌یابد. نسبت به روش fl ستون‌هایی با قطر بزرگ‌تر حاصل شده و از طرفی امکان بهسازی حجم بیشتری از ناحیه تزریق نیز میسر می‌باشد.

#### روش (F3 three-fluid system)

در این روش جت آب همراه با پوششی از هوا، وظیفه برش و تخریب تشکیلات را بر عهده دارد به طوری که نازل مربوط به تزریق دوغاب در بخش پایینی دو جت دیگر قرار می‌گیرد. در این روش همراه با کارایی بهتر جت برشی (آب+ هوا) رسیدن به حجم بالایی از مناطق بهسازی شده نیز ممکن خواهد بود.

رک خوردگی بتن یکی از موارد شایع در اجرای سازه‌های بتنی می‌باشد، که یکی از راهکارهای موثر ترمیم، تزریق اپوکسی و پلی یورتان تحت فشار به داخل ترک‌ها می‌باشد.

تزریق بتن روشی کاملاً مهندسی و نوین می‌باشد و برای ترمیم بتن‌های دارای ترک و یا نقاط، درزها و ترک‌های آب دار استفاده می‌شود.

در ترمیم ترک‌ها تزریق بتن با فشار به داخل ترک بتن هدایت می‌شود.

#### علت وجود ترک در بتن

عموماً این ترک‌ها دلایل بسیاری دارند که باعث ایجاد ترک‌های کششی خمشی و برشی در بتن می‌شود و محدود کننده‌هایی با تغییر شکل‌های جانبی ایجاد می‌گردد. نظیر:

- جمع شدگی ناشی از خشک شدن
- انبساط و انقباض حرارتی
- نشست نامتقارن
- تکانه‌های وارده به سازه بتنی
- عدم اجرای صحیح اتصالات و درزها

- بارگذاری بیش از حد

تزریق بتن اپوکسی از روش‌های موثر تحت فشار به داخل ترک‌ها می‌باشد. در واقع تأثیر تزریق بتن رزین اپوکسی به داخل ترک باعث ایجاد یک پیوند پلیمری بسیار قوی بین دو جداره شده و ضعف بوجود آمده بدلیل ترک خوردگی عملاً بهبود می‌یابد. البته پیش از اجرای هرگونه روش ترمیمی، دلیل ایجاد ترک در بتن باید مورد بررسی قرار گیرد و اقدامات لازم جهت رفع مشکل به عمل آید. زیرا در غیر این صورت ممکن است ترمیم ترک با متد تزریق اپوکسی، فاقد کارایی باشد.

#### روش های ترمیم بتن

۱. رزین اپوکسی

۲. رزین پلی یورتان

#### بررسی تزریق بتن رزین اپوکسی

رزین‌های اپوکسی عمل آوری شده به صورت جامد با مقاومت بالا و مدول الاستیسیته نسبتاً بالا می‌باشند. چسبندگی رزین‌های اپوکسی به بتن در حدی می‌باشد که با اجرای مناسب قابلیت بازگرداندن استحکام سازه‌ای اولیه بتن ترک خورده را دارند.

مدول الاستیسیته بالای رزین اپوکسی باعث شده که برای چسباندن بتن‌های ترک خورده که در آینده دارای احتمال جابجایی هستند مناسب نباشند.

از رزین اپوکسی برای آب بند نمودن ترک‌های آبدار استفاده می‌شود.

اما با این حال به علت سرعت پایین عمل آوری رزین‌های اپوکسی به خصوص در دماهای پایین و نیز در صورت وجود جریان زیاد آب، استفاده از آن برای آب‌بندی ممکن نیست.

ترک‌هایی که در آنها رزین اپوکسی تزریق می‌شود باید دارای عرضی بین ۰,۰۵ تا ۰,۲۵ اینچ باشند.

تزریق بتن رزین اپوکسی در ترک‌های با عرض ۰,۰۵، سخت و ناممکن است و همچنین نگهداری از رزین تزریق شده در ترک‌های عریضتر از ۰,۲۵ اینچ کار دشواری است، اگر چه گاهی این امر با استفاده از رزین‌های اپوکسی با چگالی بالا با موفقیت قابل انجام است.

رزین‌های اپوکسی عمل آوری شده دارای حالت ترد و شکننده، با استحکام چسبندگی بیش از مقاومت برشی و کششی بتن می‌باشند.

اگر این مواد برای اتصال مجدد بتن ترک خورده‌ی در معرض بارهای بیش از مقاومت برشی و کششی استفاده گردد، باید انتظار داشت که ترک‌هایی مجدداً در کنار خط اتصال اپوکسی نمودار شود.

به عبارت دیگر برای ترمیم ترک‌های فعال نباید از رزین اپوکسی استفاده نمود.

موفقیت در اجرای رزین‌های اپوکسی برای ترک‌های مرطوب متفاوت و متغیر است.

تعدادی تکنیک‌های ویژه و در حال توسعه برای چسبندگی مجدد و آب‌بندی ترک‌های آبدار به وسیله‌ی رزین اپوکسی وجود دارد. این روش و تکنیک‌های ویژه بسیار تخصصی و فنی بوده و در جاهای خاصی به کار برده می‌شوند.

این روش‌ها صرفاً زمانی در پروژه‌های تعمیراتی به کار گرفته می‌شوند که پس از بررسی و تحلیل به این نتیجه برسیم که سایر روش‌های موجود و استاندارد برای تعمیر پاسخگو و مناسب نیستند.

#### روش های تزریق بتن رزین اپوکسی

۱. تزریق اپوکسی از سطح

## ۲. تزریق اپوکسی در عمق

هر دوی این روش‌ها ماده چسباننده پلیمری را با فشار بالا به داخل ترک بتن هدایت می‌کنند. اما موقعیت قرارگیری ترک‌ها و عمق و ضخامت آنها عامل اصلی در تعیین نوع تزریق می‌باشد.

### تزریق اپوکسی از سطح

در بسیاری از سازه‌ها عرض ترک بتن بسیار کم بوده و فاصله آنها نیز نزدیک به هم می‌باشد. برای مثال ترک‌های حرارتی که در بتن‌ریزی‌های حجیم رخ می‌دهد، از این دسته ترک‌ها می‌باشد. اگر عضو بتنی مورد استفاده تحت بار دینامیکی نیز باشد، گسترش ترک‌ها به مرور زمان در این گونه از ترک‌ها مشهود می‌باشد. در روش تزریق بتن سطحی نیپل تزریق روی سطح نصب می‌شود. نیپل یا روزنه تزریق توسط بتونه اپوکسی روی سطح نصب شده سپس یک لایه الیاف پلیمری روی سطح به نحوی قرار می‌گیرد که دهانه نیپل تزریق از میان آن عبور کرده باشد. پس از گذشت زمان مناسب و سفت شدن بتونه اپوکسی تزریق از سطح به وسیله اتصال نازل دستگاه تزریق اپوکسی به ورودی نیپل انجام می‌گیرد. در فشارهای بالا که نیپل تمایل به جدا شدن از سطح را دارد الیاف پلیمری فشار را به سطوح اطراف منتقل و باعث چسبندگی نیپل به سطح می‌شود.

### تزریق اپوکسی در عمق

در این روش عرض و عمق ترک‌ها به گونه‌ای است که استفاده از روش تزریق سطحی جوابگو نیست. عامل انتقال رزین پلیمری به ترک در تزریق عمقی فشار پمپ تزریق اپوکسی می‌باشد. اینکار با استفاده از ابزارهایی خاص بنام پکر تزریق یا نیپل تزریق انجام می‌گیرد. پکرهای مورد استفاده برای تزریق با اندازه‌های مختلفی در بازار ارائه می‌گردد که با توجه به عمق و نوع ترک‌ها باید انتخاب شوند. تفاوت بین پکر و نیپل، علاوه بر شکل ظاهری، در نوع کاربریشان است. برای شرایطی که عرض ترک زیاد بوده و یا کاشت پکر بدلیل تراکم **میلگرد** یا موقعیت هندسی ترک امکان‌پذیر نباشد، باید از نیپل استفاده شود.

### بررسی تزریق بتن رزین پلی یورتان

از رزین‌های پلی یورتان برای آب‌بندی و حذف نشت آب از ترک‌ها و درزهای بتن استفاده می‌شود. آنها همچنین می‌توانند در ترک‌هایی که امکان جابجایی‌های کوچک خواهند داشت، تزریق شوند. چنین سیستم‌هایی، به جز سیستم پلی یورتان دو جزئی جامد، مقاومت کمی داشته و نباید برای چسباندن دوباره ترک‌ها مورد استفاده قرار گیرند. رزین پلی یورتان نباید در ترک‌های با عرض کمتر از ۰,۰۰۵ اینچ استفاده و تزریق شود. تا کنون برای تزریق رزین‌های پلی یورتان، هیچ حدی برای حداکثر اندازه ترک مشخص نشده است. رزین‌های پلی یورتان با تنوع قابل توجهی از منظر خواص فیزیکی در دسترس می‌باشند. برخی از رزین‌های پلی یورتان پس از عمل آوری به شکل فوم منعطف در می‌آیند. سیستم‌های دیگر رزین پلی یورتان پس از عمل آوری به صورت جامد با انعطاف‌پذیری نسبی و چگالی بالا در می‌آیند که می‌توانند برای چسباندن مجدد درزهای با امکان جابجایی مورد استفاده قرار گیرند. رزین‌های پلی یورتان فوم شونده برای شروع عملیات عمل آوری نیازمند آب می‌باشند به همین دلیل طبیعی است که از آنها برای تعمیر و ترمیم بتن‌های در معرض آب یا مرطوب استفاده کرد.

تاکنون هیچ استاندارد برای رزین‌های پلی یورتان مانند آنچه در استانداردهای معتبر برای رزین‌های اپوکسی وجود دارد، ارائه نشده است.

با توجه به فقدان استاندارد از یک سو و از سوی دیگر تغییرات گسترده در خواص فیزیکی رزین‌های پلی یورتان، لازم است که دقت و مراقبت زیادی در انتخاب این رزین برای تعمیر بتن صورت گیرد. راهنمای کاربردی برای این نوع رزین‌ها زیاد مفید و موفقیت آمیز نمی‌باشد.

### بعضی از مراکز تحقیقاتی و آزمایشگاهی در حال انجام مطالعات و تحقیقات بر روی این نوع ارزشمند از رزین‌ها می‌باشند

در صورت نیاز به مشاوره و راهنمایی برای روش‌های اجرا می‌توان از این مراکز کمک گرفت. به علت هزینه بالای روش تزریق، معمولاً از این روش‌ها برای ترمیم ترک‌های کم عمق و خشک استفاده نمی‌شود. مشخصات فنی و اجرایی رزین‌های تزریقی در بخش پیوست مربوط به استانداردهای تعمیر و مرمت مدرج گردیده است.

#### مراحل اجرای تزریق بتن رزین اپوکسی

برای این منظور ترک‌های موجود مشخص و پس از تمیز نمودن سطوح ترک‌ها با استفاده از مواد شیمیایی ویژه اقدام به نصب روزنه‌های تزریق (نیپل - پکر) در فواصل مشخص می‌نماییم و با استفاده از چسب‌های ویژه ملات ترمیمی اپوکسی سطح ترک درزبندی می‌شود تا تحمل فشار ناشی از تزریق را نموده و امکان نفوذ رزین اپوکسی فراهم شود. برای تزریق در محیط خشک باید از ECOPATCH E420 استفاده شود.

اما در صورتی که محل استفاده مرطوب باشد و یا عمل تعمیرات در حضور رطوبت و یا آب صورت گیرد تزریق رزین در زیر دریا، پایه پل‌های روی رودخانه، جداره سد و سایر سطوح در معرض باران، تثبیت سنگ در دامنه کوه‌ها بایستی حتماً از محصول ECOPATCH UWE840 استفاده شود.

سپس با استفاده از پمپ‌های ویژه رزین اپوکسی ECOFIT E900 یا ECOFIT UWE901 را که دارای چسبندگی بالا و زمان گیرش مناسب می‌باشد از پایین‌ترین روزنه شروع به تزریق اپوکسی می‌نماییم. محصول ECOFIT E900 برای استفاده در محیط خشک و ECOFIT UWE901 مخصوص استفاده در محیط خیس، مرطوب و نقاطی که حضور فیزیکی آب مشهود است می‌باشد.

پمپ تزریق رزین اپوکسی با توجه به حجم کار، شرایط پروژه موجود می‌تواند از نوع پمپ تزریق دو مخزنه، پمپ تزریق تک مخزنه و از نوع برقی، پدالی و یا دستی باشد.

به محض اینکه مواد تزریق (رزین اپوکسی) از روزنه تزریق بعدی تراوش کرد یا فشار کار دستگاه بالا رفت، تزریق را متوقف کرده و از روزنه بعدی ادامه عملیات ترمیم ترک‌های با تزریق بتن رزین اپوکسی را انجام می‌دهیم.

به منظور اطمینان از صحت تزریق، از ترک‌ها مغزه‌گیری می‌شود تا میزان نفوذ رزین اپوکسی مشخص گردد. علاوه بر این می‌بایستی نمونه‌ها با استفاده از جک بارگذاری و شکسته شوند که در این آزمایش صفحه شکست نباید از سطح ترک خورده‌ای که با رزین اپوکسی پر شده است عبور کند.

#### مراحل اجرای تزریق بتن رزین پلی یورتان

اصول اصلی تزریق رزین پلی یورتان مبتنی بر کنترل نفوذ آب با استفاده از تزریق رزین تحت فشار و بستن ترک می‌باشد. اکثر مسائل مربوط به تزریق رزین پلی یورتان مشابه روش تزریق دوغاب سیمان می‌باشد.

برای مهار بهتر جریان آب می‌بایست حتی امکان سوراخ‌های حفر شده برای تزریق در سطح بتن باشند. می‌توان بر روی سوراخ‌ها از پکر شیردار استفاده کرد تا در هنگام تزریق با استفاده از آن فشار آب ترک در سطح بتن را از بین برد. برای جلوگیری از خروج و پرت زیاد رزین در هنگام تزریق، ترک را باید با استفاده گوه چوبی، پشم سنگ، طناب کنافی به همراه رزین و یا بتونه اپوکسی به طور موقت مهر و موم کرد.

سوراخ‌های ایجاد شده برای تزریق رزین می‌بایست به صورت متناوب در طرفین ترک و با حداکثر فاصله ۲۴ اینچی از هم باشند. سوراخ‌های مذکور به صورت زاویه‌دار و با عمق ۸ تا ۲۴ اینچی بسته به روش تزریق و میزان آب، از انواع مختلف پکرها و یا پکر شیردار استفاده می‌شود.

تزریق رزین پلی‌یورتان می‌بایست براساس روند و مراحل از پیش تعیین شده، صورت گیرد. سیستم تزریق از نظر فواصل تزریق همانند فواصل تزریق دوغاب سیمان موفقیت آمیز، می‌باشد. در این سیستم ابتدا تزریق از سوراخ‌های ابتدایی و پس از آن از سوراخ‌های میانی صورت می‌گیرد. به طور مثال ابتدا تزریق رزین از سوراخ‌های ابتدایی طرفین انجام و پس از آن سوراخ سوم در وسط آنها حفر و تزریق صورت می‌گیرد.

فشار تزریق باید حداقل فشار مناسب برای حرکت رزین و پر کردن ترک باشد. با این حال معمولاً از فشار PSI 1500 تا PSI 2000 برای تزریق استفاده می‌شود. **زمانی تزریق در یک سوراخ باید پایان دهیم که جریان تزریق با فشار ثابت طی یک دوره ۱۰ تا ۱۵ دقیقه‌ای، متوقف شده باشد.**

این روش در اتمام و متوقف کردن تزریق باعث می‌شود تا تضمین لازم برای پر شدن کامل ترک، تراکم و ایجاد ترمیمی مناسب ایجاد گردد. این یک اشتباه است که به محض توقف نشت آب تزریق خاتمه داده شود. اگر از این روش استفاده شود می‌توان تا حدودی عملکرد را با استفاده از تزریق رزین با چگالی پایینتر تحت فشار هیدروستاتیک و تزریق مجدد در صورت وقوع نشت، بهبود داد.

همچنین استفاده از تزریق‌های متناوب به منظور آب‌بندی ترک‌ها با شدت آب زیاد رایج است. در این روش یک مرحله تزریق اولیه در تعدادی از پکرهای از پیش انتخاب شده انجام می‌گردد و پس از گذشت ۱۵ دقیقه تا ۲ ساعت مرحله بعد تزریق‌ها انجام می‌گردد. برای آب‌بندی ترک‌های با حجم زیاد جریان آب ممکن است چندین مرحله از عملیات تزریق نیاز باشد. از همین رو تعداد قطعی تزریق مورد نیاز نامعین است.

در تزریق رزین پلی‌یورتان، با نسبت‌های مختلف آب به رزین انجام می‌گردد. برای جریان‌های زیاد آب، نسبت آب به رزین ۱:۰.۵ می‌تواند مطلوب و مناسب باشد. لازم به ذکر است که رزین و آب گفته شده ممکن است در محدود ۱ اینچ تا ۵ فوت از لوله دستگاه تزریق و پیش از خروجی مخلوط شده و واکنش کف زایی پس از ورود جریان به شبکه ترک‌ها انجام می‌گردد. از پکرهای با طول زیاد می‌توان برای تزریق رزین در نقاط عمیق سازه استفاده نمود. اگر از رزین مخلوط شده برای تزریق در چنین سوراخ‌هایی استفاده شود واکنش در طول سوراخ و قبل از رسیدن رزین به عمق مورد نظر ترک رخ خواهد داد.

این پکرهای مخصوص، با حرکت مجزا اجزا رزین تزریقی، امکان حرکت رزین تا سوراخ انتهایی پکر در عمق ترک را مهیا می‌سازند. در انجام این کارها، نیاز به استفاده از پیمانکاران با تجربه و مشاوران فنی اهمیت بیشتری می‌یابد.

#### محدودیت‌ها در مقاوم سازی بتن

- میزان مقاومت فعلی بتن
- نحوه بهره‌برداری از سازه
- وضعیت آب و هوای محیط سازه
- میزان رطوبت موجود

- مقاومت مورد نظر کارفرما
- ابعاد و عمق آسیب وارد شده بر بتن
- نوع آسیب بتن
- مصالح و نیروهای در دسترس برای اجرای ترمیم بتن دیوار برشی

#### بررسی ترمیم دیوار برشی با تزریق بتن

بتن کم مقاومت و آسیب دیده طی عملیات ترمیم بتن **دیوار برشی** معمولا با عیوب و خرابی‌های ظاهری همراه است. هنگام ترمیم بتن دیوار برشی در ابتدا لازم است تا نواحی آسیب دیده از سطح بتن حذف شوند. البته لازم بذکر است تخریب بتن طی عملیات ترمیم بتن دیوار برشی باید تا آن طرف بخش لایه لایه شده در بتن دیوار صورت گیرد.

اما همچنان نظر کارشناسان پروژه در تخریب تنها بخشی از ناحیه‌ی آسیب دیده‌ی بتن دیوار برشی یا تخریب تمام نواحی خراب شده‌ی بتن دیوار حین انجام عملیات **ترمیم بتن دیوار برشی** موثر است.

کلیه‌ی بخش‌های آسیب دیده‌ی بتن دیوار برشی از جمله نواحی سست و شن زده که شامل ساییدگی نیز می‌باشند قبل از استفاده از مواد ترمیم بتن دیوار برشی باید از سطوح پاکسازی شوند چرا که ممکن است علی‌رغم استفاده از مواد مناسب برای ترمیم بتن دیوار برشی بدلیل عدم اجرای صحیح آماده سازی سطوح کل عملیات ترمیم بتن دیوار برشی بی‌نتیجه شود.

ضمنا لازم است هنگام ترمیم بتن دیوار برشی در مرحله‌ی برداشتن بتن دیوار از تجهیزات مناسب استفاده کرد بدلیل اینکه عدم دقت و استفاده از ابزارهای ضربه‌ای نامناسب ممکن است منجر به گسترش آسیب بتن دیوارها و ایجاد ترک در مقیاس‌های کوچک در سطح دیوارها شود و در نهایت کاهش مقاومت کششی بتن دیوارهای برشی را بدنبال داشته باشد.

**در ادامه می‌توان باقی مانده‌ی بخش‌های آسیب دیده طی عملیات ترمیم بتن دیوار برشی را با تجهیزات مناسب پاکسازی کرد.**

تعمیرات لازم برای آماده سازی بتن دیوارها باید به گونه‌ای باشد که تا جای ممکن از گسیختگی مواد ترمیم و بتن طی عملیات ترمیم بتن دیوار برشی جلوگیری کرد و ضمنا بافت سطح بتن آماده شده باید برای قرارگیری مواد ترمیم بتن دیوار برشی مناسب باشد. بدلیل آنکه یکی از مهم‌ترین مراحل در آماده سازی میلگردها باری ترمیم بتن دیوار حذف بخش‌های آسیب دیده است، جهت پیشگیری از برش میلگردها و آسیب به آنها انجام آزمایش اسکن میلگرد در بتن پیشنهاد می‌گردد.

جمع آوری اطلاعات مربوط به عمق و محل میلگرد در بتن از طریق آزمایش‌های غیر مخرب برای پیش‌گیری از آسیب رساندن به آنها بسیار موثر است. پس از آماده سازی سطوح بتن دیوار برای ترمیم بتن دیوار برشی می‌توان ملات را در محل‌های مورد نظر قرار داد. برای قرار دادن مواد ترمیمی روش‌های مختلفی وجود دارد که با در نظر گرفتن محدودیت‌های پروژه و مسائل اقتصادی، بهترین روش انتخاب می‌گردد. با نظر کارشناسان می‌توان از بتن معمولی یا هر مواد ترمیمی دیگری برای ترمیم بتن دیوار برشی استفاده کرد. لازم بذکر است که نظر مهندسین با تجربه در انتخاب مواد ترمیمی برای **ترمیم بتن دیوار برشی** اهمیت زیادی دارد چرا که در برخی موارد استفاده از بتن معمولی برای ترمیم بتن دیوار برشی می‌تواند سبب افزایش میزان خرابی بتن گردد. موفقیت عملیات ترمیم بتن دیوار برشی وابسته به بکارگیری تجهیزات مناسب جهت برقراری اتصال مناسب بین مواد ترمیمی و بتن است.

#### پاک سازی پس از عملیات تزریق بتن

در اتمام عملیات **تزریق بتن** باید سوراخ‌های تزریق، رزین‌های سر ریز و اضافه و بتونه‌های موجود در سطح ترک باید از سطوح قابل مشاهده کار حذف و زدوده شود.

این امر می‌تواند به وسیله ساب زدن، تراشیدن یا واترجت با فشار بالا صورت گیرد.



برای پرسیازی حفرات تزریق باید ملات‌های آماده یا سایر مواد ترمیم‌کننده مناسب، پیش‌بینی و اجرا شود.

### تزریق رزینهای اپوکسی و پلی‌ئورتان:

عملیات تزریق رزین با اهداف متفاوتی می‌تواند صورت گیرد. از آن جمله می‌توان به تزریق آب بندی، تزریق ترمیمی سازه آسیب دیده، تزریق تحکیم بستر و یا ترکیبی از هرکدام می‌تواند باشد. عملکرد و اهدافی که هر یک دنبال می‌کنند کاملاً متفاوت بوده و برای انجام اینکار بایستی نیازمندیهای کلیدی برای انتخاب نوع مواد و فشار تزریق و نوع پکر یا نیپل توسط کارشناس مربوطه سنجیده و انتخاب شود. تیپ عملیات تزریق یا Injection برای هر دو حالت یکسان است اما چیزی که باعث تفاوت در آن می‌شود، الگوی تزریق و جنس مواد مورد تزریق می‌باشد. البته نباید این مهم را نادیده گرفت که با توجه به نیازمندی سازه مورد ترمیم و یا آب بندی، میزان فشار مورد نیاز دستگاه تزریق و نیز طول و قطر پکر ممکن است متفاوت باشد.

### تزریق رزین پلی‌ئورتان با هدف آب بندی:

سازه‌های بتنی بدلیل ضعفهای اجرایی همچون کیفیت پایین بتن و نفوذپذیری بالا، قطع بتن ریزی و بروز درز سرد، کرمو شدگی و ... نیازمند آب بندی می‌باشند. از آن جمله سازه‌ها می‌توان به مخازن آب و فاضلاب، سد ها و آب بند های بتنی، کانالها، بام ها، دیوارهای زیر زمین و طبقات منفی، چاله آسانسورها و ... اشاره نمود. برای آب بندی هر یک از این موارد بسته به شرایط حاکم تیپ آب بندی و نوع متریال مورد نیاز انتخاب و مورد استفاده می‌گردد.

یکی از روشهای حرفه‌ای برای آب بندی این سازه‌ها تزریق رزین پلی‌ئورتان یا رزین اپوکسی آبدوست می‌باشد که انجام آن نیازمند دانش فنی و تجربه بالا کافی می‌باشد. در این روش آب بندی بصورت عمقی بوده و تمام فضای خالی داخل بتن با رزین پر می‌شود. تفاوت عمده و مزیت اصلی این روش نسبت به کوتینگهای ممان منفی در عمیق بودن آب بندی می‌باشد که از حضور فیزیکی آب در داخل بتن جلوگیری کرده و مانع خوردگی فولاد و تخریب بتن می‌شود.

### تزریق رزین اپوکسی با هدف ترمیم ترک:

تن ماهیتی ترد و شکننده دارد. کرنش پایین آن باعث شده تا عملاً امکان اجرای بتن بدون ترک امری بسیار بعید شود. ترک در بتن انواع مختلفی دارد که تشخیص صحیح آن نیازمند دانش فنی و تجربه بالایی می‌باشد. ترکها را از دو دیدگاه کلی سازه‌ای که بدلیل بارگذاری بیش از حد مجاز، طراحی اشتباه یا خطاهای اجرایی رخ می‌دهد و نوع غیر سازه‌ای که بدلیل ماهیت بتن بوجود می‌آید تقسیم بندی کرد. بطور کلی ترکهایی که سازه را تحدید می‌کنند لازم است ترمیم شوند تا عضو بتنی به سرویس دهی بازگردد. اینکار با ایجاد پیوند پلیمری بین دو جداره ترک تامین می‌گردد که این امر با تزریق چسب های پیوند زای قوی انجام می‌شود.

تزریق چسب اپوکسی با فشار کافی برای روند تعمیراتی عمیق بتن سالهاست توسط مهندسين و متخصصین امر انجام شده و بدین شکل عمر سرویس دهی سازه بتنی را افزایش می‌دهند.

بطور کلی هر یک از موارد مذکور در فوق در حد آشنایی اشاره شده است و برای آگاهی بیشتر می‌توانید از دیگر مقالات و آموزه های این مجموعه استفاده نمایید.

### کاربرد تزریق رزینهای پلیمری:

عملیات تزریق رزین با اهداف خاصی می‌تواند صورت گیرد. از آن جمله می‌توان به تزریق آب بندی، تزریق ترمیمی سازه آسیب دیده، تزریق تحکیم بستر و یا ترکیبی از هرکدام می‌تواند باشد. عملکرد و اهدافی که هر یک دنبال می‌کنند کاملاً متفاوت بوده و برای انجام اینکار بایستی نیازمندیهای کلیدی برای انتخاب نوع مواد و فشار تزریق و نوع پکر یا نیپل توسط کارشناس مربوطه سنجیده و انتخاب شود. تیپ عملیات تزریق یا Injection برای هر دو حالت یکسان است اما چیزی که باعث تفاوت در آن می‌شود، الگوی تزریق و جنس مواد مورد تزریق می‌باشد. البته نباید این مهم را نادیده گرفت که با توجه به نیازمندی سازه مورد ترمیم و یا آب بندی، میزان فشار مورد نیاز دستگاه تزریق و نیز طول و قطر پکر ممکن است متفاوت باشد.

### تزریق با هدف آب بندی:

سازه های بتنی بدلیل ضعفهای اجرایی همچون کیفیت پایین بتن و نفوذپذیری بالا، قطع بتن ریزی و بروز درز سرد، کرمو شدگی و ... نیازمند آب بندی می باشند. از آن جمله سازه ها می توان به مخازن آب و فاضلاب، سد ها و آب بند های بتنی، کانالها، بام ها، دیوارهای زیر زمین و طبقات منفی، چاله آسانسورها و ... اشاره نمود. برای آب بندی هر یک از این موارد بسته به شرایط حاکم تیپ آب بندی و نوع متریال مورد نیاز انتخاب و مورد استفاده می گردد.

یکی از روشهای حرفه ای برای آب بندی این سازه ها تزریق رزین پلی فورتان یا رزین اپوکسی آبدوست می باشد که انجام آن نیازمند دانش فنی و تجربه بالا کافی می باشد. در این روش آب بندی بصورت عمقی بوده و تمام فضای خالی داخل بتن با رزین پر می شود. تفاوت عمده و مزیت اصلی این روش نسبت به کوتینگهای ممان منفی در عمیق بودن آب بندی می باشد که از حضور فیزیکی آب در داخل بتن جلوگیری کرده و مانع خوردگی فولاد و تخریب بتن می شود.

### تزریق با هدف ترمیم ترک:

تن ماهیتی ترد و شکننده دارد. کرنش پایین آن باعث شده تا عملا امکان اجرای بتن بدون ترک امری بسیار بعید شود. ترک در بتن انواع مختلفی دارد که تشخیص صحیح آن نیازمند دانش فنی و تجربه بالایی می باشد. ترکها را از دو دیدگاه کلی سازه ای که بدلائل بارگذاری بیش از حد مجاز، طراحی اشتباه یا خطاهای اجرایی رخ می دهد و نوع غیر سازه ای که بدلیل ماهیت بتن بوجود می آید تقسیم بندی کرد. بطور کلی ترکهایی که سازه را تحدید می کنند لازم است ترمیم شوند تا عضو بتنی به سرویس دهی بازگردد. اینکار با ایجاد پیوند پلیمری بین دو جداره ترک تامین می گردد که این امر با تزریق چسب های پیوند زای قوی انجام می شود.

تزریق چسب اپوکسی با فشار کافی برای روند تعمیراتی عمیق بتن سالهاست توسط مهندسیین و متخصصین امر انجام شده و بدین شکل عمر سرویس دهی سازه بتنی را افزایش می دهند.

### تزریق با هدف تثبیت خاک:

سازه هایی با ابعاد تقریبا مسطح همچون کانالها و یا فونداسیونهای رادیه که دچار نشست خاک بستر یا شستگی آن شده اند، برای جلوگیری از زوال و تخریب، علاوه بر ترمیم بتن، نیاز به ترمیم و تحکیم بستر دارند. یکی از کاربرد تزریق رزینهای پلیمری استفاده از تزریق رزینهای پلیمری با ویسکوزیته بسیار پایین برای این تیپ کارها می باشد. فشار کار دستگاه های تزریق در این سیستم بالاتر از انواع دیگر می باشد و با توجه به تراکم و جنس خاک قابل تغییر می باشد. پر واضح است هرچه خاک بستر ریزدانه تر و یا متراکم تر باشد، فشار مورد نیاز برای تزریق بیشتر خواهد بود.

روند تزریق در این سیستم به این شکل می باشد که حفاریهایی برای تعبیه پکرهای بزرگ با استفاده از دریل واگن پنوماتیکی - الکتریکی در زیر سطوح بتنی بصورت اریب انجام می شود. سپس رزین با فشار بالا به داخل خاک تزریق شده و پیوند پلیمری قوی بین دانه های خاک ایجاد می کند.

روش تزریق رزین در بتن یک روش اقتصادی برای ترمیم ترک های غیر متحرک در دیوارهای بتونی، صفحات، ستون ها و اسکله ها است. و قادر به بازگرداندن بتن به مقاومت پیش از ترک آن است. قبل از انجام هر تزریق به بتن لازم است علت ترک را تعیین کنید. اگر منبع ترک هنوز مشخص نشده و اصلاح شود ممکن است بتن دوباره ترک بخورد.

### تزریق رزین اپوکسی به بتن:

تزریق رزین اپوکسی به بتن معمولا برای ترمیم وضعیت پیش از ترک عضو، بدون افزایش قدرت آن استفاده می شود. پیوند کششی اپوکسی به بستر بتنی از استحکام کششی بتن قوی تر است. ترک خوردگی آینده ممکن است در همان بار با اعضای اصلی فاقد شکاف اما در مکان های مختلف رخ دهد. تقویت با نصب آرماتورهای اضافی در سراسر صفحه خرابی همراه با تزریق رزین به بتن فراهم می شود. غالبا تقویت داخلی و خارجی در ترکیب با تزریق اپوکسی برای تقویت ترمیم نصب می شود. تزریق ترک می تواند با موفقیت در ترک هایی به عرض باریک به عرض ۰.۱۳ میلی متر با رزین های تزریق اپوکسی عمومی انجام شود که ترک

هایی با عرض کم تر می توانند با سیستم های اپوکسی یا سایر پلیمر هایی که دارای ویسکوزیته کم ۲۰۰ سی سی هستند تزریق شوند. در این جا گام های اساسی برای تزریق موفقیت آمیز رزین به بتن آورده شده است. البته به خاطر داشته باشید که نوع اپوکسی یا پلی اورتان مورد استفاده و زمان لازم برای تزریق رزین به عرض ترک، ضخامت دیواره و سایر شرایط با هر کاری متفاوت خواهد بود.



### تهیه ترک برای تزریق رزین به بتن:

ترک و سطح اطراف آن را تمیز کنید. تا اپوکسی به بتن صدا بپیوندد. حداقل سطح برای دریافت و چسباندن بایک برس سیمی انجام می شود. روغن و گریس و سایر آلودگی های سطحی باید از بین روند تا بتوان آن را به درستی چسباند. مواظب باشید تا هنگام تمیز کردن هیچ گونه آوار باقی مانده در داخل شکاف قرار نگیرد. با استفاده از هوای فشرده فاقد روغن، ترک ها را از بین ببرید تا هر گونه گرد و غبار و زباله و آب اضافی از بین رود. اگر ترک در زمان تزریق خشک باشد بهترین نتیجه حاصل می شود. اگر آب به طور مداوم از پوسته در حال عبور است باید جریان را متوقف کرد تا تزریق رزین اپوکسی به بتن بتواند ترمیم مناسبی را انجام دهد. ممکن است مواد دیگری مانند رزین های پلی اورتان برای ترمیم ترک و نشست فعال مورد نیاز باشد. برای بسیاری از برنامه ها، آماده سازی اضافی برای آب بندی ترک لازم است. در جایی که یک ماده سطحی با استفاده از یک اسید یا یک حلال شیمیایی برداشته شده است ترک را به صورت زیر تهیه کنید:

- 1) با استفاده از هوای تمیز و فشرده مواد زاید و مایعات باقی مانده را از بین ببرید.
- 2) با شستن فشار قوی یا تمیز کردن بخار باقی مانده را از بین ببرید.
- 3) هرگونه آب باقی مانده از ترک را با هوای تمیز و پاک تمیز کنید.

4) اگر روکش و یا درزگیر با رنگی روی بتن اعمال شده باشد باید قبل از قرار دادن اپوکسی ملات برداشته شود. تحت فشار تزریق این مواد ممکن است بلند شده و باعث نشی شود. اگر پوشش سطح پوشش ترک را انجام دهد. ممکن است لازم باشد که از باز شدن ترک با استفاده از چرخ بهره ببرید تا آلودگی به شکل V از آن عبور کند.

### آب بندی ترک و اتصال به درگاه های تزریق رزین به بتن:

برای چسباندن بندر به بتن مقدار کمی اپوکسی را در قسمت زیرین پایه بندر بمالید و درگاه را در یک انتخاب ترک قرار داده و تا زمانی که کل ترک منتقل شود تکرار نکنید. به عنوان یک قاعده و قانون، قسمت های تزریقی باید در طول شکاف ۸ از هم قرار بگیرند. اجازه ندهید اپوکسی یا ترک زیر آن را مسدود کند که در این جا است که اپوکسی رزین باید وارد ترک شود. با استفاده از یک چاقوی یا ابزار چسباندن دیگر به مقدار زیاد تزریق رزین اپوکسی به بتن را در تمام طول ترک کار کنید. مراقب باشید که اپوکسی اطراف پایه درگاه را به ضخامت تقریباً ۴/۱ ضخامت ۱ که از پایه درگاه خارج شده است قرار دهید و از هرگونه سوراخ در مورد استفاده کنید.

توصیه می شود که در کنار ترک خمیر حداکثر ۱۶/۳ ضخامت و ۱ عرض داشته باشد. که در این صورت عدم چسباندن کافی باعث نشی تحت فشار تزریق رزین به بتن خواهد بود.

اگر ترک کاملاً از طریق عنصر بتونی عبور کرد در صورت امکان پشت ترک را مهر وموم کنید. اگر این گونه نباشد اپوکسی ممکن است قسمت پشت ترک را از بین ببرد و در نتیجه ترمیم ناکارآمد خواهد بود.

اجازه دهید خمیر قبل از تزریق رزین به بتن سخت شود. ریختن خمیر روی یک فیلم نازک تقریباً ۸/۱ روی سطح مخلوط کردن باعث می شود، با اجازه دادن حرارت از واکنش کندتر شود.



### روش تزریق رزین به بتن:

اتصالات تزریق را به درگاه اول بچسبانید تا وقتی که در جای خود قرار بگیرد. اطمینان حاصل کنید که سر همه درگاه ها با حالت باز منتقل شوند. در نمونه های عمودی تزریق را از پایین ترین قسمت شروع کرده و راه خود را طی کنید. در نمونه های افقی از یک انتهای شکاف شروع کنید و تا انتهای دیگر بروید. اپوکسی را به درگاه اول تزریق کنید تا دیگر به داخل پوسته نریزد. اگر اپوکسی در درگاه بعدی نشان داده شود و قسمت اول هنوز مواد را قبول کند قسمت دوم را ببندید و به داخل قسمت اول تزریق کنید تا اینکه اپوکسی بیشتر نپذیرد.

ادامه بسته شدن درگاه هایی که اپوکسی ظاهر می شود تا اینکه اولین قسمت اپوکسی را امتناع کند، وقتی بندر اول به نقطه امتناع رسید پایه بندر را ببندید و به آرامی روی سر درگاه بکشید تا در بسته شود. کشیدن بیش از حد رزین ممکن است درگاه را از سطح بتن جدا کند و باعث نشی شود.

به آخرین قسمت بروید که اپوکسی در حین تزریق اولین قسمت ظاهر شده، آن را باز کرده و در این قسمت تزریق رزین به بتن را ادامه دهید. اگر اپوکسی راه اندازی شده است به بندر بعدی بروید و این روند را تکرار کنید تا اینکه هر بخشی از ترک از تزریق اپوکسی خودداری کند.

در حالی که به نظر می رسد این روش تزریق رزین به بتن در برخی از درگاه ها را بدون استفاده رها کند اما فشار حداکثر را برای مجبور کردن اپوکسی به مناطق کوچکتر ترک ایجاد می کند. حرکت به درگاه بعدی به محض ظاهر شدن اپوکسی اجازه میدهد تا در قسمت وسیع تر از ترک به سمت درگاه های بعدی حرکت کند و نه اینکه آن را از رفتن به قسمت های دیگر مجبور به ترک کند.

### نکات ذکر شده برای تزریق رزین به بتن:

در صورت استفاده از ابزار پخش پنوماتیک هنگام شروع تزریق رزین به بتن این وسیله را در حالت کم تنظیم کنید و در صورت لزوم فشار را افزایش دهید تا اپوکسی جریان یابد. برای ترک های باریک ممکن است لازم باشد فشار را به تدریج افزایش دهید تا اینکه اپوکسی شروع به جریان کند. هم چنین ممکن است لازم باشد چند دقیقه صبر کنید تا اپوکسی شکاف را پر کند و به درگاه بعدی برود.

در صورت تمایل پس از اینکه رزین اپوکسی به بتن تزریق شد درگاه های تزریق و اپوکسی چسبناک را بردارید. اپوکسی را می توان با اسکرابر یا چرخ اسباب جدا کرد. استفاده از اسلحه گرمایی برای نرم کردن اپوکسی هنگام استفاده از اسکرابر استفاده می شود.



### عیب یابی در هنگام تزریق رزین به بتن:

#### (1) زمانی که اپوکسی در حال ترکیدن است اما در قسمت بعدی نشان داده نمی شود:

این می تواند نشان دهد که یا ترک گسترش می یابد و یا شاخ های زیر سطح بتن خاموش است، به تزریق و پرکردن حفره ها توسط رزین به بتن ادامه دهید در شرایطی که ترک به طور کامل از طریق عنصر بتونی نفوذ کند و قسمت پشتی بتن را نمی توان مهره و موم کرد.

به عنوان مثال: دیوارهای زیرزمین یا پایه های دارای پشت بام مدت زمان تزریق طولانی تر ممکن است اپوکسی را به قسمت بعدی مجبور نکند که به احتمال زیاد این نشان می دهد که اپوکسی از قسمت پشت شکاف ناپیوسته خارج شده است. در این حالت برنامه ممکن است برای ترمیم تزریق رزین به بتن بدون خاکبرداری و آب بندی قسمت پشت ترک مناسب نباشد.

## **(2) فشار پشت مانع از روان شدن اپوکسی می شود:**

این می تواند چندین موقعیت را نشان دهد: ترک مداوم نیست و بخشی که تزریق می شود پر است. یا درگاه به طور صحیح روی شکاف تراز نشده است.

## **(3) این ترک توسط آوارها مسدود شده است:**

اپوکسی از پوسته چسبیده یا درگاه های تزریق در حال نشت است. تزریق را متوقف کنید در صورت استفاده از مواد خمیر سریع چربی، اپوکسی تزریق نشت را با یک پارچه نخی پاک کنید و دوباره خمیر را روی مواد بمالید. تقریباً ۱۰ الی ۱۵ دقیقه صبر کنید تا اپوکسی رزین شروع به سفت شدن کند اگر نشت بزرگ است به عنوان مثال: بندر از سطح بتن خراب شد خوب است که حدود ۳۰ دقیقه یا در صورت لزوم طولانی تر کنید تا اجازه دهید خمیر به طور کامل بچسبد.

بررسی کنید که قبل از نصب دوباره اپوکسی سفت شود یا ممکن است درپوش یا درگاه نشت کند. گزینه دیگر برای نشت های کوچک تمیز کردن اپوکسی و تزریق و استفاده از پارافین یا مدادرنگی برای آب بندی سوراخ ها است.

## **(4) اپوکسی بیشتر از آن چه تخمین زده می شود استفاده می گردد:**

این ممکن است نشان دهد که ترک یا زیر سطح منبسط شود یا شاخه هایی از آن خارج شود. اگر ترک به طور کامل از طریق عنصر بتنی نفوذ کرده و امکان آب بندی نداشته باشد ممکن است کاربرد برای تعمیر تزریق رزین به بتن مناسب نباشد.



## **ترمیم ترک ها در عناصر بتنی با تزریق رزین:**

- 1) بتن اپوکسی دوجزء
- 2) رزین تزریق اپوکسی دوجزء برای ترک های با عرض ۰,۱ و ۱ میلی متر
- 3) رزین تزریق اپوکسی دوجزء برای ترک های ۰,۵ و ۳ میلی متر
- 4) رزین تزریق اپوکسی دوجزء برای ترک های با عرض بزرگ تر از ۳ میلی متر.

مشکلی که در این زمینه هنگام تزریق رزین به بتن وجود دارد این است که ترک های عناصر بتنی که شامل تیرها، اسلب ها، ستون ها و دیوار ها و ... هستند ویژگی یکپارچه و استحکام عناصر ساختاری را تضعیف می کنند.

### راه حل مناسب برای رفع مشکل:

موارد مورد استفاده برای بازگرداندن یک عنصر ساختاری به یک قطعه کامل یکپارچه به منظور اطمینان از عملکرد آن همان طور که در ابتدا طراحی شده است باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- 1) مقاومت مکانیکی بالایی داشته باشد.
- 2) اتصال قوی و قابلیت آب بندی عالی داشته باشد.
- 3) ویسکوزیته مناسب در مورد رزین های تزریقی به بتن برای اینکه بتواند به کوچک ترین شکاف موجود در ترک نفوذ کند.

### نتیجه گیری:

روش تزریق رزین به بتن با استفاده از رزین اپوکسی تزریقی یا ملات اپوکسی موجب بسته شدت ترک ها خواهد شد و موجب می شود ترک ها کاملاً پوشیده شده و مشکلی رخ ندهد

### کاربرد تزریق رزین های پلیمری:

عملیات تزریق رزین با اهداف خاصی می تواند صورت گیرد، از آن جمله می توان به تزریق آب بندی، تزریق ترمیمی سازه آسیب دیده، تزریق تحکیم بستر و یا ترکیبی از هر کدام می تواند باشد. عملکرد و اهدافی که هر یک دنبال می کنند کاملاً متفاوت بوده و برای انجام اینکار بایستی نیازمندیهای کلیدی برای انتخاب نوع مواد و فشار تزریق و نوع پکر یا نیپل توسط کارشناس مربوطه سنجیده و انتخاب شود. تیپ عملیات تزریق یا Injection برای هر دو حالت یکسان است اما چیزی که باعث تفاوت در آن می شود، الگوی تزریق و جنس مواد مورد تزریق می باشد. البته نباید این مهم را نادیده گرفت که با توجه به نیازمندی سازه مورد ترمیم و یا آب بندی، میزان فشار مورد نیاز دستگاه تزریق و نیز طول و قطر پکر ممکن است متفاوت باشد.

### تزریق رزین اپوکسی

استاندارد و صحیح ترین روش تعمیر ترکهای سازه ای تزریق رزین اپوکسی می باشد. در این متن به شرح روش تزریق رزین اپوکسی در ترکها پرداخته می شود. شما می توانید جهت مشاوره و اجرای ترمیم ترک با استفاده از تزریق رزین اپوکسی با بخش فنی و مهندسی کلینیک فنی و تخصصی بتن ایران ( ۴۴۶۱۸۴۶۲ - ۴۴۶۱۸۳۷۹ ) تماس حاصل فرمایید.

### دستورالعمل تعمیر بتن

ترمیم ترک های سازه ای به روش تزریق رزین اپوکسی  
به گزارش کمیته ACIE706

### معرفی:

ترک خوردگی از سازه های بتنی غیر قابل پیش گیری می باشد. لذا برای تعمیر نیاز به شناخت کافی و لازم از علل ایجاد آن می باشد. برخی علل ترک خوردگی در سازه های بتنی شامل موارد زیر می شود:

۱. جمع شدگی ناشی از خشک شدن
۲. جمع شدگی حرارتی یا انبساطی
۳. نشست
۴. عدم تعبیه مناسب درزها
۵. اعمال بار بیش از طرح که باعث ایجاد انواع بارهای خمشی، کششی و یا برشی می گردد
۶. جلوگیری از جابجایی

یک روش کاربردی برای تعمیر ترکها ، تزریق رزین اپوکسی تحت فشار درون ترک می باشد. تزریق اپوکسی درون ترک ها بسته به محل ترک ، افقی یا عمودی بود و عرض ترک دارای روش های مختلفی می باشد. همچنین این امر به ابعاد و دسترسی به ترک نیز بستگی دارد.

می توان از یک یا دو طرف سازه به درون ترک تزریق کرد. در صورتی که فقط امکان تزریق از یک سمت وجود داشته باشد ممکن است نیاز به تغییر پمپ ، ویسکوزیته رزین ، فاصله پکر و ... برای اطمینان از پر شدن کامل پکر باشد.

با توجه خصوصیات این روش ، تزریق رزین می تواند باعث بازگرداندن خصوصیات سازه ای ترک و حذف رطوبت در ترکها تا ۰,۰۰۲ اینچ ( ۰,۰۵ ) و بیشتر گردد. با این حال قبل از اجرای ترمیم باید علت آسیب و هدف از تعمیر تعیین شود. اگر بعد از تعمیر امکان جابجایی ترک وجود داشته باشد، اپوکسی روش مناسبی نیست. ترمیم با اپوکسی را در ترک های افقی با عرض کافی را می توان به صورت ثقلی اجرا نمود.

### هدف از تعمیر چیست؟

بازگرداندن خصوصیات سازه ای و جلوگیری از نشت رطوبت.

### چه زمانی از این روش استفاده کنیم ؟

برای ترمیم ترکهای افقی و قائم سرباز که روش های معمول ترمیم نمی تواند در ترک نفوذ و باعث بازگرداندن ساختار سازه گردد. قبل از استفاده از این روش باید علت ایجاد ترک و نیاز به تعمیر سازه ای ترک مشخص گردد. اگر ترک غیر سازه ای باشد می توان برای پرکردن آن از تزریق ماستیک پلی یورتان یا ملات های غیر سازه ای استفاده نمود. اگر ترک سازه ای باشد ، پیش از ترمیم باید علت ایجاد کننده ترک رفع گردد. اگر امکان خشک شدن ترک وجود نداشته باشد باید از رزین های اپوکسی آبدوست استفاده نمود. در صورتی که علت ایجاد ترک خوردگی میلگرد باشد تزریق اپوکسی مناسب نیست چرا که با توسعه خوردگی ترک های جدید ایجاد خواهد گردید.

### چگونه سطح را آماده سازی کنیم :

سطح کار باید به عرض ۰,۵ اینچ ( ۱۳ میلیمتر ) از هر طرف تمیز گردد. این به دلیل اطمینان یافتن از چسبندگی مناسب مصالح مهر و موم ترک به بتن می باشد. برای این کار استفاده از برس سیمی توصیه می شود چرا که استفاده از لوازم مکانیکی ممکن است باعث نفوذ گرد و غبار به درون ترک شود. کلیه آلودگی ها باید با فشار آب ، فشار هوا و یا وکیوم پاکسازی و حذف گردد. هنگامی که برای تمیز کردن ترک از فشار آب استفاده می شود سپس درون ترک باید با هوای فشرده و حرارت خشک شود. در غیر این صورت زمان کافی را بدهید تا رطوبت ترک حذف گردد.

در صورتی که لبه های ترک ضعیف و یا تخریب شده می بایست ترک به شکل V بازگردد. همچنین برای زمانی که تزریق با فشار بالا نیاز است و یا نیاز به مهر و موم بهتر ترک است می بایست ترک را به شکل V باز نمود.

چگونه مصالح مناسب را انتخاب کنیم ؟

ویسکوزیته مناسب بتن به عرض ترک ، ضخامت بتن و دسترسی به ترک بستگی دارد. برای زمانی که عرض ترک ۰,۰۱ ( ۰,۳ میلیمتر ) یا کمتر می باشد باید از اپوکسی با ویسکوزیته پایین ( ۵۰۰ cps or less ) استفاده نمود. برای زمانی که عرض بیشتر یا به یک طرف ترک دسترسی وجود دارد استفاده از یک رزین با ویسکوزیته ژل مانند مناسب است. در استاندارد ASTM C 881, مشخصات استاندارد برای چسبانده رزین اپوکسی ، براساس موارد اصولی مورد نیاز جهت انتخاب نوع و مشخصات اپوکسی ( جدول ۱ ) آورده شده است.

برای بتن های با ابعاد بیش از ۱۲ اینچ ( ۳۰۵ میلیمتر ) باید از رزین های با ویسکوزیته پایین و زمان گیرش بیشتر ، مانند ترک های کم عرض استفاده کرد. به جزء موارد ذکر شده در جدول یک برای انتخاب رزین ممکن است موارد ذیل نیز لحاظ گردد.

- مدول الاستیسیته
- زمان گیرش



- تحمل رطوبت
- رنگ
- مقاومت فشاری، خمشی و کششی

### چه تجهیزاتی مورد نیاز می باشد ؟

تجهیز پمپ تزریق رزین اپوکسی با فشار بالا و فشار پایین ، شامل گان ، دسته کنترل خروج ، موتور ، شلنگ انتقال و مخزن رزین .  
نوع و ابعاد پمپ بسته به شرایط و ابعاد پروژه تعمیر و محدودیت های اقتصادی می باشد.

### موارد ایمنی شامل چه مواردی می شود ؟

رزین های اپوکسی موارد خطرناکی بوده که از برخورد آن به بدن باید خود داری کرد. برای این امر باید از تجهیزات زیر استفاده نمود :

- در اختیار داشتن دیتاشیت ایمنی محصول (MSDS) در سایت
  - استفاده از لباس و عینک ایمنی مقاوم
  - داشتن دستکش و کرم های محافظتی
  - در اختیار داشتن لوازم و محصول شستشوی چشم
  - استفاده از ماسک در صورت نیاز
  - نصب تجهیز تهویه در محیط های سر بسته
  - نگهداری امن تحت عنوان مواد خطرناک
  - داشتن مواد تمیز کننده دست
  - اطلاع رسانی به اشخاص در خصوص روش تعمیر
- کاربر باید به روش های ایمنی و بهداشت مصرف آگاهی داشته و آنها را رعایت کند. ACI هیچ مسئولیتی را در خصوص ایمنی ، در ارتباط با این سند ندارد. استفاده کننده باید پیش از مصرف از همه موارد ایمنی و محدودیتها اطلاع داشته باشد.

### جلسه هماهنگی پیش از اجرا :

قبل شروع به تعمیر با جلسه ای برگزار گردد. در این جلسه باید کلیه دست اندرکاران شامل پیمانکار ، کارفرما ، ناظر ، تولید کننده و ایمنی شرکت و کلیه مسائل از جمله هدف از تعمیر ، روش ، ایمنی ، ظاهر کار و موارد لازم برای رسید به نتیجه مورد نظر مورد بررسی قرار گیرد.

### روش تعمیر :

نصب پکر - پس از آماده سازی سطح باید اقدام به نصب پکر ها نمود. دو نوع پکر برای تزریق وجود دارد.

- پکر های سطحی
- و پکر هم عمقی

پورت یا پکر ورودی رابط بین دستگاه و سازه ها برای تزریق و ورود رزین اپوکسی تحت فشار می باشد. البته گان های مخصوص با نازل واشر دار برای تزریق بدون پکر نیز موجود می باشد. فواصل پکر ها به طور معمول ۸ اینچ بر روی مرکز ترک در نظر گرفته می شود و با افزایش عرض ترک ، فواصل نیز بیشتر می شود. فواصل بین پکر هم با ضخامت بتن هم مرتبط می باشد. پکر ها سطحی برای اکثر مواقع مناسب می باشند مگر زمانی که سطح کار مسدود بوده و دسترسی به ترک وجود ندارد. پکر ها می توانند به هم با استفاده از یک شلنگ یا شبکه متصل شوند زمانی که تزریق همزمان در همه پکر ها مناسب باشد.

### بستن و آب بندی ترک :

ترک باید به وسیله ملات یا بتونه اپوکسی بسته شود به نحوی که در برابر تزریق تحت فشار مقاوم باشد. در تزریق رزین اپوکسی از نقطه در یک عضو ترک خورده زمانی بهترین نتیجه حاصل می شود که ترک از دو طرف به خوبی بسته شود. فرآیند بستن ترک را

می توان به خوبی با اپوکسی ، سیلکون و پلی استر انجام داد. در انتخاب موارد برای مهر و موم ترک در عملیات تعمیر باید به موارد ذیل توجه داشت :

۱. بدون شره ( برای سطوح عمودی یا بالای سر )

۲. تحمل رطوبت

۳. زمان سفت شدن و گیرش

۴. سفتی ( مدول الاستیسته )

پس از اجرای بستن ترک و قبل تزریق ممکن دمای بتن تغییراتی داشته باشد بنابراین اگر محصول مهر و موم دارای الاستیسته کافی نباشد آسیب می بیند. در این صورت می بایست پیش از تزریق اپوکسی ، ترمیم گردد. پیش از اجرای مهر و موم کردن ترک باید محل و محدوده اعمال ، با توجه به موارد ذیل مشخص گردد :

۱. از مواد استفاده شود که دارای عمر مفید خلیلی زیاد نباشد ( زمان گیرش زیاد نداشته باشد )

۲. پیمانہ کردن دقیق اجزاء مختلف ترکیب

۳. پیمانہ های کوچک برای نگهداری محصول آماده شده تازه و دفع حرارت

۴. فاصله پکر ها

۵. مقدار مصرف برابر ۲۵ میلیمتر در ۵ میلیمتر ضخامت در طول ترک به طور پیوسته می باشد

### تزریق اپوکسی :

برای یک تزریق اپوکسی موفق باید اجزا با نسبت مناسب و به طور دقیق براساس توضیح سازنده مخلوط گردند. قبل از شروع تزریق اصلی ، اطمینان یابید که مهر و موم ترک به خوبی انجام و قابلیت تحمل فشار را دارا می باشد.

تزریق را از عریض ترین بخش یک ترک افقی شروع کنید. ( این محل ها را – عریض ترین بخش – ابتدا علامت گذاری و بعد نسبت به بستن و مهر و موم ترک اقدام نماید ). در ترک های عمودی تزریق از پایین به بالا انجام می گردد.

تزریق را به حد کفایت و پایان رزین خوری و امتناع پمپاژ ( مرحله ای که دیگر امکان پمپاژ وجود ندارد ) ادامه دهید. هرگاه رزین از پورت کناری خارج گردید ، نازل را جدا و به پکر بعد از آن ( پکر کناری ، از پکری که رزین از آن خارج شده ) نصب و به تزریق ادامه دهید. در ترک های موئی گاهی دستیابی به مرحله امتناع پمپاژ مشکل می باشد. در این مواقع سعی گردد تزریق اپوکسی با فشار  $PSI 200$  ( ۱,۳ مگاپاسکال ) به مدت ۵ دقیقه صورت پذیرد. همچنین می توان پکر ها را نزدیک تر در نظر گرفت. زمانی که تزریق در یک پکر تمام می شود بلافاصله بسته می شود. از فشارهای بالاتر برای ترکهای بسیار باریک و یا مواقعی که می خواهیم تزریق بیشتری انجام دهیم استفاده می شود. با این حال استفاده از فشار بالا باید با دقت صورت پذیرد تا منجر به تخریب و کنده شدن پکر و بتونه یا مصالح مهر و موم ترک نگردد.

### حذف پکر و برداشت مصالح مهر و موم:

پس از اتمام عملیات تزریق ، پکر و مصالح یا بتونه مهر و موم ترک به وسیله پیکور ، ساب و یا حرارت برداشته می شود. اگر شکل ظاهری برای کارفرما اهمیت نداشته باشد می تواند پکر و مصالح مهر و موم در محل خود باقی بماند. اگر حذف کامل مصالح برای ایجاد بستر لازم برای اجرای یک پوشش محافظتی و آرایشی لازم باشد ، باید سطح کار ساب زده شود. این مواقع سعی گردد تزریق اپوکسی با فشار ۲۰۰ ( وجود ندارد ) ج شده ) نصب و به تزریق ادامه دهید. ارا می باشد. ای الاستیسته لازم باشد.

### چگونه تعمیر را چک کنیم ؟

برای اطمینان از اینکه تعمیر و تزریق موفق بوده است باید برای تضمین کیفیت تست کرگیری یا آزمایش های غیرمخرب انجام شود.

### تست کرگیری :

- محل کرگیری باید در مکانی در نظر گرفته شود که اطمینان حاصل کرد به شیرآلات و لوله کشی آسیب نمی زند ، در مناطق با حساسیت سازه ای و در مکان های با تراز آب بالا و امکان نشت آب نباشد. در مواقعی که این شرایط وجود داشته باشد مهندس ناظر باید محل کرگیری را تعیین نماید.
- قبل از کرگیری محل تزریق را تعیین نماید.
- دقت شود که کرگیری به طور کامل در محل تزریق ( معمولاً با قطر ۲ اینچ یا ۵۰ میلیمتر ) انجام شود و اپوکسی در کر نفوذ کرده باشد..
- بازرسی چشمی کر برای اطمینان از میزان نفوذ رزین در ترک.
- برای کنترل بیشتر می توان از تست مقاومت فشاری و کششی دو نیم کردن براساس استاندارد ASTM C 42; and استفاده نمود.
- سپس ، محل کرگیری ها ( بعد از آماده سازی سطح ) با استفاده ملات پایه سیمانی یا گروت اپوکسی ترمیم و پر می گردد.

#### تست های غیرمخرب :

- تاثیر اکو (IE)؛
- سرعت پالس فراصوتی (UPV)؛ و
- تجزیه و تحلیل طیفی از امواج سطحی (SASW).

#### Sources for additional information

- ACI Committee 224, 1993, "Causes, Evaluation, and Repairs of Cracks in Concrete Structures (224.1R-93)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 22 pp.
- ACI Committee 364, 1994, "Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation (364.1R-94)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 22 pp.
- ACI Committee 503, 1998, "Use of Epoxy Compounds with Concrete (ACI 503R-93 (Reapproved 1998))," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 28 pp.
- ACI Committee 546, 1988, "Guide for Repair of Concrete Bridge Structures (546.1R-80 (Reapproved 1988))," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 20 pp.
- ACI Committee 546, 1996, "Concrete Repair Guide (546R-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 41 pp.
- ASTM C 881-90, 1990, "Standard Specification for Epoxy-Resin Based Bonding Systems for Concrete,"
- ASTM International, West Conshohocken, Pa., 5 pp. Emmons, P. H., 1994, *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*, R. S. Means Co., Inc., Kingston, Mass., 300 pp.
- "Guide for Verifying Performance of Epoxy Injection of Concrete Cracks," 1998, *ICRI Technical Guideline No. 03734*.
- Murray, M. A., 1987, "Epoxy Injection Welds Cracks Back Together," *Concrete Repair*, V. 3.
- Promboon; Y.; Olsen, L. D.; and Lund, J., 2002, "Nondestructive Evaluation (NDE) Methods for Quality Assurance," *ICRI Bulletin*, V. 15, No. 1, Jan.-Feb., pp. 12-16.
- "State-of-the-Art Adhesives for Concrete Construction," 1998, *Construction Canada Magazine*, May-June.
- Trout, J. F., 1998, *Epoxy Injection in Construction*, The Aberdeen Group, 80 pp.

**دستورالعمل تعمیر بتن - ترمیم ترک های سازه ای به روش تزریق رزین اپوکسی به گزارش کمیته ACI E706**

معرفی :

ترک خوردگی از سازه های بتنی غیر قابل پیش گیری می باشد. لذا برای تعمیر نیاز به شناخت کافی و لازم از علل ایجاد آن می باشد. برخی علل ترک خوردگی در سازه های بتنی شامل موارد زیر می شود :

۱. جمع شدگی ناشی از خشک شدن
۲. جمع شدگی حرارتی یا انبساطی
۳. نشست
۴. عدم تعبیه مناسب درزها
۵. اعمال بار بیش از طرح که باعث ایجاد انواع بارهای خمشی ، کششی و یا برشی می گردد
۶. جلوگیری از جابجایی

یک روش کاربردی برای تعمیر ترکها ، تزریق رزین اپوکسی تحت فشار درون ترک می باشد. تزریق اپوکسی درون ترک ها بسته به محل ترک ، افقی یا عمودی بود و عرض ترک دارای روش های مختلفی می باشد. همچنین این امر به ابعاد و دسترسی به ترک نیز بستگی دارد.

می توان از یک یا دو طرف سازه به درون ترک تزریق کرد. در صورتی که فقط امکان تزریق از یک سمت وجود داشته باشد ممکن است نیاز به تغییر پمپ ، ویسکوزیته رزین ، فاصله پکر و ... برای اطمینان از پر شدن کامل پکر باشد. با توجه خصوصیات این روش ، تزریق رزین می تواند باعث بازگرداندن خصوصیات سازه ای ترک و حذف رطوبت در ترکها تا ۰.۰۰۲ اینچ ( ۰.۰۵ ) و بیشتر گردد. با این حال قبل از اجرای ترمیم باید علت آسیب و هدف از تعمیر تعیین شود. اگر بعد از تعمیر امکان جابجایی ترک وجود داشته باشد، اپوکسی روش مناسبی نیست. ترمیم با اپوکسی را در ترک های افقی با عرض کافی را می توان به صورت ثقیلی اجرا نمود.

#### هدف از تعمیر چیست؟

بازگرداندن خصوصیات سازه ای و جلوگیری از نشت رطوبت.

#### چه زمانی از این روش استفاده کنیم ؟

برای ترمیم ترکهای افقی و قائم سرباز که روش های معمول ترمیم نمی تواند در ترک نفوذ و باعث بازگرداندن ساختار سازه گردد. قبل از استفاده از این روش باید علت ایجاد ترک و نیاز به تعمیر سازه ای ترک مشخص گردد. اگر ترک غیر سازه ای باشد می توان برای پرکردن آن از تزریق ماستیک پلی یورتان یا ملات های غیر سازه ای استفاده نمود. اگر ترک سازه ای باشد ، پیش از ترمیم باید علت ایجاد کننده ترک رفع گردد. اگر امکان خشک شدن ترک وجود نداشته باشد باید از رزین های اپوکسی آبدوست استفاده نمود. در صورتی که علت ایجاد ترک خوردگی میلگرد باشد تزریق اپوکسی مناسب نیست چرا که با توسعه خوردگی ترک های جدید ایجاد خواهد گردید.

#### چگونه سطح را آماده سازی کنیم : ( به شکل یک نگاه کنید )

سطح کار باید به عرض ۰.۵ اینچ ( ۱۳ میلیمتر ) از هر طرف تمیز گردد. این به دلیل اطمینان یافتن از چسبندگی مناسب مصالح مهر و موم ترک به بتن می باشد. برای این کار استفاده از برس سیمی توصیه می شود چرا که استفاده از لوازم مکانیکی ممکن است باعث نفوذ گرد و غبار به درون ترک شود. کلیه آلودگی ها باید با فشار آب ، فشار هوا و یا وکیوم پاکسازی و حذف گردد. هنگامی که برای تمیز کردن ترک از فشار آب استفاده می شود سپس درون ترک باید با هوای فشرده و حرارت خشک شود. در غیر این صورت زمان کافی را بدهید تا رطوبت ترک حذف گردد.

در صورتی که لبه های ترک ضعیف و یا تخریب شده می بایست ترک به شکل V بازگردد. همچنین برای زمانی که تزریق با فشار بالا نیاز است و یا نیاز به مهر و موم بهتر ترک است می بایست ترک را به شکل V باز نمود.

#### چگونه مصالح مناسب را انتخاب کنیم ؟

ویسکوزیته مناسب بتن به عرض ترک ، ضخامت بتن و دسترسی به ترک بستگی دارد. برای زمانی که عرض ترک (۰,۳) (۰,۰۱) میلیمتر ) یا کمتر می باشد باید از اپوکسی با ویسکوزیته پایین (۵۰۰ cps or less) استفاده نمود. برای زمانی که عرض بیشتر یا به یک طرف ترک دسترسی وجود دارد استفاده از یک رزین با ویسکوزیته ژل مانند مناسب است. در استاندارد ASTM C 881, مشخصات استاندارد برای چسبانده رزین اپوکسی ، براساس موارد اصولی مورد نیاز جهت انتخاب نوع و مشخصات اپوکسی ( جدول ۱ ) آورده شده است.

برای بتن های با ابعاد بیش از ۱۲ اینچ ( ۳۰۵ میلیمتر ) باید از رزین های با ویسکوزیته پایین و زمان گیرش بیشتر ، مانند ترک های کم عرض استفاده کرد. به جزء موارد ذکر شده در جدول یک برای انتخاب رزین ممکن است موارد ذیل نیز لحاظ گردد.

- مدول الاستیسیته
- زمان گیرش
- تحمل رطوبت
- رنگ
- مقاومت فشاری، خمشی و کششی

#### چه تجهیزاتی مورد نیاز می باشد ؟

تجهیز پمپ تزریق رزین اپوکسی با فشار بالا و فشار پایین ، شامل گان ، دسته کنترل خروج ، موتور ، شلنگ انتقال و مخزن رزین . نوع و ابعاد پمپ بسته به شرایط و ابعاد پروژه تعمیر و محدودیت های اقتصادی می باشد.

#### موارد ایمنی شامل چه مواردی می شود ؟

رزین های اپوکسی موارد خطرناکی بوده که از برخورد آن به بدن باید خود داری کرد. برای این امر باید از تجهیزات زیر استفاده نمود :

- در اختیار داشتن دیتاشیت ایمنی محصول (MSDS) در سایت
  - استفاده از لباس و عینک ایمنی مقاوم
  - داشتن دستکش و کرم های محافظتی
  - در اختیار داشتن لوازم و محصول شستشوی چشم
  - استفاده از ماسک در صورت نیاز
  - نصب تجهیز تهویه در محیط های سر بسته
  - نگهداری امن تحت عنوان مواد خطرناک
  - داشتن مواد تمیز کننده دست
  - اطلاع رسانی به اشخاص در خصوص روش تعمیر
- کاربر باید به روش های ایمنی و بهداشت مصرف آگاهی داشته و آنها را رعایت کند. ACI هیچ مسئولیتی را در خصوص ایمنی ، در ارتباط با این سند ندارد. استفاده کننده باید پیش از مصرف از همه موارد ایمنی و محدودیتها اطلاع داشته باشد.

#### جلسه هماهنگی پیش از اجرا :

قبل شروع به تعمیر با جلسه ای برگزار گردد. در این جلسه باید کلیه دست اندرکاران شامل پیمانکار ، کارفرما ، ناظر ، تولید کننده و ایمنی شرکت و کلیه مسائل از جمله هدف از تعمیر ، روش ، ایمنی ، ظاهر کار و موارد لازم برای رسید به نتیجه مورد نظر مورد بررسی قرار گیرد.

روش تعمیر :

نصب پکر – پس از آماده سازی سطح باید اقدام به نصب پکر ها نمود. دو نوع پکر برای تزریق وجود دارد.

- پکر های سطحی

و پکر هم عمقی

پورت یا پکر ورودی رابط بین دستگاه و سازه ها برای تزریق و ورود رزین اپوکسی تحت فشار می باشد. البته گان های مخصوص با نازل واشر دار برای تزریق بدون پکر نیز موجود می باشد. فواصل پکر ها به طور معمول ۸ اینچ بر روی مرکز ترک در نظر گرفته می شود و با افزایش عرض ترک ، فواصل نیز بیشتر می شود. فواصل بین پکر هم با ضخامت بتن هم مرتبط می باشد. پکر ها سطحی برای اکثر مواقع مناسب می باشند مگر زمانی که سطح کار مسدود بوده و دسترسی به ترک وجود ندارد. پکر ها می توانند به هم با استفاده از یک شلنگ یا شبکه متصل شوند زمانی که تزریق همزمان در همه پکر ها مناسب باشد.

بستن و آب بندی ترک :

ترک باید به وسیله ملات یا بتونه اپوکسی بسته شود به نحوی که در برابر تزریق تحت فشار مقاوم باشد. در تزریق رزین اپوکسی از نقطه در یک عضو ترک خورده زمانی بهترین نتیجه حاصل می شود که ترک از دو طرف به خوبی بسته شود. فرآیند بستن ترک را می توان به خوبی با اپوکسی ، سیلکون و پلی استر انجام داد. در انتخاب موارد برای مهر و موم ترک در عملیات تعمیر باید به موارد ذیل توجه داشت :

۱. بدون شره ( برای سطوح عمودی یا بالای سر )

۲. تحمل رطوبت

۳. زمان سفت شدن و گیرش

۴. سفتی ( مدول الاستیسیته )

پس از اجرای بستن ترک و قبل تزریق ممکن دمای بتن تغییراتی داشته باشد بنابراین اگر محصول مهر و موم دارای الاستیسیته کافی نباشد آسیب می بیند. در این صورت می بایست پیش از تزریق اپوکسی ، ترمیم گردد. پیش از اجرای مهر و موم کردن ترک باید محل و محدوده اعمال ، با توجه به موارد ذیل مشخص گردد :

۱. از مواد استفاده شود که دارای عمر مفید خیلی زیاد نباشد ( زمان گیرش زیاد نداشته باشد)

۲. پیمانانه کردن دقیق اجزاء مختلف ترکیب

۳. پیمانانه های کوچک برای نگهداری محصول آماده شده تازه و دفع حرارت

۴. فاصله پکر ها

۵. مقدار مصرف برابر ۲۵ میلیمتر در ۵ میلیمتر ضخامت در طول ترک به طور پیوسته می باشد

**تزریق اپوکسی ( شکل ۴ و ۵ ):**

برای یک تزریق اپوکسی موفق باید اجزا با نسبت مناسب و به طور دقیق براساس توضیح سازنده مخلوط گردند. قبل از شروع تزریق اصلی ، اطمینان یابید که مهر و موم ترک به خوبی انجام و قابلیت تحمل فشار را دارا می باشد.

تزریق را از عریض ترین بخش یک ترک افقی شروع کنید. ( این محل ها را - عریض ترین بخش - ابتدا علامت گذاری و بعد نسبت به بستن و مهر و موم ترک اقدام نماید ). در ترک های عمودی تزریق از پایین به بالا انجام می گردد.

تزریق را به حد کفایت و پایان رزین خوری و امتناع پمپاژ ( مرحله ای که دیگر امکان پمپاژ وجود ندارد ) ادامه دهید. هرگاه رزین از پورت کناری خارج گردید ، نازل را جدا و به پکر بعد از آن ( پکر کناری ، از پکری که رزین از آن خارج شده ) نصب و به تزریق ادامه دهید. در ترک های مویی گاهی دستیابی به مرحله امتناع پمپاژ مشکل می باشد. در این مواقع سعی گردد تزریق اپوکسی با فشار  $PSI 200$  ( ۱,۳ مگاپاسکال ) به مدت ۵ دقیقه صورت پذیرد. همچنین می توان پکر ها را نزدیک تر در نظر گرفت. زمانی که تزریق در یک پکر تمام می شود بلافاصله بسته می شود. از فشارهای بالاتر برای ترکهای بسیار باریک و یا مواقعی که می خواهیم تزریق بیشتری انجام دهیم استفاده می شود. با این حال استفاده از فشار بالا باید با دقت صورت پذیرد تا منجر به تخریب و کنده شدن پکر و بتونه یا مصالح مهر و موم ترک نگردد.

**حذف پکر و برداشت مصالح مهر و موم ( به شکل ۶ مراجعه شود ) :**

پس از اتمام عملیات تزریق ، پکر و مصالح یا بتونه مهر و موم ترک به وسیله پیکور ، ساب و یا حرارت برداشته می شود. اگر شکل ظاهری برای کارفرما اهمیت نداشته باشد می تواند پکر و مصالح مهر و موم در محل خود باقی بماند. اگر حذف کامل مصالح برای ایجاد بستر لازم برای اجرای یک پوشش محافظتی و آرایشی لازم باشد ، باید سطح کار ساب زده شود. این مواقع سعی گردد تزریق اپوکسی با فشار ۲۰۰ (وجود ندارد) ج شده ) نصب و به تزریق ادامه دهید. ارا می باشد. ای الاستیسیته لازم باشد.

### چگونه تعمیر را چک کنیم ؟

برای اطمینان از اینکه تعمیر و تزریق موفق بوده است باید برای تضمین کیفیت تست کرگیری یا آزمایش های غیرمخرب انجام شود.

### تست کرگیری :

- محل کرگیری باید در مکانی در نظر گرفته شود که اطمینان حاصل کرد به شیرآلات و لوله کشی آسیب نمی زند ، در مناطق با حساسیت سازه ای و در مکان های با تراز آب بالا و امکان نشت آب نباشد. در مواقعی که این شرایط وجود داشته باشد مهندس ناظر باید محل کرگیری را تعیین نماید.
- قبل از کرگیری محل تزریق را تعیین نماید.
- دقت شود که کرگیری به طور کامل در محل تزریق ( معمولاً با قطر ۲ اینچ یا ۵۰ میلیمتر ) انجام شود و اپوکسی در کر نفوذ کرده باشد..
- بازرسی چشمی کر برای اطمینان از میزان نفوذ رزین در ترک.
- برای کنترل بیشتر می توان از تست مقاومت فشاری و کششی دو نیم کردن براساس استاندارد ASTM C 42; and استفاده نمود.
- سپس ، محل کرگیری ها ( بعد از آماده سازی سطح ) با استفاده ملات پایه سیمانی یا گروت اپوکسی ترمیم و پر می گردد.

### تست های غیرمخرب :

- تاثیر اکو (IE)؛
- سرعت پالس فراصوتی (UPV)؛ و
- تجزیه و تحلیل طیفی از امواج سطحی (SASW).

### Sources for additional information

- ACI Committee 224, 1993, "Causes, Evaluation, and Repairs of Cracks in Concrete Structures (224.1R-93)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 22 pp.
- ACI Committee 364, 1994, "Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation (364.1R-94)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 22 pp.
- ACI Committee 503, 1998, "Use of Epoxy Compounds with Concrete (ACI 503R-93 (Reapproved 1998))," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 28 pp.
- ACI Committee 546, 1988, "Guide for Repair of Concrete Bridge Structures (546.1R-80 (Reapproved 1988))," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 20 pp.
- ACI Committee 546, 1996, "Concrete Repair Guide (546R-96)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 41 pp.
- ASTM C 881-90, 1990, "Standard Specification for Epoxy-Resin Based Bonding Systems for Concrete."
- ASTM International, West Conshohocken, Pa., 5 pp. Emmons, P. H., 1994, *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*, R. S. Means Co., Inc., Kingston, Mass., 300 pp.

“Guide for Verifying Performance of Epoxy Injection of Concrete Cracks,” 1998, *ICRI Technical Guideline* No. 03734.

Murray, M. A., 1987, “Epoxy Injection Welds Cracks Back Together,” *Concrete Repair*, V. 3. Promboon; Y.; Olsen, L. D.; and Lund, J., 2002, “Nondestructive Evaluation (NDE) Methods for Quality Assurance,” *ICRI Bulletin*, V. 15, No. 1, Jan.-Feb., pp. 12-16.

“State-of-the-Art Adhesives for Concrete Construction,” 1998, *Construction Canada Magazine*, May-June.

Trout, J. F., 1998, *Epoxy Injection in Construction*, The Aberdeen Group, 80 pp.

### پکر گذاری و تزریق اپوکسی و پلی یورتان به بتن

#### سیستم های تزریق اپوکسی به بتن

ترک های موجود در بتن با توجه به اهمیت سازه و علل وقوع آن ها دسته بندی و تعمیر و بازسازی نمود. تزریق رزین اپوکسی تحت فشار (Concrete Resin Injection Systems) و پکر گذاری به منظور جوش دادن عضو بتنی گسیخته شده در اثر ترک خوردگی، از جمله روشهای مقاوم سازی کاربردی می باشد. اپوکسی تزریقی خلل ها و ترک های بتن را پر کرده و همچنین مانند سد پوشش محافظ از ورود آب به داخل سطوح جلوگیری می نماید.

رزینهای اپوکسی مورد استفاده در سیستمهای تزریق به بتن از اختلاط دو جزء رزین سخت شده (SET) و جزء عمل آورنده (Curing Agents) یا سخت کننده (Hardeners) حاصل می شود. رزین تزریقی ویژگیهای چسبندگی بسیار عالی، مقاومت شیمیایی در برابر اسیدها، افت کم، زود سخت شونده (زمان عمل آوری پائین) و مقاوم در برابر رطوبت دارند. مراحل پر کردن ترک های بتن توسط تزریق اپوکسی عبارتست از:

- ۱) تمیز نمودن سطوح ترکهای موجود با استفاده از مواد شیمیایی مخصوص و نصب روزنه های تزریق در فواصل مشخص
- ۲) درز بندی سطوح ترک توسط چسبهای ویژه بمنظور تحمل فشار ناشی از تزریق تا امکان نفوذ رزین اپوکسی فراهم شود.
- ۳) تزریق رزین اپوکسی مخصوص (با چسبندگی کم و زمان گیرش مناسب و تنظیم شده) توسط پمپهای ویژه از پایین ترین روزنه
- ۴) به محض ریزش رزین از روزنه تزریق بعدی، شیر روزنه بسته می شود و از روزنه بعدی عملیات تزریق انجام می شود. فشار اولیه تزریق معمولاً ۲۵ اتمسفر می باشد که در طی اجرای تزریق به تدریج فشار افزایش داده می شود.
- ۵) به منظور بررسی و اطمینان از تزریق صورت گرفته و میزان نفوذ رزین اپوکسی در بتن، مغزه گیری از ترکها صورت می گیرد. همچنین می توان نمونه های بدست آمده را با استفاده از جک بارگذاری شکست و صفحه شکست مغزه را بررسی کرد.

#### تزریق پلی یورتان دو جزئی

آبریزش LEAKAGE آب در بتنهایی که تحت فشار آب می باشند (نظیر آب بندی تونلها، تاسیسات بتنی زیر دریایی، چاله آسانسورها و ...) توسط تزریق پلی یورتان دو جزئی قابل ترمیم و آب بندی می باشد. پلی یورتان در ترکیب با آب واکنش نشان داده و حدوداً ۱۰ تا ۱۵ برابر متوم می شود. بدین ترتیب کلیه درزها، خلل ها و ترکهای داخل بتن پر می شود. این محصول توسط پمپ مخصوص توسط اکیپ مجرب شرکت جهت آب بندی فشار منفی آب در بتن تزریق می شود.

#### تزریق رزین اپوکسی و پلی یورتان در ترک های بتن

معمولاً خوردگی آرماتور در بتن و تهاجم سولفات، از مهمترین عوامل آسیب دیدگی سازه های بتنی محسوب می شوند. بخصوص در نواحی خلیج فارس به دلیل وجود عناصر مخرب مانند کلریدها و سولفات ها، این نوع آسیب دیدگی ها بیشتر مشاهده می شود. همچنین شرایط اقلیمی مانند گرما و رطوبت زیاد باعث افزایش خرابی سازه ها می گردد، زیرا دما سبب تشدید واکنش های شیمیایی می شود و رطوبت برای انجام واکنش های تخریب ضروری است.

مکانیزم خوردگی آرماتور



معمولاً بتن شرایط مناسبی برای حفاظت آرماتور ایجاد می کند. انفعالی شدن فولاد در بتن به دلیل قلیائیت زیاد بتن است که حدود PH آن ۱۳ تا ۱۴ است. لایه محافظ یک قشر میکروسکوپی است که بر سطح فولاد ایجاد می گردد. این لایه محافظ که فقط در PH زیاد پایدار می باشد از نوع اکسید است. قلیائی بودن بتن به دلیل وجود هیدروکسید کلسیم است که در اثر هیدراتاسیون سیمان تولید می گردد.

دومین عاملی که از فولاد در بتن محافظت می کند، پوشش بتن بر روی آرماتور است که یک مانع فیزیکی ایجاد می کند. این مانع از نفوذ عناصر مخرب تولید کلریدها و دی اکسید کربن جلوگیری بعمل می آورد. اثر پوشش بتن بعنوان یک مانع، تابع ضخامت، پوشش و کیفیت بتن است. خوردگی فولاد در بتن یک فرآیند الکتروشیمیایی است. در این فرآیند، یون ها و الکترون ها بین دو قسمت مختلف سطح فولاد که در پتانسیل الکترو شیمیایی اختلاف دارند، حرکت می کنند. این دو بخش آند و کاتد را تشکیل می دهند، بنابراین واکنش های الکتروشیمیایی در فرآیند خوردگی را می توان به دو بخش آندی و کاتدی تقسیم نمود. در آند اکسید شدن الکترو شیمیایی صورت می پذیرد و در کاتد احیاء الکتروشیمیایی رخ می دهد.

فلز (Fe) در محل آند به یون های فروز ( $Fe^{2+}$ ) تجزیه می شود و الکترون ها ( ) آزاد می گردند. برای آنکه بین بارهای الکتریکی تعادل برقرار گردد، الکترون ها در محل کاتد مصرف شده و با ترکیب شدن با اکسیژن ( $O_2$ ) و آب ( $H_2O$ ) تشکیل یون های هیدروکسیل ( $OH$ ) را می دهند. ترکیب  $Fe^{2+}$  و یون های هیدروکسیل تشکیل هیدروکسید فروز  $2(OH)$  Fe می شود که یک نوع زنگ به رنگ سفید است. این محصول اکسیده می شود و به صورت هیدروکسید فریک به رنگ قرمز مایل به قهوه ای است، همان رنگی که معمولاً در هنگام خوردگی مشاهده می شود. قدرت انبساط و تخریب محصولات خوردگی بستگی بسته به نوع محصول است. برای مثال قدرت تخریبی  $3(OH)$  Fe بیشتر از  $2(OH)$  Fe است. مهمترین عواملی که سبب تخریب لایه محافظ میلگرد می گردد، کربناته شدن بتن و نفوذ یون های کلرید است. هوای معمولی دارای ۳٪ درصد گاز دی اکسید کربن ( $CO_2$ ) است. در صورت نفوذ  $CO_2$  به داخل بتن، هیدروکسید موجود در بتن و  $CO_2$  واکنش شیمیایی انجام می دهند که منجر به تشکیل کربنات کلسیم می گردد. کربنات کلسیم باعث کاهش PH بتن می گردد و لایه انفعالی و محافظ فولاد تخریب می شود.  $CO_2$  فقط از بتن کربناته شده می تواند عبور کند، بنابراین تمام هیدروکسید ها باید تبدیل به کربنات شوند، پس از آن  $CO_2$  به حرکت خود ادامه می دهد و به منطقه بتن غیر کربناته می رسد. در حالی که روند کربناسیون ادامه می یابد، تمام هیدروکسید کلسیم ترکیب شده و در نتیجه  $C-S-H$  در حضور هیدروکسید کلسیم آزاد می گردد تا به مصرف برسد. بنابراین در نهایت فقط سیلیس هیدراته شده در بتن باقی می ماند. زیرا  $C-S-H$  در حضور هیدروکسید کلسیم ثابت دارد و در غیاب آن پایدار نبوده و تجزیه می شود. به دلیل کربناسیون بقیه محصولات هیدراتاسیون نیز تجزیه می شوند و بنابراین فقط یک شبکه سیلیس، آلومین و اکسید آهن همراه با کربنات کلسیم تشکیل می شود. این شبکه دارای استحکام و مقاومت زیاد است و نفوذ پذیری آن نسبت به بتن اولیه کمتر می باشد. به هر حال کربناسیون از نقطه نظر خوردگی زیان آور است و سبب خوردگی آرماتور از نوع یکنواخت می گردد. یون های کلرید نیز مهمترین عوامل خوردگی آرماتور می باشند. یون های کلرید از طریق مصالح آلوده مانند سنگدانه به داخل بتن راه می یابند و یا از طریق نفوذ از محیط به داخل بتن وارد می شوند. در نقاطی از سطح فولاد که کلرید حمله می کند، خوردگی از نوع حفره ای ایجاد می شود که این نقاط در نقش آند می باشند و بقیه سطح فولاد به عنوان کاتد عمل می کنند. تمام کلریدها در بتن بصورت آزاد در منافذ وجود ندارند، بلکه بخشی از یون ها با محصولات هیدروتاسیون سیمان پیوند فیزیکی و شیمیایی برقرار می کنند. مهمترین محصولی که قابلیت پیوند را با یون های کلرید دار دارد،  $C_3A$  است. در اثر ترکیب  $C_3A$  و یون های کلرید، محصول نمک فریدل تشکیل می گردد که از نظر خوردگی بدون خطر است. همچنین بخشی از یون های کلرید جذب فیزیکی محصولات هیدراتاسیون می شوند که مانند نمک فریدل برای خوردگی خطر ندارند. اما کلرید های آزاد سبب تخریب لایه محافظ و خوردگی آرماتور می شوند.

تهاجم سولفات ها

آسیب دیدگی بتن در معرض سولفاتها ممکن است همراه با واکنش های زیر باشد :

۱ - تبدیل هیدروکسید کلسیم به سولفات کلسیم که همراه با انبساط و تخریب بتن است .

۲ - تبدیل آلومینات ها به اترنیگایت که سبب انبساط تخریب بتن می شود .

۳ - تجزیه  $C-S-H$  که سبب نرم شدن بتن و کاهش مقاومت آن می شود .

اگر سولفات کلسیم به بتن حمله کند فقط واکنش ۲ رخ می دهد . اما چنانچه سولفات سدیم به بتن حمله کند واکنش های ۱ و ۲ انجام می شود . اگر سولفات منیزیم به بتن حمله کند ، واکنش های ۱ و ۲ و ۳ همراه با یکدیگر رخ می دهد . وقتی که سولفات منیزیم به بتن حمله کند ، تمام هیدروکسید کلسیم موجود در بتن به سولفات کلسیم تبدیل می شود . به دلیل فقدان هیدروکسید کلسیم در بتن ، مقدار PH کاهش می یابد و  $C-S-H$  ناپایدار می گردد . زیرا ژل هیدراته شده فقط در حضور هیدروکسید کلسیم پایدار است و بنابراین قسمتی از آن تجزیه شده و مقدار بیشتری هیدروکسید کلسیم تولید می گردد تا مقدار PH جبران شده و افزایش یابد . اگر سولفات منیزیم به اندازه کافی موجود باشد ، ساختار  $C-S-H$  بطور کامل تخریب می گردد و بتن نرم و اسفنجی می شود . واکنش دیگری نیز بین سولفات منیزیم و بتن انجام می شود که واکنش بین  $C3A$  و سولفات است که منجر به تشکیل اترنیگایت می شود که سبب انبساط و تخریب بتن می گردد .

کنترل کیفیت در ساخت سازه ها برای کاهش آسیب دیدگی

#### مواد مصرفی

شرایط مصالح از نظر نوع ، کیفیت و آلودگی به عناصر زیان آور در ساخت بتن با دوام بسیار مؤثرند . برای مثال بر اساس آئین نامه بتن ایران ، مواد رد شده از الک نمبر ۲۰۰ که شامل رس و شیل است باید به ۳ و ۵ درصد به ترتیب برای بتن های معمولی و تحت سایش محدود گردد . وجود رس و شیل در افزایش جمع شدگی و کاهش مقاومت مؤثرند . همچنین این مواد در کارایی بتن اثر گذاشته و سبب افزایش آب مخلوط برای رسیدن به اسلامپ مورد نظر می گردد . در نتیجه نسبت آب به سیمان افزایش یافته و دوام بتن کاهش می یابد . دپوهای سنگدانه ها از نظر آلودگی به عناصر مخرب مانند کلریدها و سولفاتها باید مورد آزمایش قرار بگیرند و مقدار این مواد مخرب باید در حد مجاز و صبق آئین نامه بتن ایران باشد . مقدار رطوبت سنگدانه ها باید بطور پیوسته مورد آزمایش قرار بگیرد . در اکثر مواقع ، تغییرات در کارایی و مقاومت در پیمانانه های مختلف به دلیل منظور نکردن تغییرات رطوبت سنگدانه ها رخ می دهد . وضعیت آرماتور نیز نقش عمده ای در دوام سازه دارد . اگر بر روی سطح میلگردها قشر بسیار نازک زنگ به صورت یکنواخت مشاهده شود ، استفاده از آنها در سازه بدون اشکال است ، زیرا این زنگ سبب افزایش پیوستگی بتن به آرماتور می شود ، از طرف دیگر ، خمیر سیمان به دلیل قلیایی بودن قادر است که این لایه را به قشر محافظ تبدیل کند . اما در صورتی که قشر زنگ بر روی میلگردها با ضخامت زیاد باشد ، نه تنها از قطر میلگردها کاسته می شود ، بلکه پیوستگی کاهش می یابد . از طرف دیگر بتن قادر نیست که قشر ضخیم زنگ را به لایه محافظ تبدیل کند . بخصوص اگر خوردگی از نوع حفره ای باشد ، تحمل تنش در محل حفره ها کاهش یافته و پایداری سازه بطور جدی در معرض خطر خواهد بود . انتخاب نوع سیمان نیز در دوام سازه اثر دارد . سیمان مصرفی باید قادر باشد تا در شرایط مختلف سازگار باشد و مقاومت و دوام مورد نظر را تأمین کند . اگر شرایط محیطی معمولی باشد ، می توان با انتخاب نوع سیمان به خواص مورد نظر دست یافت ، اما در شرایط سخت ، نیاز به اهرم های دیگر مانند کاهش نسبت آب به سیمان و استفاده از مواد افزودنی معدنی ( پوزولان ها ) و شیمیایی مناسب است . ترکیب  $C3A$  در سیمان نقش مهمی در تهاجم سولفاتها ، ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری و خوردگی آرماتور دارد . اما این ترکیب به تنهایی نمی تواند با تمام عوامل تهدید کننده دوام مقابله کند ، بخصوص آنکه شرایط محیطی بسیار سخت باشد ، به همین دلیل استفاده از یک سیستم دفاعی مانند پوزولان ها غیر قابل اجتناب است .

اما برای بهبود خواص و دوام بتن نباید بدون در نظر گرفتن نوع ، کیفیت و مقدار مناسب جایگزینی از پوزولان استفاده کرد . اگر ترکیبات و خواص پوزولان مورد نظر بررسی قرار نگیرد ، نتیجه حاصل ممکن است عکس نتیجه مورد چرخش جام تراک میکسر با سرعت مخلوط کن باید به ۱۰۰ دور محدود شود و چنانچه تعداد دور انتظار باشد .

## ملاحظات اجرایی در هوای گرم و مرطوب

انتقال بتن آماده توسط تراک میکسر در هوای گرم مشکلات خاصی را به همراه دارد. بر اساس ASTM C 94، در دمای معمولی (۲۰°C)، حداکثر تعداد چرخش جام تراک میکسر با سرعت مخلوط کن باید به ۱۰۰ دور محدود شود و چنانچه تعداد دور بیشتر لازم باشد، باید سرعت را به سرعت بهم زن کاهش داد. سرعت مخلوط کردن و بهم زدن متفاوت است. سرعت بهم زن معمولاً ۲ تا ۶ دور در دقیقه و سرعت مخلوط کن بین ۶ تا ۱۸ دور در دقیقه است. طبق ASTM C 94 باید قبل از ۱/۵ ساعت یا قبل از ۳۰۰ دور چرخش جام، بتن جاگذاری کرد. در ASTM 305 توصیه شد، که در هوای گرم تعداد چرخش جام و مدت چرخش محدود گردد، در غیر این صورت افت اسلامپ افزایش قابل توجهی می یابد. در صورت افت شدید اسلامپ، افزودن آب به مخلوط اجتناب ناپذیر می گردد و در نتیجه افزایش نسبت آب به سیمان، دوام بتن کاهش می یابد. یکی از مهمترین عوامل آسیب رسان بتن در هوای گرم، ترک خوردگی در اثر جمع شدگی خمیری است. سطوح بتن تازه در معرض تبخیر و افت آب مخلوط قرار می گیرند. میزان تبخیر تابع شرایط محیطی مانند دما، سرعت باد و رطوبت نسبی است. معمولاً کاهش آب ناشی از تبخیر با آب حاصل از آب انداختن جایگزین می گردد. اگر سرعت تبخیر بیشتر از سرعت آب انداختن باشد، در لایه سطحی بتن کاهش حجم ایجاد می شود. لایه زیرین بتن در مقابل کرنش حاصل از کاهش حجم، مقاومت می کند. قید ایجاد شده از لایه زیرین سبب ایجاد تنش های کششی در لایه سطحی شده و از آنجائی که مقاومت کششی بتن در سنین اولیه کم است، بتن ترک می خورد. بر اساس ASTM 305 چنانچه سرعت تبخیر بیشتر از ۱ کیلوگرم بر متر مربع بر ساعت باشد، احتمال ترک خوردگی افزایش می یابد. برای کاهش جمع شدگی خمیری موارد زیر توصیه می شود:

مرطوب کردن سنگدانه

نصب موقت باد شکن و سایه بان

کاهش دمای بتن تازه با سرد کردن سنگدانه ها و آب مخلوط

محافظت از سطح بتن با پوشش های موقت مانند ورق پلی اتیلن پس از جاگذاری بتن و عملیات پرداخت

تراکم مجدد بتن

در هنگام استفاده از دوده سیلیسی در بتن باید توجه داشت که چسبندگی این نوع بتن زیاد و در نتیجه عارضه آب انداختن در آن کمتر از بتن معمولی است. بنابراین احتمال ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری بیشتر است، بویژه اگر سرعت تبخیر آب زیاد باشد. در هنگام استفاده از دوده سیلیسی باید عمل آوری بلافاصله پس از بتن ریزی آغاز گردد.

اجرای صحیح مراحل مختلف پرداخت، در افزایش مقاومت سایشی و دوام لایه سطحی بتن نقش قابل توجهی دارد. از نظر دوام، ماله کشی با ماله باید قبل از مشاهده آب انداختن به اتمام برسد. بطور کلی، اگر هر مرحله از پرداخت در زمان آب انداختن اجرا شود، سبب پوسته شدن لایه سطحی بتن شده و مقاومت سایشی و دوام بتن کاهش می یابد. بنابراین ادامه عملیات پرداخت باید پس از تبخیر آب از سطح بتن صورت پذیرد. برای آنکه بتن مقاومت و دوام مورد نظر را کسب کند، عمل آوری باید به نحو مطلوب صورت پذیرد. روشهای مختلفی برای عمل آوری بتن مورد استفاده قرار می گیرند که می توان آنها را به دو گروه تقسیم کرد. در روش عمل آوری با آب، رطوبت اضافه به بتن اعمال و از افت رطوبت نیز جلوگیری می شود. برای اعمال آب بر سطح بتن از ایجاد حوضچه یا افشاندن و یا از پوشش های اشباع مانند چتایی خیس استفاده می شود. در روش عمل آوری عایقی، از افت بتن جلوگیری می شود. از ورق های پلاستیک و مواد شیمیایی غشایی می توان برای جلوگیری از کاهش رطوبت بتن استفاده کرد. قالبها نیز به صورت عایق عمل می کنند و مانع تبخیر آب بتن می شوند. بر اساس توصیه ASTM 305، د هوای گرم و خشک، قالب های چوبی نمی توانند از تبخیر آب جلوگیری کنند و در صورت استفاده از این نوع قالبها، باید آنها را با پوشش مناسب و مرطوب محافظت کرد.

به طور کلی در مواردی که بتن دارای نسبت کم آب به سیمان است و بخصوص از میکروسیلیس استفاده می شود ، روش عمل آوری با آب به عمل آوری عایقی ترجیح داده می شود زیرا در این نوع بتن ها امکان خود جمع شدگی وجود دارد و در نتیجه امکان ترک خوردگی افزایش می یابد . این عارضه بخصوص در هوای گرم بیشتر مشاهده می شود .

به طور کلی در شرایط محیطی و اقلیمی گرم و مهاجم ( از نظر موجود عناصر مخرب ) ، برای افزایش دوام سازه های بتن آرمه ، توصیه می شود موارد زیر در هنگام ساخت رعایت گردد :

۱. شستشوی مصالح سنگی برای کاهش مقدار رس و شیل
۲. وجود عناصر مخرب مانند کلریدها و سولفاتها در مصالح در حد مجاز طبق آئین نامه ها
۳. انتخاب نوع مناسب سیمان و مواد افزودنی معدنی و شیمیایی
۴. استفاده از میلگردهای بدون زنگ یا با زنگ بسیار کم
۵. سرد کردن مصالح مصرفی بتن بخصوص آب مخلوط
۶. کاهش زمان انتقال بتن برای جلوگیری از افت اسلامپ
۷. محافظت و عمل آوری مطلوب

علل و مرمت عیوب ایجاد شده در هنگام اجرا و ساخت در این قسمت، بر روی نقایص و خرابیهایی که در مراحل ساخت و یا بعد از آن در یک سازه به علت عدم دقت در مراحل کار و عدم پیش‌بینی‌های لازم بروز می‌کند به طور خلاصه اشاره می‌شود.

اشکالاتی مانند درزهای سرد و ترکهای ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک در این منطقه به علت دمای زیاد هوا و بر اثر وزش باد معمولترند. همچنین پوشش کم روی میلگرد و نیز عدم تراکم مطلوب بتن می‌تواند سبب نفوذ سریعتر رطوبت، اکسیژن و نمکها به داخل بتن شده و خوردگی میلگردها را در کوتاه مدت فراهم نماید.

#### ۴-۷-۱- انواع ترک‌های غیر سازه‌ای

ترکها و الگوی آنها می‌تواند مشخصات متفاوت آنها را بسته به مکانیزم شکل‌گیری ارائه دهد. انواع مختلف ترکها در زمانهای مختلفی از عمر بتن ظاهر می‌شوند و شکل و الگوی این ترکها و به خصوص زمان اولین پیدایش در تشخیص علت بروز آنها بسیار اهمیت دارد. اطلاعات نسبتاً جامعی در ACI224.1R در زمینه‌های عمومی ترکها و راهکارهایی برای جلوگیری از آنها ارائه شده است. این اطلاعات در جدول (۴-۱) فهرست بندی شده اند. سریعترین ترکها از لحاظ زمان پیدایش عبارت از ترکهای ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک و نیز ترکهای ناشی از نشست خمیری بتن است که معمولاً بعد از چند ساعت از زمان ریختن و جا دادن بتن، ظاهر می‌شوند.

نوع ترک	زمان پیدایش
حرکت و تکان خوردن میلگردها	ساعات اولیه
ترک خوردگی ناشی از نشست خمیری بتن	بین ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت بعد از ریختن
ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی پلاستیک	بین ۳۰ دقیقه تا ۶ ساعت بعد از جای دادن
ترکهای ناشی از انقباض حرارتی در کوتاه مدت	۱ روز تا ۲ یا ۳ هفته بعد از بتن ریزی
ترکهای ناشی از جمع شدگی در اثر خشک شدن در دراز مدت	بین چند هفته تا چند ماه بعد از بتن ریزی

جدول ۴-۱- انواع ترک خوردگیهای غیر سازه‌ای بتن و زمان بروز آنها

ترکهای ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک

در هنگام ریختن بتن، به علت اینکه هنوز خاصیت خمیری دارد، آب در آن به راحتی حرکت می‌کند. لذا مواد سنگین تمایل به ته‌نشینی دارند و لذا آب بیشتری نسبت به حالت یکنواخت بر روی مخلوط باقی می‌ماند. در دمای هوای بالا و بخصوص هنگام وزش باد، تبخیر شدیدی از سطح بتن صورت می‌گیرد. بر اثر این تبخیر لایه سطحی خشک شده و حجم آن کمتر می‌شود. این تغییر حجم در لایه سطحی باعث ایجاد تنش‌های کششی و گسترش آن در لایه سطحی شده و در حالی که بتن هنوز حالت خمیری و مقاومت خیلی کمی دارد، باعث ترک خوردگی می‌گردد. در صورتی که سرعت تبخیر بیش از ۱ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت باشد، احتمال ترک خوردگی کاملاً وجود دارد.

این نوع ترکها بین ۱ تا ۲ میلیمتر عرض و ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلیمتر طول و ۲ تا ۵۰ میلیمتر عمق دارند. معمولاً الگوی شکل گیری آنها تصادفی است ولی گاهی ممکن است جهت آنها در جهتی که بتن پرداخت شده است، تغییر کند. تشکیل این نوع ترکها در بتن، درحالی که هنوز خاصیت خمیری دارد، از میان خمیر خواهد بود. این نوع ترکها هم در سازه‌های بتنی مسلح و هم در سازه‌های بتنی غیر مسلح ایجاد می‌گردد.

ترکهای ناشی از نشست خمیری بتن

نوع دیگری از ترک خوردگی وجود دارد که ناشی از حرکت ذرات سنگدانه به سمت پایین و بالا آمدن ذرات سیمان به بالا و جایگزین شدن آن با سنگدانه‌ها در سطح است. حرکت رو به بالای آب می‌تواند باعث ترک خوردگی ناشی از نشست خمیری بتن شود. ته نشینی و حرکت مواد با وزن مخصوص بیشتر به سمت پایین با قید شبکه میلگردها و یا قالبها ممانعت می‌گردد. بتن خمیری می‌تواند با تشکیل قوسهایی روی هر میلگرد سطح را با کشش همراه کند. ترکهایی می‌تواند در ارتباط با فضاهای خالی و حفره‌های زیر میلگرد نیز تشکیل شود. هنگامی که میلگردها با فاصله کمی نسبت بهم قرار می‌گیرند، کل بتن روی آنها به صورت قوس درآمده و بتن زیر نشست می‌کند. این حالت می‌تواند سبب ایجاد جدایی و گسستگی زیر میلگردها گردد.

الگوی این ترک خوردگی معمولاً بستگی به مانعی که در برابر حرکت رو به پایین و ته نشست مواد ایجاد می‌شود، دارد. معمولترین قید و مانع توسط لایه‌های فوقانی شبکه میلگردها در دالها ایجاد می‌شود. ترکهای ایجاد شده و گسترش یافته در سطوح فوقانی ظاهر شده و معمولاً در امتداد میلگردها ادامه می‌یابند و گاه تشکیل خطوط موازی با هم در راستای میلگردها می‌دهند. البته گاهی ترکهای کوچکی نیز در جهت مخالف بوجود می‌آید. ترکهای ناشی از نشست خمیری معمولاً از سطح بتن تا میلگردها ادامه دارند و معمولاً حدود ۱ میلیمتر عرض دارند و گاهی می‌توانند عریض تر هم باشند.

برای جلوگیری از این ترک خوردگی، استفاده از دوده سیلیسی برای چسبندگی بیشتر مخلوط و نیز طرح مناسب دانه‌بندی، اختلاط و تراکم مجدد بتن، بعد از جایگذاری آن و قبل از گیرش نهایی بتن متداول است.

ترک خوردگی ناشی از انقباض حرارتی

عمل هیدراتاسیون بین آب و سیمان یک واکنش گرمازا می‌باشد، بدین معنی که تولید حرارت می‌کند. میزان حرارت تولید شده خصوصاً بستگی به نوع سیمان دارد. همچنین میزان حرارت بستگی به شرایط محیطی و نیز شکل هندسی اعضا و ابعاد آن، حتی نوع قالبها دارد. دمای بالای محیط، سرعت واکنش را افزایش می‌دهد. دالها که دارای سطح تماس زیادی با محیط هستند تبادل گرمایی بیشتری نسبت به عضوهای کوچکتر دارند. اجزایی که دارای ابعاد بزرگتری هستند گرمای بیشتری نسبت به مقاطع کوچکتر در آنها حبس می‌گردد، در حالی که مقاطع کوچکتر برای از دست دادن گرما آمادگی بیشتری دارند.

همچنین قالبهای چوبی در هنگام تبادل گرمایی با محیط، خاصیت عایق‌بندی حرارتی بیشتری نسبت به قالبهای فولادی دارند، لذا میزان بیشینه دما در قالبهای چوبی بالاتر می‌باشد.

به هر حال، وقتی که بتن بر اثر هیدراتاسیون گرم می‌شود، شروع به انبساط می‌کند. اگر هرگونه مقاومتی در برابر این انبساط صورت گیرد (برای مثال، از طرف قسمتهای ریخته شده قبلی) تنش‌های فشاری تولید می‌شود. بعد از رسیدن به دمای بیشینه، بتن شروع به سرد شدن می‌کند و حجمش کاهش می‌یابد. مقاومت در برابر این جمع‌شدگی باعث ایجاد تنش‌های کششی می‌شود. در

این مرحله که معمولاً چند روز بعد از ریختن بتن آغاز می‌شود، بتن مقاومت کمی داشته و هنوز آمادگی تحمل این تنشهای کششی را ندارد و لذا احتمال ترک خوردن در اثر جمع‌شدگی وجود دارد.

از انواع ترکهای حرارتی میتوان به ترکهایی اشاره کرد که در دیوارها و روی پی‌های نواری که از زمان ریختن آنها چند روز می‌گذرد، به وجود می‌آید. در این حالت، ترکهای عمودی از پایه دیوارها در وسط دیوار شروع می‌شود و از مقطع آن می‌گذرند و در کناره دیوار دارای یک زاویه ۴۵ درجه می‌شوند. عرض شکاف و عمق آن بستگی به میزان میلگردها دارد و معمولاً در روشهای طراحی کنترل حداقل میلگرد به منظور کنترل این ترکها صورت می‌گیرد.

ترکهای ناشی از جمع‌شدگی بر اثر خشک شدن در دراز مدت

معمولاً مقدار آب موجود در مخلوط بتن، بیشتر از آنچه که برای عمل هیدراتاسیون لازم است، می‌باشد. اگر بتن در شرایطی قرار گیرد که رطوبت نسبی محیط کم باشد، رطوبت بتن از طریق سطح کاهش می‌یابد. از دست رفتن رطوبت موجب کاهش حجم شده که به انقباض ناشی از خشک شدن تعبیر می‌گردد. اگر عمل انقباض و جمع شدن با قید خارجی یا داخلی روبرو شود، تنشهای کششی ایجاد شده، باعث ترک خوردن بتن خواهد شد. اجزای نازک و دارای سطوح بزرگ، مانند دال‌ها مستعد این نوع ترک خوردگی هستند. زمان پیدایش این ترک خوردگی بستگی به میزان خشک شدن که آن را هم شرایط محیط تعیین می‌کند، دارد. ولی معمولاً چندین ماه پس از ریختن بتن به وقوع می‌پیوندد و این ترک خوردگی در سطح بتن ظاهر می‌شود، زیرا خشک شدن از لایه سطحی صورت می‌گیرد.

خشک شدن لایه سطحی و کاهش حجم آن و مقاومت در برابر تغییر حجم توسط لایه‌های زیرین باعث ترک خوردن در لایه سطحی در دالها با سطوح بزرگ می‌شود. معمولاً در گوشه دالها اولین ترک‌ها ظاهر می‌شود، زیرا از ۳ طرف خشک شدن صورت می‌گیرد. الگوی مشخصی از ترکهای ناشی از جمع‌شدگی بر اثر خشک شدن وجود ندارد. عرض این ترکها نیز بستگی به میزان خشک شدن بتن، هندسه عضو و نیز فاصله بین قیدهای خارجی دارد. برای مثال، در دالهایی که بر روی زمین قرار می‌گیرند و یک بعد آن از بعد دیگر بزرگتر است، ترکها در قسمت میانی و به موازات بعد کوچکتر شکل می‌گیرند و ترکهایی نیز به طور مورب در گوشه‌ها ایجاد می‌شود. همچنین در دالهای یک طرفه یا دو طرفه نیز این وضعیت ایجاد می‌شود. ترکهایی در گوشه قسمت‌های خالی دال که مثلاً برای پله‌ها در نظر گرفته شده نیز به وجود می‌آیند.

۴-۷-۲- معایب در سطوح بر اثر اجرا

به طور کلی، سطوح بتنی نمایان می‌تواند ترک خوردگی‌ها و عیب‌های ناشی از مشکلات اجرایی را نشان دهند. گاهی ممکن است بعضی از این مشکلات بسیار به نظر رسد، اما در روند کلی و مسائل مربوط به دوام اثر چندانی نداشته باشند. گاهی نیز این ترک‌ها و عیبه‌ها در عین اینکه محدود هستند و به سختی به چشم می‌آیند قابلیت زیادی برای تخریب سازه در برابر مسائل مربوط به دوام دارا هستند. در جدول (۴-۲) تعدادی از این عیوب و علل احتمالی آنها ذکر شده است.

جدول ۴-۲- عیوب ظاهری بتن و دلایل آن

ردیف	نام نقص	تشریح نقص	دلایل نقص				
			طراحی قطعه یا عضو	قالب	شرایط اجرایی	خواص بتن تازه	
۱	لانه زنبوری یا کرمو شدن (Hony comb)	وجود سطح کرمو و عاری از ریزدانه و نمایان شدن ذرات درشت شن به خاطر جدایی مواد	شلوغی و جزئیات بد میلگردها، نازکی قطعه، شکل ناجور و پیچیده، وجود وصله پوششی در میلگرد	نشست در محل درز، خارج شدن شدید بتن شیره بتن کردن، گیرش سریع، شلوغی به خاطر وصله پوششی میلگردها	دمای زیاد، نزدیکی میلگرد به قالب یا پوشش کم روی میلگرد، مشکلات دسترسی برای ویبره کردن، گیرش سریع، شلوغی به خاطر وصله پوششی میلگردها	ریزدانه ناکافی و کم، کارآیی پایین و کم یا زیاد، سفت شدن زود هنگام، اختلاط بیش از حد، بزرگی زیاد سنگدانه برای قطعه مورد نظر	ارتفاع زیاد سقوط یا شره کردن بتن، حرکت افقی بیش از حد بتن در قالب، ارتفاع فرکانس کم ویبراتور، زمان کم فرو بردن ویبراتور، فاصله زیاد بین نقاط فرو بردن ویبراتور، نفوذ ناکافی، تعداد کم ویبراتور
۲	مک‌های سطحی (Air surface voids)	سوراخهای ریز جدا از هم و غیرمنظم تا قطر ۲۵ میلیمتر (آبله رو بودن)	نفوذناپذیری رویه قالب، ضعف در روغنکاری قالب، انعطاف‌پذیری زیاد قالب، استفاده از ماده نامناسب بعنوان ماده رها ساز (روغن قالب نامناسب)	زیادی ماده رها ساز (زیادی روغن قالب)، دمای زیاد بتن	مدول ریزی کم یا زیاد ماسه، کارآیی کم، مواد سیمانی زیاد، ماسه زیاد، زیاد بودن مقدار هوای بتن، کم سیمانی یا عیار کم، خرد شدن دانه‌ها و بهم خوردن دانه‌بندی	دامنه نوسان خیلی زیاد، لرزش ناکافی خارجی، فرو نرفتن سر ویبراتور به طور کامل	

۳	اثر قالب (قالب زدگی) (Form streaking)	نواحی شن یا ماسه فاقد سیمان، معمولاً همراه با رنگ تیره در مجاورت سطح	نشست از درزها ناشی از بتن داخل باز بودن درزها قالب	حرکت افقی	زیادی اسلامپ یا آب بتن	فاصله نامناسب بتن، جایدهی بتن و تراکم آن	دامنه نوسان و فرکانس زیاد ویبراتور برای قالب
۴	سنگدانه نمایی (پشت پیدایی سنگدانه) (Aggregate Transparency)	سطوح تیره یا روشن هم شکل و هم اندازه سنگدانه‌های درشت، ظاهر لکه‌دار	نعطاف پذیری زیاد، پرداخت بیش از حد سطح		ماسه کم بتن، دانه‌بندی ناپیوسته سنگدانه، خشک یا متخلخل بودن، زیادی شن، اسلامپ زیاد بتن		ویبره خارجی زیاد، ویبره زیاد بتن سبک
۵	ترک ناشی از نشست (Subsidence cracking)	ترکهایی با طول کم و عرض متغیر که غالباً بیشتر در سترسی افقی هستند نه قائم	عایق‌بندی حرارتی کم، شکل نامنظم مقید کننده نشست، جذب زیاد	فاصله زمانی ناکافی بین تکمیل ستون و دیوار با ریختن تیر و دال، رطوبت نسبی کم	ماسه کم بتن، آب زیاد بتن، اسلامپ خیلی زیاد، طرح اختلاط نامناسب	سرعت زیاد بتن ریزی	ویبره ناکافی و عدم بکارگیری ویبره مجدد
۶	تغییر رنگ (Color variation)	تغییرات در رنگ سطح بتن که ظرف چند ساعت پس از قالب برداری قابل مشاهده است	تغییر در ظرفیت جذب آب سطح قالب، واکنش شیمیایی با سطح قالب یا مواد رها ساز (روغن) قالب، نشست از درزها یا سوراخ کش قالب		عدم یکنواختی مصالح، عدم یکنواختی دانه‌بندی، تغییر در نسبت اختلاط بتن، اختلاط غیر یکنواخت در طول کار	جدایی مواد، اسلامپ خیلی زیاد، کاهش اسلامپ در بالای یک لیفت مرتفع	نزدیکی زیاد ویبراتور به قالب، ویبره متغیر در مجاورت قالب
۷	ماسه زدگی (اثر ماسه)	تغییر در رنگ یا سایه ناشی از جدا شدن	جذب کم، نشست از قالب، آب زیادی در	دمای کم بتن،	مخلوط کم عیار پر ماسه و	بتن ریزی خیلی سریع	ویبره زیاد، دامنه نوسان زیاد



		ذرات ماسه دراثر آب انداختن موازی با سطح قالب	کف قالب که به دلیل فشار هیدرولیکی در سطح قالب به بالا رانده می شود	مخلوطهای پر آب با مواد ریز کم (سیمان و ماسه ریز کم) و آب انداختن، حباب هوای کم	خشن و زیر، مخلوطهای پر آب با مواد ریز کم (سیمان و ماسه ریز کم) و آب انداختن، حباب هوای کم		(Sand streaking)	
	سرعت کم بتن ریزی، فقدان تجهیزات و نفرات در بتن ریزی	نواحی تیره رنگ بین لایه های بتن	برنامه ریزی ناکافی، دمای زیاد	مخلوط پر آب و مستعد آب انداختن	بتن ریزی، فقدان تجهیزات و نفرات در بتن ریزی		خطوط لایه (Layer lines)	۸
	فرو نبردن و بیراتور در لایه زیرین ناکافی	وجود حفرات، کرم بودن و تغییر رنگ در مرز لیفتها، عدم اتصال کافی لایه فوقانی به لایه زیرین	برنامه ریزی ضعیف، ندارک ناکافی تجهیزات، گرفتن لایه زیرین	خیلی خشک بودن مخلوط، گیرش زود هنگام و سفت شدن. کاهش شدید اسلامپ در طول کار	فرو نبردن و بیراتور در لایه زیرین، و بیره ناکافی	عدم فاصله کافی برای فرو کردن و بیراتور	درز سرد (Cold joints)	۹
	دامنه نوسان زیاد، فاصله غیر یکنواخت بین نقاط، فرو بردن و بیراتور، حرکت افقی بتن	خرابی سطح قالب (Form offset)	طراحی ضعیف قالب برای تحمل سرعت جایدهی بتن، سختی کم قالب و محکم نبستن آن	دیرگیری بیش از حد بتن	سرعت خیلی زیاد بتن ریزی	درز اجرایی در تغییر جهت قالب	بی نظمی و تغییر ناگهانی در سطح	۱۰

از طرف دیگر، یک سری مشکلات ساختاری نیز وجود دارد که با بررسی های سطحی مشهود نخواهند بود. به طور مثال میتوان اندازه کم پوشش بتنی روی میلگرد یا عمل آوری ضعیف را نام برد. هرچند در صورت پوشش کم بتن و محیط مساعد خوردگی، پس از مدتی در سطح بتن تغییرات رنگ ناشی از زنگ زدگی میلگردها مشاهده خواهد شد.

۴-۷-۳- راهکارهایی برای ترمیم عیوب به وجود آمده

نخستین قدم به منظور برطرف کردن نقصها و عیبهای به وجود آمده در سازه، سنجیدن علت و وسعت آن عیوب است. همچنین تأثیرات این عیوب بخصوص در دوام و بهره برداری سازه باید در مد نظر قرار گیرد. به طور خلاصه نکات مقدماتی در مواجهه با عیوب ایجاد شده در ساخت سازه های بتنی را می توان به ۴ گروه تقسیم نمود:

۱- بررسی و تحقیق در مورد مشکلات ایجاد شده

- ۲- مشخص نمودن اهمیت مشکل و عدم تطابق لازم با مشخصات فنی
- ۳- تصمیم در مورد عملیات ترمیمی مناسب
- ۴- جلوگیری از تکرار مشکل
- باید توجه داشت که همه انواع بتن پتانسیل ترک خوردگی را دارا می‌باشند. این تصور که بتن مسلح دچار ترک خوردگی نمی‌شود، ناشی از برداشت اشتباه از این ماده می‌باشد. امروزه در روشهای طراحی بر اساس دوام نیز امکان این ترک خوردگی در نظر گرفته می‌شود. ترک خوردگی ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک در سازه‌های اجرا شده در منطقه بعلت شرایط خاص آب و هوایی بسیار شایع است. بعضی از ترکها احتیاج به ترمیم در زمانهای اولیه دارند زیرا تا سطح میلگردها ادامه پیدا می‌کنند. به طور مثال، ترکهای ناشی از نشست خمیری از این نوع هستند. موضوع دیگری که باید در مد نظر قرار گیرد، تمایل این ترکها به گسترش یافتن است. امروزه انواع مواد ترمیم کننده در بازار وجود دارد که در شرایط مختلف و به منظورهای مختلف می‌توان آنها را به کار برد. قبل از مصرف این مواد باید از کارکرد آنها در شرایط محیطی مورد نظر اطمینان حاصل کرد. بسته به نوع ترکها ممکن است این مواد بر روی سطح پاشیده شود و یا لازم است درون ترکها تزریق شود. به طور معمول ترکهای با عمق بیش از ۲۰ میلیمتر لازم است توسط تزریق پر شوند. در صورتی که ترکها تمایل به گسترش دارند، باید در قسمتهای انتهایی آنها بتن را جدا کرد و سپس توسط یک پرکننده مناسب ترمیم نمود. در بعضی از این ترکها، مثلاً در ترکهای ناشی از نشست خمیری که با افزایش آب در سطح بتن همراه است، این ناحیه از بتن ضعیف خواهد بود که در این شرایط باید بتن ارزیابی شده و در صورت لزوم بتن روی میلگرد را برداشت سپس قالب‌بندی و بتن‌ریزی مجدد نمود. به هر حال انتخاب روش ترمیم مناسب به نوع ترکها و مشخصات و میزان تأثیر آن در بهره برداری بلند مدت از سازه و مقاومت آن در برابر هجوم عوامل مهاجم خورنده بستگی دارد. برای مشخص کردن بتن با دوام در برابر خوردگی میلگردها روش های مختلفی ارائه شده است که هر آزمایش و روش پیشنهادی به پارامتر معینی توجه دارد. آزمایش های بسیار ساده تا بسیار مشکل و پر هزینه در این مجموعه قرار دارد و معمولاً آزمایش های دقیق رتر و معتبر تر پر هزینه و زمان بر می باشند. دست اندر کاران همواره به دنبال آزمایش های ساده، کم هزینه و سریع هستند هر چند از دقت کمتری ممکن است برخوردار باشند. معمولاً آزمایش هایی معتبر تر تلقی میشوند ولی کاربرد آن ها در دنیا رواج زیادی دارد.
- آزمایش های غیر مستقیم همواره غیر معتبر تر تلقی میشوند ولی کاربرد آن ها در دنیا رواج زیادی دارد.
- آزمایش های زیر از جمله این موارد است و در هر بررسی باید مشخص کرد که از کدام آزمایش زیر بهره گرفته ایم.
- ۱- آزمایش جذب آب حجمی اولیه ۰/۵ ساعته یا بیشتر (کوتاه مدت) و نهایی ۲۴ ساعته یا بیشتر (دراز مدت) بتن طبق ASTM C 642 و BS1881 Part 122
- ۲- آزمایش جذب آب سطحی (ISAT) بتن طبق BS 1881
- ۳- آزمایش جذب آب موئینه بتن طبق RILEM
- ۴- آزمایش مقاومت الکتریکی بتن
- ۵- آزمایش نیم پیل (پتانسیل خوردگی) ASTM C 876
- ۶- آزمایش پتانسیل و شدت خوردگی (G 109) به روش گالوانیک
- ۷- آزمایش شدت خوردگی به روش گالوپالس
- ۸- آزمایش درجه نفوذ یون کلر بتن AASHTOT259
- ۹- آزمایش تعیین عمق نفوذ یون کلر در بتن
- ۱۰- آزمایش تعیین پروفیل یون کلر و ضریب نفوذ آن طبق C114 و C1218 و ASTM C1152
- ۱۱- آزمایش شاخص الکتریکی توانایی بتن برای مقابله با نفوذ یون کلر طبق ASTM 1202
- ۱۲- آزمایش نفوذپذیری آب تحت فشار طبق EN 12390-8 و DIN 1048 Part 5
- ۱۳- آزمایش نفوذپذیری هوا تحت فشار

هرچند عنوان برخی استانداردها و یا شماره آن در بالا ذکر شده است اما این آزمایش ها ممکن است با تغییرات اندک و یا زیاد در استانداردهای دیگر نیز انجام شود که نتیجه آن الزاماً مشابه به استانداردهای دیگر نیست و از مفهوم واحد برخوردار نمی باشد.

#### q آزمایش جذب آب حجمی اولیه کوتاه مدت و دراز مدت

انواع آزمایش جذب آب حجمی وجود دارد. شکل و ابعاد نمونه، طرز خشک کردن (دما و مدت)، نحوه قرارگیری در آب، دمای آب (معمولی و جوشان)، مدت قرار گرفتن در آب و نحوه گزارش نتیجه از موارد اختلاف استانداردهای مختلف می باشد. بسیاری از استانداردها برای کنترل کیفیت قطعات بتنی پیش ساخته از این آزمایش استفاده می نمایند. مکعبی  $10 \times 10$  و استوانه ای کوچک به قطر  $7/5$  تا  $10$  سانتی متر از اشکال و ابعاد رایج است. دمای خشک کردن نمونه ها از  $40$  تا  $110$  درجه متغیر می باشد. مدت خشک کردن از  $24$  ساعت (دمای  $110$ ) تا  $14$  روز (دمای  $40$  تا  $50$ ) پیش بینی شده است. در برخی استانداردها نحوه خاصی برای قرارگیری در آب و ارتفاع آب روی نمونه در نظر گرفته اند. دمای آب از  $20$  تا جوشانیدن آب منظور می شود. مدت قرارگیری در آب قرائت های مربوط به  $10$  دقیقه،  $30$  و  $60$  دقیقه تا بیش از سه روز می باشد. در اکثر استانداردها تعریف جذب آب حجمی نسبت وزن آب جذب شده به وزن نمونه خشک اولیه است. لازم به ذکر است اگر بخواهیم این ویژگی را در بتن های سبک با بتن معمولی مقایسه کنیم بهتر است نسبت حجم آب جذب شده به حجم نمونه را مد نظر قرار دهیم، به هر حال مقایسه نتایج جذب آب حاصله از آزمایش طبق استانداردهای مختلف کاملاً گمراه کننده است. برخی کتب، بتن ها را از نظر میزان جذب آب طبقه بندی می نمایند. بطور مثال گفته می شود جذب آب اولیه مربوط به  $30$  دقیقه طبق BS1881 بهتر است کمتر از  $2$  درصد باشد تا بتنی با دوام داشته باشیم. معمولاً گفته می شود جذب آب کوتاه مدت برای کنترل دوام بتن معتبر تر است زیرا خصوصیات سطحی بتن را به نمایش می گذارد.

آیین نامه پایایی ایران حداکثر جذب  $0/5$  ساعته بتن  $28$  روزه را طبق روش انگلیسی در شرایط مختلف جنوب کشور بین  $2$  تا  $4$  درصد داده است.

#### q جذب آب سطحی

این آزمایش عمدتاً در انگلیس کاربرد دارد و جذب یک جهته را در روی نمونه خاص در منطقه محدود اندازه گیری می نمایند. نوع خشک کردن اولیه بتن، زمان و وسایل مربوطه در این استاندارد مشخص شده است. این آزمایش عملاً در ایران کاربرد کمی دارد.

#### q جذب آب موئینه بتن

بسیاری معتقدند مکانیسم جذب آب بتن در مناطق مرطوب، جزر و مد و پاشش آب یا شالوده های واقع در منطقه خشک و بالای سطح آب با مکانیسم جذب موئینه شباهت دارد. Rilem آزمایش جذب آب موئینه را بر روی نمونه های مکعبی  $10$  سانتی متری بصورت زیر توصیه میشود.

نمونه ها در دمای  $40$  تا  $50$  در آون خشک می شوند سپس چنان در بالای سطح آب قرار می گیرد که  $5$  میلی متر آن داخل آب باشد. در زمان های مختلف و ترجیحاً پس از  $3$ ،  $6$ ،  $24$  و  $72$  ساعت وزن نمونه اندازه گیری و وزن آب جذب شده تعیین می شود. سپس وزن آب (حجم آب) بر سطح نمونه (حدود  $100 \text{ cm}^2$ ) تقسیم می گردد تا ارتفاع معادل آب جذب شده بدست آید.

برحسب میلی متر می باشد.

C ثابت جذب موئینه و S ضریب جذب موئینه است.

این مقادیر از برازاندن خطی بر نقاط بدست آمده در صفحه مختصات بدست می آید.

هر کدام از این پارامترها دارای مفهوم خاصی است ولی S اهمیت بیشتری دارد و آهنگ جذب را نشان می دهد و هر چه کمتر باشد بهتر است. در انتهای آزمایش گاه نمونه را شکسته و ارتفاع واقعی جذب آب را بطور متوسط بدست می آورند و برای این

منظور در آب ماده رنگی (مانند لاجورد) می ریزند. ارتفاع زیاد موئینه نشانه خوبی برای بتن نیست. در واقع بتن هایی که خلل و فرج ریزی دارند ممکن است ارتفاع موئینه زیادی داشته باشند و این نکته مهمی است که معمولاً در مفهوم نفوذ پذیری در برابر آب، خلل و فرج ریزتر مطلوب تر تلقی می شوند.

#### ۹ آزمایش مقاومت الکتریکی بتن

خوردگی پدیده الکترو شیمیائی است. عملاً میلگرد به صورت آند و بتن کاتد می شود و یک جریان الکتریکی بین میلگرد و سطح بتن بوجود می آید. مسلماً در این حالت تحرک یون ها را شاهد هستیم. هر چه این حرکت بیشتر و سهل تر انجام شود به مفهوم آنست که مقاومت در برابر تحرک یونی کمتر است و با هدایت الکتریکی بتن بیشتر می باشد. بنابراین باید گفت یکی از راه های ساده آزمایش دوام بتن، تعیین مقاومت ویژه الکتریکی آن می باشد. مقاومت الکتریکی بتن نیز مانند مقاومت هر جسم مرکب دیگر تابع اجزای آن و ارتباط اجزا با یکدیگر است. مقاومت الکتریکی سنگدانه ها و خمیر سیمان سخت شده و نسبت مقدار هر یک در بتن و هم چنین کیفیت وجه مشترک (ناحیه انتقالی) و مصرف افزودنی های پودری معدنی تأثیر زیادی در مقاومت الکتریکی بتن دارد. وجود رطوبت و اشباع بودن مقاومت الکتریکی را کم می کند. وجود ترک های ریز که با آب پر شود به شدت مقاومت الکتریکی را کاهش می دهد. حتی اگر به جای آب از محلول آب نمک یا آب دریا استفاده کنیم افت شدیدی در مقاومت الکتریکی مشاهده خواهیم نمود. بنابراین سعی می شود مقاومت الکتریکی بتن های اشباع با آب نمک یا آب دریا اندازه گیری شود. اندازه گیری مقاومت الکتریکی ساده است. کافی است دو صفحه برنجی یا مسی را کاملاً در تماس با سطح نمونه بتن قرار دهیم و با یک اهم متر مخصوص، مقاومت الکتریکی را بدست آوریم. اما این مقاومت الکتریکی باید بدون توجه به اثر ابعاد گزارش شود یعنی باید مقاومت ویژه الکتریکی تعیین و اعلام گردد تا بتوان آن را با سایر بتن ها مقایسه نمود. برای این منظور از رابطه زیر استفاده می شود

$R_C$  مقاومت ویژه الکتریکی بتن بر حسب اهم متر ،  $R$  مقاومت الکتریکی قرائت شده از دستگاه ،  $A$  سطح نمونه (سطح تماس صفحه برنجی با بتن) و  $L$  فاصله بین دو صفحه تماس (طول نمونه) می باشد.  
اعتقاد بر آن است که هرچه مقاومت ویژه الکتریکی بیشتر باشد بتن با دوام تر و مطلوب تری داریم.

مقاومت ویژه الکتریکی (اهم متر) بتن اشباع	نوع بتن از نظر دوام در برابر خوردگی
بیشتر از ۲۰۰	عالی
۱۲۰-۲۰۰	خوب
۵۰-۱۲۰	متوسط
کمتر از ۵۰	ضعیف

برای اتصال مناسب صفحه برنجی با بتن معمولاً لایه نازکی از خمیر سیمان نسبتاً شل را بکار می برند و صفحه را با فشار به خمیر سیمان و سطح بتن چسبانیده و اندازه گیری را به انجام می رسانند. می توان گفت هیچ آزمایشی به سادگی و اعتبار این آزمایش برای تعیین کیفیت بتن به ویژه از نظر تحرک یون کلر و  $OH$  در داخل بتن نمی باشد. اما جالب است بدانیم این آزمایش هنوز دارای دستورالعمل استاندارد نیست. هم چنین اختلاف نظر علمای بتن برای اندازه گیری  $R$  (مقاومت اهمی) و  $Z$  (مقاومت ظاهری) با در نظر گرفتن اثر القائی و خازنی) بحث برانگیز است. برخی اعتقاد دارند کافی است  $R$  را به سادگی اندازه گیری کنیم و برخی معتقدند که در بتن اثر خازنی وجود دارد و باید وسایلی را بکار برد که بتواند  $Z$  را مشخص نماید (به ویژه در بتن های میکروسیلیس دار)، برخی نیز معتقدند که تفاوت چندانی بین  $Z$  و  $R$  عملاً وجود ندارد. امید است در آینده بتوان برای کنترل دوام بتن از این آزمایش سریع و کم هزینه استفاده نمود و باید دانست الزاماً مقاومت فشاری بیشتر به معنای مقاومت ویژه الکتریکی نمی باشد. بتن های حاوی میکروسیلیس بسته به میزان میکروسیلیس، مقاومت الکتریکی ۳ تا ۱۰ برابر مقاومت الکتریکی بتن

مشابه ولی بدون میکروسلیس را دارا است در حالی که مقاومت فشاری بتن ممکن است فقط ۵ تا ۱۵ درصد افزایش یابد. البته باید گفت اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی بتن سخت شده داخل قطعه کار دشواری است. اگر میلگرد و بتن را مانند یک مدار برقی در نظر بگیریم اختلاف پتانسیل، مقاومت و شدت جریان در آن وجود دارد. بدیهی است هر چه مقاومت الکتریکی بیشتر شود شدت جریان کمتر می گردد و شدت خوردگی نیز کم می شود. ضمن این که مقاومت الکتریکی بیشتر، آغاز خوردگی را به تأخیر می اندازد. برخی اعتقاد دارند باید مقاومت الکتریکی بتن سطحی (پوشش روی میلگرد) را اندازه گیری کرد که منطقی بنظر می رسد.

#### q آزمایش نیم پیل (Half Cell)

همان گونه که گفته شد واقعاً یک جریان الکتریکی در بتن مسلح وجود دارد. پس باید بتوان آن را اندازه گیری نمود. اگر یک سر سیم را به میلگرد وصل کنیم و سر دیگر سیم را به کمک یک الکتروود به سطح بتن مرطوب بچسبانیم و در این فاصله ولت متری را قرار دهیم، اختلاف پتانسیل را بر صفحه دستگاه مشاهده می نماییم که در حدود چند ده تا چند صد میلی ولت است. بسته به نوع الکتروود مصرفی، ولتاژ قرائت شده متفاوت خواهد بود و قابل تبدیل به یکدیگر می باشند، آزمایش نیم پیل دارای دستور العمل استاندارد برای کارگاه می باشد اما دستور استاندارد آزمایشگاهی ندارد. در کارگاه ASTM الکتروود مس - سولفات مس را توصیه کرده است و در آزمایشگاه معمولاً از الکتروود کالومل اشباع استفاده میشود. در این حالت حدود ۷۵ میلی ولت باید به نتایج اضافه کرد تا ولتاژ معادل الکتروود مس - سولفات مس بدست آید.

ASTM C876 شروع فعالیت خوردگی را به صورت احتمالی و شرح ذیل مشخص کرده است.

احتمال شروع فعالیت خوردگی	اختلاف پتانسیل V با الکتروود مس - سولفات مس (mv)
بیش از ۹۰ درصد	$V > 350$
حدود ۵۰ درصد	$350 > V > 200$
کمتر از ۱۰ درصد	$200 > V$

در این آزمایش باید میلگردها تداوم داشته باشند و قطع در آن ها باعث اختلال در نتایج می گردد. باید دانست که این آزمایش فقط اختلاف پتانسیل موجود را به دست می دهد که پتانسیل خوردگی نام دارد و به هیچ وجه آهنگ خوردگی یا میزان خوردگی میلگرد را به نمایش نمی گذارد. در آزمایش های آزمایشگاهی معمولاً میلگردی را داخل یک استوانه بتنی قرار می دهند و بخش عمده ای از بتن را در داخل آب دریا یا آب نمک (با غلظت های متفاوت) می گذارند و یک سر سیم را به میلگرد خارج از آب و الکتروود را داخل آب دریا یا آب نمک قرار می دهند و ولتاژ را قرائت می کنند. این آزمایش مستقیماً کیفیت بتن را بدست نمی دهد فقط می توان کیفیت بتن را در مقایسه با یکدیگر ارزیابی کرد و نشان داد کدام نمونه زودتر و کدام یک دیرتر فعالیت خوردگی را آغاز می نمایند. آزمایش نیم پیل و ارقام ذکر شده فقط برای میلگردهای بدون پوشش (گالوانیزه، اپوکسی و...) کاربرد و مفهوم دارند و برای میلگردهای پوشش دار و وضعیت متفاوت خواهد بود.

#### q آزمایش پتانسیل و شدت خوردگی گالوانیکی (ASTM G109)

هر چند دستور آزمایشگاهی فوق به صورت استاندارد برای تعیین تأثیر افزودنی ها بر خوردگی میلگرد ارائه شده است اما این آزمایش را با تغییرات خاص می توان برای تعیین کیفیت دوام بتن نیز به خوبی بکار برد. در یک منشور بتنی دو ردیف میلگرد در بالا و پائین قرار داده می شود که سر و ته آن ها ماریچ شده است و بین آن ها یک مقاومت ۱۰۰ اهمی قرار دارد. در بالای منشور یک حوضچه چسبانیده می شود و داخل آن با آب نمک (غلظت ۳ درصد و بیشتر) می ریزیم. نفوذ آب نمک باعث آند شدن میلگرد فوقانی و کاتد شدن میلگرد تحتانی می شود و خوردگی گالوانیکی رخ می دهد. بین دو میلگرد می توان اختلاف پتانسیل و مقاومت الکتریکی را بدست آورد (با وجود مقاومت ۱۰۰ اهمی یا بدون آن) هم چنین می توان اختلاف پتانسیل و مقاومت الکتریکی بین

حوضچه و میلگرد فوقانی (بدون مقاومت ۱۰۰ اهمی) و مانند آن اختلاف پتانسیل و مقاومت الکتریکی بین حوضچه و میلگرد تحتانی را تعیین نمود. برای این کار از الکتروود کالومل اشباع در داخل حوضچه استفاده می گردد. ضمن این که هر اندازه گیری حاوی مفهوم خاصی است اما دستور استاندارد ASTM G109 فقط در هر زمان شدت جریان عبوری بین میلگردها را با توجه به وجود مقاومت ۱۰۰ اهمی بر حسب mA بدست می آورد (از تقسیم اختلاف پتانسیل به مقاومت) و سپس مقدار کل جریان بر حسب کولن با عنایت به رابطه زیر بدست می آید. از تقسیم شدت جریان به سطح جانبی میلگرد نیز شدت خوردگی بر حسب mA/Cm2 حاصل می شود. بالا بودن شدت خوردگی و هم چنین کل جریان می تواند نشان دهنده کیفیت پائین بتن باشد. آزمایش G109 در اصل از یک بتن فاقد ریز دانه بهره می گیرد که بسیار نفوذ پذیر است (مانند آبکش سوراخ می باشد) و لذا اطراف نمونه با اپوکسی اندود میگردد. در حالی که در آزمایش تغییر یافته، بتن مورد نظر طبق طرح اختلاط پروژه ساخته می شود و می توان از اپوکسی برای اندود کردن سطوح جانبی بهره گرفت و یا بدون اپوکسی آزمایش را به انجام رساند. به هر حال این آزمایش قابلیت های زیادی را برای به نمایش گذاردن کیفیت بتن در امر خوردگی دارد و تفسیر نتایج آن هم جالب و مشکل می باشد.

#### ۹ آزمایش پتانسیل و شدت خوردگی به روش گالوپالس

در این آزمایش نیز نمونه هایی شبیه به آزمایش نیم پیل تهیه میشود و یا می توان در محل کارگاه بر روی قطعات موجود این آزمایش را انجام داد. ضمن تعیین اختلاف پتانسیل خوردگی، افزایش های جزئی در پتانسیل ایجاد شده و شدت جریان مربوطه اندازه گیری می شود. در این آزمایش مقاومت الکتریکی نیز بدست می آید و با توجه به روابط موجود شدت خوردگی (آهنگ خوردگی) میلگردها تعیین می گردد. این آزمایش بسیار مهم و معتبر می باشد اما انجام آن مشکل و نتیجه گیری از آن نیاز به تبحر و تخصص دارد.

#### ۹ آزمایش تعیین عمق نفوذ یون کلر

در این آزمایش نمونه هایی که در معرض یون کلر بوده اند (آزمایشگاهی یا کارگاهی) را بریده و مقطع را در معرض پاشش محلول نیترات نقره قرار می دهند. پس از مدتی محل حاوی یون کلر سفید شیری شده و با گذشت زمان سیاه می شود و می توان عمق نفوذ یون کلر را با دقت کمتر از ۰/۲ میلی متر اندازه گیری نمود. مسلماً در این آزمایش باید نمونه های اولیه تقریباً فاقد یون کلر باشند و یا میزان آن از آستانه حساسیت عملکرد محلول نیترات نقره کمتر باشد یا بتوان نفوذ یون کلر را مشاهده نمود. در این آزمایش مقادیر یون کلر در بتن بدست نمی آید. پروفیل یون کلر و ضریب نفوذ آن قابل تعیین نیست.

#### ۹ آزمایش تعیین پروفیل یون کلر و تعیین ضریب نفوذ

این آزمایش یکی از مهمترین و مشکل ترین آزمایش های موجود است که به تعیین پروفیل یون کلر و ضریب نفوذ آن می انجامد. وقتی نمونه ای در آزمایشگاه یا محل و هم چنین قطعه بتنی در محل در معرض یون کلر به ویژه در مدت طولانی قرار گیرد می توان این آزمایش را با دقت خوب انجام داد. برای این منظور در زمان معین و مورد نظر، پودر نمونه بتنی که مربوط به عمق معینی است تهیه شده و مقدار یون کلر موجود در بتن طبق ASTM C114 تعیین می شود. برای تهیه پودر بتن و آماده سازی آن از دستور ASTM C1152 (یون کلر محلول در اسید) و یا ASTM C1218 (یون کلر محلول در آب) استفاده میشود. در این آزمایش از روش پتانسیو متری برای تیتراژ کردن با محلول نیترات نقره استفاده می شود. این روش بسیار دقیق است و تا کنون روش دیگری با این دقت ابداع نشده است. معمولاً نتیجه این آزمایش به صورت درصد یون کلر در بتن و یا درصد یون کلر بتن نسبت به وزن سیمان گزارش می گردد. محدودیت یون کلر در بتن اولیه و یا گزارش یون کلر بتن قدیمی، به صورت درصد نسبت به وزن سیمان بیان می شود و باید مشخص گردد طبق کدام روش (محلول در اسید یا محلول در آب) انجام شده است. براساس نتیجه حاصله، پروفیل یون کلر رسم می گردد. محور افقی عمق نمونه (متوسط) و محور قائم درصد یون کلر است. با توجه به نتایج حاصله و میزان یون کلر اولیه در بتن طبق قانون دوم Fick، می توان ضریب نفوذپذیری (انتشار) بتن در برابر یون کلر را بدست آورد (Diffusivity Coefficient). این ضریب با دیمانسیون L2/T بیان میشود. حل معادلات مربوط به قانون دوم

فیک با تقریب ها و روش های خاص انجام می شود که نتایج متفاوتی را بدست می دهد. افزایش ضریب انتشار نشانه نفوذپذیری بیشتر بتن در برابر یون کلر است.

#### q آزمایش درجه نفوذ (مقاومت) بتن در برابر یون کلر

طبق AASHTO T259 که یکی از قدیمی ترین روش های آزمایش مربوط به نفوذ یون کلر می باشد صرفاً مقاومت و درجه نفوذ در برابر یون کلر بدست می آید و نمی تواند معیار کمی برای عمر مفید بهره برداری از قطعه را ارائه دهد. نمونه های بتن چهار دال به ابعاد  $305 \times 305$  میلی متر و ضخامت ۷۶ میلی متر است در این روش بالای نمونه های بتنی پس از ۲۸ روز (یا هر سن مورد نظر) در حدود ۳ میلی متر سائیده شده و یک حوضچه کوچک روی آن قرار می گیرد. نمونه ها ۱۴ روز در محیط مرطوب نگهداری و ۱۴ روز خشک شده است و سن ۲۸ روزه دارند. در حوضچه محلول نمک طعام ۳ درصد ریخته و ۹۰ روز در آن می ماند. پس از ۹۰ روز، دال ها خشک شده و نمک روی آن پاک می شود. از دال ها سه نمونه بایستی از عمق های  $1/4$  تا ۱۳ میلی متر و ۱۳ تا ۲۵ میلی متر تهیه شود و طبق AASHTO T260 مقدار یون کلر آن بدست آید. مقدار متوسط یون کلر در هر عمق مورد نظر باید تعیین شود (قبل از نفوذ یون کلر و پس از آن). اختلاف این دو باید محاسبه شود. مقدار متوسط یون کلر جذب شده و حداکثر آن باید گزارش گردد.

#### q آزمایش شاخص الکتریکی قابلیت مقابله بتن در برابر نفوذ یون کلر

در آزمایش ASTM C1202 مقدار جریان الکتریکی عبوری از استوانه ها با مغزه های بتنی به قطر ۱۰۲ میلی متر و ضخامت ۵۱ میلی متر در مدت ۶ ساعت با اختلاف پتانسیل ثابت ۶۰ ولت (جریان مستقیم) بدست می آید. یک نمونه در محلول نمک طعام و دیگری در سود سوز آور قرار دارد. مقدار کل جریان بر حسب کولمب نمایانگر مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر است و به صورت زیر طبقه بندی می شود.

نفوذ پذیری بتن در برابر یون کلر	جریان عبوری (کولمب)
زیاد	بیش تر از ۴۰۰۰
متوسط	۲۰۰۰-۴۰۰۰
کم	۱۰۰۰-۲۰۰۰
خیلی کم	۱۰۰-۱۰۰۰
ناچیز	کمتر از ۱۰۰

در آیین نامه پایایی ایران حداکثر مقدار جریان بسته به شرایط حاکم بر محیط ۲۰۰۰-۳۰۰۰ کولمب داده شده است.

#### q نفوذ آب تحت فشار

در این روش نمونه مکعبی به مدت معینی تحت فشار معین در معرض نفوذ آب قرار می گیرد و سپس مقدار نفوذ آب بر حسب میلی متر در بتن خشک پس از شکستن آن بدست می آید. روش آلمانی و اروپایی تفاوت های مختصری با یکدیگر دارند. آیین نامه پایایی ایران حداکثر نفوذ آب را در شرایط محیطی مختلف جنوب کشور ۵۰-۱۰ میلی متر داده است.

#### q نفوذ هوا تحت فشار

در این آزمایش نمونه استوانه ای با قطر و ارتفاع مشخص تحت فشار هوا یا گازهای خاص قرار می گیرد و میزان نفوذ این گازها اندازه گیری می شود و ضریب نفوذپذیری بدست می آید. به جای هوا یا گاز از نفوذ جیوه نیز در بتن بهره گیری می شود. این آزمایش ها به وسایل خاصی احتیاج دارد و در ایران رایج نیست. در پایان همان گونه که دیده می شود آزمایش های متعددی برای کنترل دوام بتن به ویژه در برابر یون کلر ابداع شده است که بخشی از آن ها در ایران رایج تر می باشد. آزمایش های دیگری نیز

در کشورهای مختلف دنیا مانند ژاپن و کشورهای اسکاندیناوی وجود دارد و هنوز این آزمایش ها در مراحل گسترش و توسعه هستند. از جمله مشکلات کار این است که هنوز ارتباط دقیقی بین نتایج آزمایش ها و بحث خوردگی بدست نیامده است تا بتوان عمر قطعه را تعیین کرد. ضریب نفوذ یون کلر و یا آزمایش های شدت خوردگی از همه آزمایش ها کاربردی تر هستند و می توان بر اساس آن ها عمر را تخمین زد. با این حال خوردگی نیاز به سه عنصر یون کلر، رطوبت و اکسیژن دارد و وجود هر کدام به تنهایی نمی تواند خوردگی در میلگرد بتن بوجود آورد. برخی معتقدند قلیائیت بتن نیز در شروع خوردگی موثر است که منطقی به نظر می رسد بنابراین با نتایجی که از این آزمایش ها بدست می آید نمی توان دقیقاً دوام را تخمین زد. توصیه می شود تا دستیابی به پیشرفت های علمی بیشتر در این زمینه از ضوابط آئین نامه ای استفاده گردد. سعی شده است نرم افزارهایی برای تخمین عمر سازه های بتن مسلح تهیه شود که در آن ها اطلاعات جغرافیایی و محیطی وجود دارد و با دادن اطلاعاتی در مورد قطعه، میلگرد و بتن موجود (خصوصیات بتن شامل نوع سیمان، نسبت آب به سیمان، عیار سیمان و افزودنی ها) بتوان عمر سازه را حدس زد. در ایران نیز اقداماتی برای تهیه این نرم افزار با توجه به شرایط محیطی موجود و اطلاعات دیگر محلی و داده های لازم در حال انجام است و سعی می شود نقایص نرم افزارهای قبلی اصلاح گردد.

عوامل موثر در خوردگی و نکات اجرایی برای پیشگیری از خوردگی زودرس میلگردها :

همانطور که می دانیم زمان شروع خوردگی و سن تخریب بتن ناشی از خوردگی میلگردها به عوامل مختلفی بستگی دارد که اهم آنها در زیر ملاحظه می گردد :

- ۱- نفوذ پذیری بتن در برابر نفوذ یون کلر ( بویژه بتن سطحی در منطقه پوشش روی میلگردها )
  - ۲- ضخامت بتن روی میلگردها
  - ۳- وجود درزها و ترکها در سطح بتن روی میلگردها
  - ۴- نوع میلگردها و شرایط سطحی آن
  - ۵- پوشش سطحی روی بتن
  - ۶- پوشش حفاظتی روی میلگردها
  - ۷- شرایط محیطی ( دما ، اکسیژن ، رطوبت ، میزان یون کلر ، وزش باد، تر و خشکی کلر و ... )
  - ۸- وجود یون کلر در بتن اولیه و مصالح مصرفی
- در اجرای یک قطعه بتنی می توان به نحوی عمل نمود که از خوردگی زودرس میلگردها جلوگیری کرد و به عبارتی شروع خوردگی را به تأخیر انداخت و شدت ( آهنگ ) خوردگی را کند نمود . همچنین با انجام برخی اقدامات ممکنست باعث تسریع در خوردگی و کاهش زمان شروع فعالیت خوردگی شد .
- بندهای ۱ تا ۴ می تواند تحت تأثیر نوع اجراء و دقت های مربوط به آن قرار گیرد که بدان می پردازیم.
- ۹ عوامل نفوذ پذیری بتن در برابر یون کلر :

ابتدا باید دانست که نفوذ پذیری بتن دارای مفاهیم مختلفی است . نفوذ پذیری در برابر آب و مایعات مختلف ، نفوذ پذیری در برابر هوا و نفوذ پذیری در برابر یون کلر از جمله این نفوذ پذیریهاست که هر چند در ارتباط و وابسته به یکدیگر هستند اما الزاماً هم سو و منطبق بر یکدیگر نمی باشند . طبیعتاً هدف ما کاهش نفوذ پذیری بتن در برابر یون کلر و تا حدودی هوا و آب می باشد . نفوذ پذیری بتن بواسطه حفرات و لوله های ریز موجود در خمیر سیمان آن می باشد . هر چند نفوذ از طریق سنگدانه ها نیز امکان پذیر است اما عمدتاً نفوذ از طریق خمیر سیمان و وجه مشترک خمیر سیمان و سنگدانه ( ناحیه انتقالی ) صورت می پذیرد . نفوذ پذیری یون کلر و یون های مختلف کمی متفاوت است و به تحرک یونی وابسته می باشد و صرفاً به تخلخل و خطرات موجود ( مقدار و اندازه آنها ) وابستگی ندارد .

نفوذ پذیری خمیر سیمان و بتن و وجه مشترک خمیر و سنگدانه عمدتاً به عوامل زیر بستگی دارد .

الف : نسبت آب به سیمان



ب : عیار سیمان ( نسبت سنگدانه به سیمان )

ج- اسلامپ و شلی بتن ( بدون افزودنی )

د: حداکثر اندازه سنگدانه و بافت دانه بندی سنگدانه ها ، مواد ریز دانه سنگدانه ها

ز : بافت سطحی سنگدانه ها و شکل آنها

م : نوع سنگدانه و تخلخل آن

و : حباب هوای عمدی در خمیر سیمان

هـ: پوزولانها ، سرباره ها و میکرو سیلیس

ح : نوع سیمان ( ترکیبات اصلی و ۰۰۰۰ )

ط : سن بتن و خمیر سیمان

ی : عمل آوری

ک : دمای بتن و ملات در هنگام ریختن آن و گیرش

ل : دمای بتن و ملات در هنگام نگهداری و عمل آوری

ن : نوع پرداخت سطح بتن و آب انداختن

س : گیرش سیمان و کار کردن با آن

ع : مصرف افزودنیهای مختلف

برخی از عوامل فوق مربوط به طراحی و انتخاب نوع و مقادیر مصالح مصرفی بستگی دارد و برخی نیز تا حدودی به نوع اجزاء، مربوط میشود .

الف ( نسبت آب به سیمان :

عامل بسیار مهمی در نفوذ پذیری بتن و ملات و خمیر سیمان است و با افزایش آن ، نفوذ پذیری به شدت بالا میرود . آئین نامه ها محدودیت هائی را برای مناطق خورنده قائل میشوند که رعایت آنها لازم میباشد . برای بتن داخل آب دریا (کاملاً مغروق) حداکثر نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ و برای بتن هائی که در ناحیه جذر و مد ، پاشش آب دریا و بالای سطح آب تا صدها متر بیرون آب ( در ساحل ) قرار دارند نسبت آب به سیمان باید کمتر از ۰/۴ باشد . هر چند باید گفت رعایت این موضوع صرفاً بتن مطلوبی را بدست نمی دهد اما شرط بسیار مهمی است از طرفی ممکنست بتن نفوذ ناپذیر و خوبی را بتوان با نسبت آب به سیمان بیشتر نیز بدست آورد اما بهتر است ضوابط فوق مد نظر قرار گیرد. تغییر در نسبت آب به سیمان در حین ساخت و اختلاط همواره امکان پذیر است . عدم رعایت آن نا آگاهانه صورت می گیرد و این امر بواسطه وجود رطوبت در سنگدانه ها و عدم دقت در تنظیم و اصلاح آب بتن حاصل میشود . در طرحهای اختلاط باید مقدار آب کل و یا آب آزاد و آب سنگدانه ها تا حد اشباع با سطح خشک مشخص گردد تا بتوان در هنگام ساخت با بدست آوردن رطوبت سنگدانه و کسر آن از آب کل ، آب مصرفی برای ساخت ( اختلاط ) بتن را تعیین کنیم تا در نهایت نسبت آب به سیمان طرح اختلاط را مراعات کرده باشیم . اگر در طرح اختلاط اسلامپ بتن با در نظر گرفتن همه موارد منجمله نسبت آب به سیمان ، عیار سیمان ، مقدار دقیق سنگدانه ها و افزودنی ها مشخص شده باشد ( که حتماً باید این طور باشد ) در هنگام ساخت باید سعی نمود اسلامپ بتن فراتر از مقدار پیش بینی شده نگردد . با فرض اینکه سایر اجزاء و مصالح بتن با دقت توزین یا پیمانانه شده باشد ، افزایش اسلامپ نشانه مصرف آب بیش از حد است . لذا کنترل اسلامپ یک کنترل سریع برای نسبت آب به سیمان می باشد . امروزه بکارگیری وسایل رطوبت سنج در دستگاههای بتن ساز مرکزی و تصحیح مقادیر سنگدانه مصرفی و آب اختلاط کمک موثری در کنترل نسبت آب به سیمان و کاهش نوسانات مقاومتی و دوام ( نفوذپذیری ) می باشد . در برخی پروژه ها بدلیل کاهش اسلامپ در طول حمل و نقل و یا تبخیر آب از بتن ، نیاز به افزایش آب بتن وجود دارد . این کار باید با کنترل خاص انجام شود و بهتر است افزایش آب در طول حمل و یا در هنگام بتن ریزی ممنوع گردد زیرا کاهش اسلامپ ممکنست بدلیل شروع گیرش یا افزایش مدت حمل ( بدون تبخیر ) حاصل شده باشد و افزایش

آب موجب افزایش شدید نسبت آب به سیمان خواهد شد. یک نسبت ناپسند، افزایش آب به بتن در هنگام ریختن بتن در قیف مخزن ورودی پمپ بتن است. این امر همواره به افزایش نسبت آب به سیمان منجر می شود. اگر قرار است بتن بوسیله پمپ و با اسلامپ بالاتری حمل شود بهتر است در طرح اختلاط، اسلامپ مورد نیاز را منظور کرد و در کارگاه از آن تخطی ننمود.

وقتی بحث از نسبت آب به سیمان به میان می آید نسبت آب آزاد (موثر) به کل مواد سیمانی و چسبنده در نظر گرفته می شود لذا وجود انواع پوزولانها، سرباره ها، میکروسیلیس و مواد معدنی ریز دانه که در چسبندگی نقش ایفا می کنند باید بعنوان بخشی از سیمان در مخرج کسر نسبت آب به سیمان منظور گردد. برخی به غلط مقدار آب کل بتن را به سیمان (مواد سیمانی) تقسیم می کنند و بعنوان نسبت آب به سیمان مطرح می نمایند که کاملاً غلط می باشد.

ب) عیار سیمان :

افزایش عیار سیمان تا حدودی می تواند به کاهش نفوذپذیری منجر شود اما همواره عامل مثبتی بشمار نمی آید. افزایش شدید عیار سیمان (افزایش نسبت سیمان به سنگدانه یا کاهش نسبت سنگدانه به سیمان) میتواند به جمع شدگی بیشتر و ایجاد ترک یا موی ترکها منجر گردد. به همین دلیل آئین نامه ها حداقل و حداکثر عیار سیمان بتن را مشخص کرده اند. در آئین نامه بتن ایران برای مناطق ساحلی جنوب کشور حداقل ۳۵۰ و حداکثر ۴۵۰ کیلوگرم سیمان در متر مکعب بتن را مجاز شمرده است. محافظه کاری بیش از حد و تأکید بر مصرف سیمان بیشتر در این شرایط ابداً توصیه نمی شود. در برخی کشورها حداقل سیمان را ۴۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب بتن دانسته اند. توصیه می شود بویژه وقتی از موادی مانند میکروسیلیس استفاده می شود مجموع عیار سیمان و میکروسیلیس محدود تر گردد (مثلاً ۴۲۵ در نظر گرفته شود) تا کنترل بیشتری بر جمع شدگی اعمال شود. زیادی عیار سیمان گاه به حبس گرما در مغز بتن های ضخیم منجر می گردد و تنش حرارتی بوجود می آورد ضمن اینکه کیفیت بتن از نظر نفوذ پذیری در مغز بتن کاهش می یابد. لذا کنترل عیار سیمان از این نظر نیز اهمیت دارد.

اصولاً کاهش عیار سیمان (کاهش نسبت سیمان به سنگدانه) به نحوی که نسبت آب به سیمان و روانی مورد نظر تأمین گردد موجب بهبود کیفی بتن خواهد بود.

ج) اسلامپ و روانی بتن :

برای بتن ریزی با توجه به نوع قطعه، انبوهی میلگردها و قدرت و نوع وسایل تراکمی و همچنین وسایل حمل و سایر محدودیت های فنی مانند جدا شدگی، آب انداختن، جمع شدگی و غیره روانی خاصی را برای بتن در نظر می گیرند. افزایش روانی بر کیفیت مقاومتی و دوام و نفوذ پذیری بتن ها اثر منفی باقی می گذارد. افزایش جدا شدگی، آب انداختن و جمع شدگی از جمله نتایج افزایش اسلامپ و روانی بتن می باشد مشروط بر اینکه این روانی صرفاً با آب تأمین شود. محدود کردن اسلامپ بتن به ۷۵ تا ۱۰۰ میلی متر در این مناطق خورنده توصیه می شود مگر اینکه مواد روان کننده در آنها بکار رود که در این حالت می توان اسلامپ های بیشتر را بکار برد. بهر حال تجربیات موجود نشان می دهد روانی زیاد باعث نفوذ پذیری بتن در برابر یون کلر می باشد.

د) حداکثر اندازه سنگدانه ها و بافت دانه بندی آن و مواد ریزدانه سنگدانه :

تجربیات نشان میدهد که با بالا رفتن حداکثر اندازه سنگدانه ها بدلیل ایجاد ضعف در ناحیه انتقالی و ایجاد قیدکم در برابر جمع شدگی خمیر سیمان نفوذپذیری بتن بیشتر میشود. توصیه میشود حداکثر اندازه سنگدانه ها از ۴۰ میلی متر بیشتر نشود. بهر حال اغلب آئین نامه ها محدودیت خاصی را عنوان نموده اند. خوشبختانه اکثراً از حداکثر اندازه ۲۰ تا ۲۵ میلی متر استفاده می گردد که کاملاً مطلوب می باشد. درشت بودن بافت دانه بندی و پائین تر بودن منحنی دانه بندی مخلوط سنگدانه ها موجب میشود قید داخلی بتن کمتر شود و خمیر سیمان بیشتر جمع شده و دارای ترک گردد. وجود سنگدانه های ریز بیشتر بویژه ذرات ریزتر از ۰/۶ میلی متر میتواند نفوذپذیری بتن را (بویژه در برابر آب) کاهش دهد. افزایش دفعات شستشوی سنگدانه ها بویژه ریزدانه (ماسه) و بالا بردن مقدار نتیجه معادل (ارزش) ماسه به هیچ وجه توصیه نمی گردد و لازمست ماسه های ریز در مخلوط بتن حضور داشته باشند که به افزایش مقاومت، صرفه جویی در مصرف سیمان، افزایش کارایی در کنار کاهش اسلامپ و همچنین افزایش

نفوذ ناپذیری بتن منجر میشود. امروزه در آئین نامه های معتبر محدودیتی برای معادل ماسه (SE) وجود ندارد و صرفاً درصد گذشته از الک ۷۵٪ میلی متر به شرط رسی نبودن ملاک رد یا قبول سنگدانه های ریز و درشت می باشد. در سنگدانه های شکسته اجازه داده میشود در اثر گذشته از الک شماره ۲۰۰ بیشتر شود.

برخی از ریز شدن بافت دانه بندی مخلوط سنگدانه های بتن واهمه دارند و آن را موجب کاهش مقاومت می دانند در حالیکه در همه بتن ها این امر صادق نیست و بویژه وقتی عیار سیمان زیاد باشد بافت ریزتر به افزایش مقاومت نیز منجر می گردد .  
وقتی عیار سیمان زیاد میشود حداکثر اندازه کوچکتر و بافت دانه بندی ریزتر مناسب تر می باشد ( از نظر مقاومت و دوام )  
( هـ ) شکل و بافت سطحی سنگدانه ها :

شکل (گردگوشگی و تیزگوشگی) سنگدانه ها و بافت سطحی (صافی و زبری) آن نیز می تواند بر نفوذپذیری بتن اثر گذارد. درگیری بیشتر خمیر سیمان با سنگدانه ها (بویژه درشت دانه ) و بهبود ناحیه انتقالی می تواند به افزایش مقاومت و دوام بتن منجر گردد. سنگدانه درشت نیمه شکسته یا شکسته با سطح زبر توصیه میشود هر چند آئین نامه های معتبر در این مورد توصیه و محدودیت خاص را عنوان ننموده اند. بهر حال وجود گل و لای چسبیده به سطح سنگدانه ها ( بویژه درشت دانه ) می تواند تاثیر بدی بر مقاومت و دوام بتن باقی گذارد .

( و ) نوع سنگدانه و تخلخل آن ( ظرفیت جذب آب ) :

سنگدانه های پر تخلخل و پوک قاعدتاً آب بیشتری را در درون خود جای میدهند و جذب می کنند . البته میزان ظرفیت جذب آب به نوع حفرات و ارتباط آنها با یکدیگر بستگی دارد. سنگدانه های سبک وزن با چگالی کم معمولاً دارای جذب آب زیادی هستند که گاه بیش از ۳۰ درصد می رسد در حالیکه سنگدانه های معمولی از جذب آب کمتر از ۱ درصد تا کمتر از ۵ درصد برخوردار هستند . با این حال علیرغم ادعای نفوذ پذیرتر بودن بتن حاوی سنگدانه های سبک یا دارای جذب آب زیاد ، هنوز این مسئله ثابت نشده است و حتی در مورد سبکدانه ها عکس این مدعا نیز مشاهده می شود .

در برخی از آئین نامه های موجود ( مانند آبا ) حداکثر ظرفیت جذب آب سنگدانه های بتن برای مناطق خورنده محدود شده است . حداکثر ۲/۵ درصد برای درشت دانه ها و ۳ درصد برای ریز دانه ها در آبا پیش بینی میشود . بهر حال ضمن توصیه برای بکارگیری این محدودیت باید گفت این محدودیت را نباید اجباری کرد زیرا در بکارگیری سنگدانه ها بویژه بواسطه محدودیت معادن ، مشکل جدی بوجود می آید و کاهش دوام به این دلیل نیز قطعی نمی باشد .  
( ز ) پوزولانها ، سر باره ها ، میکرو سیلیس :

وجود مواد معدنی پودری ریز که نقش چسباننده دارند میتوانند به نفوذ ناپذیری خمیر سیمان و بتن کمک نمایند . برخی اعتقاد دارند که نفوذ پذیری خمیر سیمان کاهش می یابد و برخی بر این عقیده اند که کیفیت ناحیه انتقالی بهبود می یابد و باعث می شود نفوذ پذیری بتن کم شود در حالیکه نفوذ پذیری خمیر سیمان کاهش نیافته است . هر چند در نحوه و مکانیسم نفوذ نا پذیری بتن حاوی پوزولانی و سر باره ها اختلاف نظر وجود دارد اما نتیجه امر نفوذ نا پذیری خواهد بود .

پوزولانها و میکروسیلیس با آهک موجود در خمیر سیمان ترکیب میشود و ژل چسباننده می دهد و تا حدودی از قلیائیت محیط بتن می کاهد اما ساختار ریزی بوجود می آمد و سر باره های کوره ذوب آهن در مجاورت آهک با آب ترکیب می شود و باعث چسبندگی می گردد . برای تأثیر مناسب لازم است پوزولان مصرفی بیش از ۲۵ درصد وزن سیمان باشد و سر باره ها باید درصد قابل توجهی از سیمان را تشکیل دهد که برخی استانداردها میزان سر باره را تا حدود ۷۰ درصد مناسب می دانند . بهر حال میزان سر باره بهتر است از حدود ۳۵ درصد وزن سیمان بیشتر باشد . سیمانهای پرتلند پوزولانی ایران ۵ تا ۱۵ درصد پوزولان دارند و نمیتواند تأثیر جدی را در این رابطه بوجود آورد . بدیهی است سیمانهای پرتلند پوزولانی ویژه با ۱۵ تا ۴۰ درصد پوزولان موثرتر واقع خواهد شد . میکرو سیلیس به میزان ۷ تا ۱۲ درصد وزن سیمان میتواند تأثیر مثبتی را بر نفوذ نا پذیری بتن داشته باشد . بویژه دنفوذ پذیری در برابر یون کلر با مصرف میکرو سیلیس به شدت کاهش می یابد که برخی اعتقاد دارند که میکرو سیلیس تحرک یون کلر را کاهش می دهد و از این نظر بمراتب بهتر از سایر پوزولانها و سر باره هاست . مصرف میکرو سیلیس بمیزان بالاتر

علاوه بر ایجاد هزینه زیاد ( قیمت میکرو سیلیس و فوق روان کننده مورد نیاز ) ممکن است تأثیر مثبتی را ایجاد نکند بلکه باعث افزایش نفوذ پذیری نیز باشد (افزایش جمع شدگی و کاهش قلیائیت محیط بتن ) .مقاومت الکتریکی بتن حاوی میکروسیلیس به مراتب بالاتر از بتن های مشابه و بدون میکروسیلیس می باشد و این امر نشانه خوبی برای دوام و نفوذ ناپذیری بیشتر در برابر یون کلر است .بکارگیری میکروسیلیس بدون فوق روان کننده ها میتواند باعث افت کیفی مقاومتی و دوام بتن گردد زیرا میکرو سیلیس توزیع مناسبی را در خمیر سیمان نخواهد داشت و ممکن است ترک خوردگی و نفوذپذیری بیشتری را نیز بوجود آورد . لذا از این نظر توصیه میشود میکرو سیلیس بصورت دوغاب به بتن اضافه شود . برای این کار لازم است فوق روان کننده به همراه بخشی از آب و همه میکروسیلیس به خوبی با یک همزن با دور بالا مخلوط شود و دوغاب مورد نظر بدست آید .

ح ( حباب هوای عمدی :

بتن های حباب دار ( Air Entrained Con.) معمولا نفوذ پذیری کمتری در مقایسه با بتن های معمولی مشابه دارند زیرا حباب های ریز ایجاد شده ، موئینگی ها را تنگ یا قطع و مسدود می نماید . میزان نفوذ آب و جذب آب را کم می کند و دوام در برابر نفوذ کلیه عوامل مضر شیمیایی را بهبود می بخشد . میزان مناسب حباب و ریزی آن نقش عمده ای در این رابطه دارد و باید از ایجاد حباب مورد نیاز و فاصله حباب ها در بتن مطمئن شد . خنکی بتن و هوا دقت در ساخت این نوع بتن می تواند کمک موثری بر کیفیت و دوام آن داشته باشد .

ط ( نوع سیمان :

تجربیات متعدد نشان می دهد که نوع سیمان تاثیر قابل ملاحظه ای بر نفوذ یون کلر در خمیر سیمان و بتن دارد . قبلا تصور میشد که برای محیط های حاوی وین سولفات و یون کلر قابل ملاحظه ، سیمان نوع ۵ مناسب تر است در حالیکه تجربیات و تحقیقات نشان داد در این گونه محیط ها سیمان نوع ۲ بهتر از سیمان نوع ۵ می باشد . سیمانهای که C3A کمی دارند باعث تحرک بیشتر یون کلر و نفوذ آن خواهند شد . سیمان نوع ۵ معمولا کمتر از ۵ درصد C3A دارد ، در حالیکه سیمان نوع ۲ ، بیشتر از ۵ درصد و کمتر از ۸ درصد مطلوبتر است . بهر حال سیمان نوع ۱ با مقادیر C3A بیشتر از ۸ و تا حدود ۱۵ درصد کاملاً مضر می باشد و بتن آسیب پذیر خواهد بود . در مورد سیمان های مخلوط ( آمیخته ) قبلاً بحث شد . در سیمان های آمیخته معمولا کلینکر سیمان پرتلند نوع ۱ بکار می رود . بدیهی است اگر کلینکر سیمان نوع ۲ بکار رود محدودیت هائی که ذکر شد مرتفع میگردد . برخی معتقدند که وجود مقداری پوزولان به همراه سیمان نوع ۲ کیفیت آنرا از نظر دوام در برابر سولفاتها و نفوذ یون کلر چندان بهبود نمی بخشد . در استانداردهای موجود دنیا ( بویژه ASTM و ایران ) برای سیمان نوع ۲ حداقل C3A مشخص نشده است که امیدواریم در آینده حداقل ۵ درصد C3A نیز قید گردد تا وقتی سیمان نوع ۲ در مناطق جنوبی کشور توصیه می گردد با مشکل مواجه نشویم .

ی ( سن بتن و خمیر سیمان :

هر چه از عمر خمیر سیمان بگذرد بشرط وجود رطوبت ، هیدراسیون پیشرفت کرده و ژل بیشتری تولید می شود و نفوذ پذیری بتن ( خمیر سیمان ) کم می شود . بدیهی است نفوذ پذیری در برابر یون کلر نیز کاهش می یابد بنابراین هر چقدر بتن را دیرتر رو یا رو با محیط کلردار قرار دهیم بهتر است اما باید دانست از نظر اجرائی بهر حال دیر یل زود باید این محدودیت را مرتفع نمود و افزایش مدت ، هزینه ها را بیشتر کرده و مشکلات اجرائی بوجود می آورد . افزایش سن بهر حال تأثیر مثبت خود را خواهد داشت .

ک ( نگهداری و عمل آوری بتن ( Cnring ) :

همانگونه که در بخش قبلی اشاره شد پیشرفت هیدراسیون و تشکیل ژل و پر شدن فضای موجود توسط این مواد ، نفوذ پذیری را کاهش می دهد. پیشرفت هیدراسیون نیازمند وجود رطوبت و دمای مناسب ( بالاتر از ۵0C ) می باشد . این دما معمولا در سواحل جنوبی کشور فراهم است . محیط مورد نظر معمولا دارای رطوبت مناسبی است و در اکثر روزها درصد متوسط رطوبت نسبی محیط از ۵۰ درصد بیشتر می باشد . وجود تابش آفتاب شدید و وزش باد میتواند عمل آوری مناسب را با مشکل مواجه سازد لذا

لازم است ضمن فراهم آوردن محیط مرطوب و بدون تابش آفتاب و وزش باد بویژه در روزهای اولیه ، پیشرفت مطلوبی از هیدراسیون را باعث شویم . لازم به ذکر است که در روزهای بعد نیز با توجه به شرایط محیطی ، پیشرفت هیدراسیون قابل توجهی را شاهد خواهیم بود که موجب کاهش نفوذ پذیری می گردد .

ل ( دمای بتن در هنگام عمل آوری :

همانطور که در بالا ذکر شد افزایش دما مانند هر واکنش دیگر سرعت واکنش هیدراسیون سیمان را بالا می برد و مسلماً در سنین پائین تر درجه هیدراسیون بیشتری را خواهیم داشت . بنابراین به نظر می رسد بالا بردن دمای نگهداری و عمل آوری بتن می تواند موجب کاهش نفوذ پذیری شود . باید گفت هرچند در سنین اولیه چنین امری صحیح است اما در دراز مدت و در مقایسه با بتن عمل آوری شده در دمای کمتر ، نفوذ پذیری بتن بیشتر خواهد بود . بهرحال گاه شرایط ساخت ایجاب می کند که مقاومت بیشتری را در زمان کوتاهی بدست آوریم اما باید بدانیم در دراز مدت افزایش نفوذ پذیری را بدنبال دارد . حاصل تجربیات موجود محدود کردن دمای عمل آوری در آئین نامه های اروپائی است . توجه می شود در بتن های بدون پوزولان و سرباره ، دمای بتن در عمل آوری به  $55^{\circ}\text{C}$  و دمای بخار در محیط به  $65^{\circ}\text{C}$  محدود گردد . در بتن های حاوی پوزولان و سرباره می توان از این مقادیر تجاوز نمود .

م ( دمای بتن در هنگام ریختن و گیرش آن :

مسلماً هر چه دمای بتن به هنگام ریختن و تا زمان گیرش بیشتر باشد گیرش زودتر حاصل می شود و مقاومت بیشتری در زمان کوتاه تر حاصل می گردد . تجربه نشان میدهد که نفوذ پذیری بتنی که با دمای بیشتر ریخته شده است بیشتر از بتنی است که در دمای کمتر ریخته و خود را گرفته است . برای این امر دلائل مختلفی ارائه شده است که عمدتاً به رشد بلورهای هیدرات حاصل از هیدراسیون در دمای بالا اشاره دارند و نفوذ پذیری بیشتر را باعث می شود . اغلب آئین نامه های معتبر دنیا دمای بتن را در هنگام ریختن و تا زمان گیرش محدود می نمایند . این محدودیت بسته به نوع آئین نامه  $28$  تا  $32$  درجه سانتی گراد است . آبا در تجدید نظر اول دمای  $30$  را به  $32^{\circ}\text{C}$  تبدیل نموده است . در محیط های گرم سواحل جنوبی کشور ، دمای بتن ساخته شده در اغلب روزهای سال بویژه در ساعات گرم روز بیش از  $30$  درجه است و تا هنگام ریختن و گیرش معمولاً بیش از  $32$  درجه میباشد که امری مردود است و متأسفانه رایج می باشد .

ن ( گیرش سیمان و کارکردن با آن :

بهرحال دیر یا زود خمیر سیمان ( بتن ) در شرایط محیطی سرد یا گرم دچار گیرش میشود زیرا هیدراسیون در حال انجام است و مسلماً در هوای گرم ، بتن خیلی سریعتر می گیرد . کار کردن با بتنی که به مرحله گیرش اولیه رسیده است میتواند آثار سوئی از قبیل کاهش مقاومت و دوام و افزایش نفوذپذیری را بدنبال داشته باشد . همانگونه که اگر با ملات گچ زنده کار کنیم و آن را ورز دهیم مقاومت و دوام آن کاهش می یابد و خمیر سیمان نیز به همین صورت خواهد بود . در هوای گرم بسیار اتفاق می افتد که بتن به مرحله گیرش اولیه برسد که مسلماً بمراتب سفت تر از حالت ابتدائی می شود . بهمزدن بتن در این حالت کمی شلی بوجود می آورد و مصرف کنندگان غالباً به این حربه متوسل می شوند . بدتر از آن وقتی است که برای شل کردن بتن در این هنگام به آن آب اضافه می کنیم و نسبت آب به سیمان را هم بالا می بریم و خسارت را دو چندان می کنیم . ساخت بتن بصورت خنک ، استفاده از سیمانهای کندگیرتر ، مصرف افزودنیهای کندگیر ، بکارگیری عیارسیمان کمتر و ... می تواند زمان گیرش را طولانی تر کند . بهر حال تسریع در عملیات حمل و نقل ، ریختن ، تراکم می تواند باعث شود به مرز گیرش اولیه بتن نرسیم و نفوذ ناپذیری بتن تضمین گردد .

س ( پرداخت سطح بتن و آب انداختن :

در پرداخت سطح بتن مشکل اصلی آب انداختن آن می باشد . آب انداختن یا رو زدن آب ، نسبت آب به سیمان بخشهای فوقانی را افزایش می دهد . پرداخت سریع سطح بتن قبل از آب انداختن و همچنین پرداخت سطح بتن بلافاصله پس از آب انداختن موجب می شود یک لایه ضعیف و با نسبت آب به سیمان بالا و شدیداً نفوذ پذیر را در سطح بتن داشته باشیم . نفوذ یون کلر و حمله

مواد مضر و مزاحم همواره از سطح بتن آغاز می شود و به عمق می رسد. اگر این بخش سطحی بویژه تا نزدیکی میلگرد نفوذ پذیر و ضعیف باشد زمان شروع خوردگی زودتر آغاز می شود و آهنگ خوردگی نیز سریعتر میگردد. بنابراین باید سعی شود پس از ایجاد پدیده آب انداختن، اجازه دهیم آب رو زده تبخیر شود و یا زدوده گردد و سپس با ماله چوبی و نهایتاً در صورت لزوم با ماله فلزی یا لاستیکی سطح را پرداخت و لیسه ای نمائیم. لیسه ای کردن صحیح و بدون افزایش آب به سطح بتن و یا بدون اضافه کردن پودر سیمان به آب رو زده می توان لایه ای نازک اما نفوذ ناپذیرتر از سایر قسمتهای داخلی را بوجود آورد و مانع نفوذ راحت و سریع مواد مضر بویژه یون کلر گردد.

ع) مصرف افزودنیهای مختلف شیمیایی و الیاف:

در بخشهای قبلی با علل مصرف افزودنیها به اجمال و در پرده بحث های مربوط به عوامل موثر بر نفوذ پذیری بتن آشنا شدیم. مصرف مواد روان کننده، کندگیر کننده، زودگیر کننده، آب بند کننده و نم بند کننده، منبسط کننده، حبابزا، مواد پلیمری معمولاً در کشور ما مشاهده می شود. مصرف مواد ضد خوردگی نیز به تازگی آغاز شده است. هر چند الیاف را افزودنی قلمداد نمی نمائیم اما بهر حال در این بخش به اثر آنها بر بتن می پردازیم. مواد روان کننده ممکن است برای افزایش کارائی و یا کاهش نسبت آب به سیمان وثابت نگهداشتن کارائی یا ترکیبی از این دو بکار رود که حسب نوع استفاده گاه به این مواد کاهش دهنده (تقلیل دهنده) آب بتن نیز می گویند. مصرف این مواد برای ساخت بتن هایی با نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴۵ و حتی کمتر از ۰/۴ تقریباً الزامی است و باید از این مواد بصورت صحیح استفاده نمود. جایگاه مصرف مواد کندگیر کننده نیز قبلاً تشریح شد که معمولاً در مناطق گرم و یا قطعات ضخیم (بتن حجیم و نیمه حجیم) و همچنین در بتن ریزی زیر آب با لوله ترمی بکار گیری آنها مطلوب و اکثراً الزامی است. خوشبختانه اغلب روان کننده ها، کندگیر نیز می باشند و مصرف مواد روان کننده کندگیر می تواند در ساخت بتن سهولت بوجود آورد. مواد زودگیر کننده در هوای سرد بعنوان ضد یخ بکار می رود. در هوای گرم معمولاً کمتر بکار می رود اما ممکن است به دلالی نیاز به گیرش سریعتر و یا افزایش مقاومت زود هنگام داشته باشیم. بهر حال مصرف مواد زود گیر کننده در هوای گرم باید در قطعات نسبتاً نازک و با احتیاط انجام شود.

مواد آب بند کننده و نم بند کننده اغلب می تواند باعث کاهش نفوذ پذیری بویژه در برابر آب گردد اما باید دانست همانگونه که هر ماده آب بند الزاماً نم بند نیست. این گونه مواد الزاماً باعث کاهش نفوذ یون کلر نمی گردند و باید آزمایشهای مخصوصی بر روی آنها انجام داد که معمولاً بر هزینه و وقت گیر است لذا باید موادی را مصرف کرد که قبلاً در کاهش نفوذ یون کلر عملاً موثر بوده اند و امتحان خود را پس داده اند. مواد منبسط کننده (انبساط زا) اغلب در کارهای تعمیراتی و یا تزریق ملات و دوغاب به زیر صفحه کف ستون و یا محلهای مشابه بکار می رود. بهر حال در اغلب اوقات این مواد ممکن است اثر مثبتی را بر کاهش نفوذ یون کلر داشته باشند اما همواره نمیتوان چنین انتظاری را از این مواد داشت. اغلب مواد انبساط زا که در ایران مصرف می شود پایه پودر آلومینیوم را دارند و حباب و گاز تولید می کنند که انبساط جزئی در بتن بوجود می آورند. در هوای گرم ممکن است حباب ها بزرگ شده و از بین بروند و نتیجه مثبتی از نظر انبساط و کاهش نفوذ پذیری عملاً بدست نیاید. مصرف مواد انبساط زا با پایه اکسید آهن خشک (بدون آب) می تواند در این شرایط مثرتر باشد. در مورد ایجاد حباب عمدی با حبابزها قبلاً بحث شد و اثر آنها روشن گردید بهر حال لازم به ذکر است که مصرف این مواد در هوای گرم با مشکل همراه است و گاه اثر مثبت حاصل نمی گردد و نتایج منفی نیز ممکن است ببار بیاورد لذا باید همواره از بتن خنک تر از ۲۵ و در هوای خنک از این مواد استفاده کرد تا نتیجه مناسب حاصل گردد. مواد پلیمری مانند لاتکس اکریلیکی یا SBR ( بوتادین استیرین ) و یا مواد مشابه در داخل بتن می تواند به آب بندی و نم بندی منجر شود همچنین معمولاً این مواد مانند نفوذ یون کلر نیز می گردند اما مصرف آنها هزینه گزافی را به پروژه تحمیل می کند لذا از این مواد بصورت محدود و در مناطق کم وسعت و تعمیرات استفاده میشود. مواد ضد خوردگی می تواند در داخل بتن مصرف شود. مصرف این مواد امروزه به تدریج گسترش می یابد برخی نمکها مانند نیتريت کلسیم امروزه کاربرد وسیعی یافته است. این مواد شروع خوردگی را به تاخیر انداخته و آهنگ خوردگی را کند

می کنند . در ایران هنوز مصرف این مواد رایج نشده است.اطلاعات کمی در مورد اثر مصرف الیاف در بتن از نظر ایجاد دوام در برابر خوردگی وجود دارد . الیاف پلیمری و الیاف فولادی از الیاف پر مصرف هستند . وجود این الیاف معمولاً" ترکهای ناشی از جمع شدگی را به حداقل می رساند لذا می توان انتظار داشت که نفوذ پذیری بتن نیز کاهش یابد هر چند بهبودی در کیفیت خمیر سیمان بوجود نمی آورد . برخی الیاف فولادی را یک نوع قربانی برای میلگردهای مدفون در بتن منظور و محسوب می نمایند . بهر حال مصرف الیاف در ایران بمنظور مقابله با نفوذ یون کلر و جلوگیری از خوردگی زودرس توسعه نیافته است و مستلزم تحقیقات وسیعتری می باشد .

#### q ضخامت (پوشش) بتن روی میلگردها :

مواد مضر بویژه یون کلر برای رسیدن به میلگردها باید از پوشش بتنی روی آن بگذرد . تجربه نشان داده است که زمان رسیدن یون کلر به میلگردها تابع توانی از ضخامت است ( مثلاً" مجذور ضخامت ) بنابراین اگر مثلاً" ضخامت پوشش دو برابر شود زمان شروع خوردگی ۴ برابر می گردد . مدل‌های مختلفی برای این امر ارائه شده است که معمولاً" شباهت های عمده ای دارند . در اجرا باید سعی شود پوشش مورد نظر ایجاد شود . آئین نامه های معتبر در محیط های خورنده پوشش های ۵۰ تا ۹۰ میلی متر را برای قطعات مختلف توصیه کرده اند . افزایش ضخامت پوشش روی میلگردها بویژه در قطعات خمشی می تواند موجب ترک خوردگی شود اما چاره خاصی تا کنون برای این امر اندیشیده نشده است . برای ایجاد این پوشش گاه لقمه و خرک استفاده میشود . لقمه باید با دوام بوده و نفوذ ناپذیری مناسبی در برابر یون کلر داشته باشد . ترجیحاً" بکارگیری لقمه های بتنی با نسبت آب به سیمان مساوی یا کمتر از بتن اصلی توصیه می شود . استفاده از لقمه های پلاستیکی نیز کاربرد و سیعی یافته است هر چند برخی از علماء تکنولوژی بتن با استفاده از این لقمه ها مخالفند و مشاهدات آنها حاکی از تأثیر منفی این نوع لقمه بر خوردگی میلگردها می باشد اما آئین نامه ها منعی را در این رابطه قید ننموده اند . یکی از مشکلات عمده اجرائی وجود سیم آراماتوربندی در پوشش بتنی روی میلگردهاست که موجب تسریع در شروع خوردگی میگردد . توصیه می شود سر سیم در بخش داخلی بتن قرار گیرد . استفاده از قطعات مدفون فولادی نیز مشابه میلگردهاست . اگر مجبور شویم این قطعات را در قسمتهای سطحی قرار دهیم باید آنها را در برابر خوردگی محفوظ نمائیم . حفاظت میلگرد بتن در برابر خوردگی عمدتاً" بدلیل قرار گیری در محیط قلیائی و با PH بیشتر از ۱۱/۲ و تا حدود ۱۳ می باشد . بنابراین محیط قلیائی بتن بهترین محافظ است . معمولاً" خوردگی در قطعات مدفون که قسمت خارج از بتن دارند در منطقه مرز مشترک سطح بتن و قطعه فولادی ( میلگرد ) اتفاق می افتد و گسترش می یابد .

#### q ترکهای سطحی بتن و درزها :

ترکهای سطحی بتن بدلائل مختلف ایجاد می شود . علت عمده ترکهای سطحی جمع شدگی بتن بدلیل تبخیر ، گیرش یا کمبود رطوبت می باشد . بتن هائی با جمع شدگی زیاد مستعد ترک خوردگی هستند بویژه اگر میلگردهای موجود نتواند جلوی ترک خوردگی را بگیرد . استعداد جمع شدگی بتن دلایل مختلفی دارد که قبلاً" بدان اشاره شده است اما عامل تبخیر و یا کاهش رطوبت در زمان گیرش و یا پس از کسب مقاومت میتواند به ترتیب به جمع شدگی خمیری ، جمع شدگی خود به خود و جمع شدگی ناشی از خشک شدگی منجر گردد . کاهش دمای بتن ، کاهش دمای هوا ، کاهش سرعت وزش باد و افزایش رطوبت نسبی محیط ، کاهش تابش آفتاب میتواند به کاهش تبخیر و ترک خوردگی مربوط به جمع شدگی خمیری ناشی از آن منجر شود . شروع نگهداری رطوبتی در اسرع وقت نیز عامل موثری در کاهش ترکهاست . توصیه می شود پس از ایجاد ترکها و تا زمانی که هنوز بتن کاملاً" خود را نگرفته است با اعمال فشار و ضربه توسط ماله ترکها را مجدداً" ببندیم . برخی اوقات ترکها در اثر عدم تعبیه درزهای کنترل ( انقباض ) و یا درزهای انبساط و حتی عدم تعبیه درزهای اجرائی در محل صحیح حاصل می گردد . نفوذ یون کلر از محل ترکها و درزهائی که بخوبی اجرا نشده اند براحتی انجام می شود و به زمان زیادی نیاز ندارد و لذا شروع خوردگی بسیار زود هنگام خواهد بود . معمولاً" از محل های نفوذ یون کلر ، درزهای اجرائی بد اجرا شده و همچنین درز سرد که در اثر اجراء غلط حاصل می شود می باشد . محل درز اجرائی باید آماده سازی و زبر شود ، سپس اشباع با سطح خشک گردد و با ریختن بتن یا

ملاط مناسب واسطه ( بویژه در سطوح افقی ) بتن ریزی ادامه یابد . عدم اجراء صحیح می تواند درز اجرائی را به محل مناسبی برای نفوذ یون کلر تبدیل نماید . درز سرد ( Cold Joint ) وقتی حاصل می گردد که در هنگام بتن ریزی ، لایه زیرین ( قبلی ) دچار گیرش شده باشد . این اتفاق معمولاً در شرایط هوای گرم به وفور مشاهده می شود . زمان گیرش کوتاه ، ضخامت لایه بتن زیاد ، قدرت تولید و حمل بتن کم و گستردگی سطح بتن ریزی از جمله عواملی است که به ایجاد درز سرد می انجامد . عدم توجه به این امر و ساماندهی حساب نشده کارگاه و وسایل ساخت و حمل و ریختن بتن بسیار رایج بوده و آفت بزرگی برای بتن ریزی ها در کشور ما قلمداد می شود . افزایش زمان گیرش بتن با بکار گیری سیمانهای دیرگیرتر ، کاهش دمای بتن ، بکار گیری مواد کندگیرکننده و کاهش دمای مجاور حاصل می گردد . کاهش ضخامت لایه به نحوی که مغایرتی با آئین نامه ها و اصول اقتصادی اجرائی نداشته باشد از جمله راه حلهاست . در نهایت افزایش توان ساخت و حمل و ریختن و تراکم بتن می تواند به این مشکل خاتمه دهد . درز سرد یکی از بهترین محلها برای نفوذ یون کلر می باشد و شاید با ترکهای موجود از این نظر برابری کند .

q نوع میلگردها و شرایط سطحی آن :

بطور کلی برخی فولادها برای خوردگی مستعدتر هستند . فولادهای پر مقاومت ، فولادهای سرد نورد شده و فولادهای گرم نورد شده و سرد اصلاح شده ( مانند میلگردهای سرد اصلاح شده بروش پیچاندن ) از جمله فولادهایی هستند که سریعتر دچار خوردگی می شوند . میلگردهائی با مقاومت کم تا متوسط به ترتیب دارای استعداد کم تا زیادتر می باشند . بهرحال چون اکثر فولادهای مصرفی در پروژه های معمول در ایران تا هستند باید گفت استعداد خوردگی متوسطی را از این نظر شاهد هستیم . اگر میلگر در اثر اصلاح سرد حاصل شده باشد مسلماً " آسیب پذیرتر خواهد بود . محللهای خم شده میلگرد به نوعی دارای خواص میلگرد سرد نورد شده یا سرد اصلاح شده هستند . در محیط کارگاهها شاهد زنگ زدگی سریعتر این محللهای خم شده هستیم . ترک در محل خم موجب می شود زنگ زدگی ، خیلی سریع میلگرد را از بین ببرد . همواره این سؤال مطرح می شود که زنگ روی میلگردها چه نقشی را در زنگ زدگی آتی در بتن ایفا می کند . وقتی بتن اطراف میلگرد را می گیرد اعتقاد بر این است که یک لایه انفعالی از اکسید آهن ایجاد می شود که مانع خوردگی در محیط قلیائی میگردد . عواملی که مانع ایجاد این لایه انفعالی و تماس میلگرد با محیط قلیائی بتن شود راه برای خوردگی هموار می نماید . زنگ زدگی زیاد به نحوی که نتوان با ناخن آنرا از سطح میلگرد زدود مانع تشکیل لایه انفعالی می گردد . مسلماً " زنگ زدگی در حد پوسته شدن نیز چنین است و باعث خوردگی در بتن میشود . وجود مواعنی مانند رنگ های معمولی ، ضد زنگ ، روغن ها ، دوغاب و ملاط سیمان سخت شده در اثر برخورد این مواد به میلگردها ، آب و یخ در اطراف میلگرد ، جمع شدن آب در زیر میلگردها در اثر رو زدن آب ، قیر علاوه بر اینکه مانع چسبندگی و اتصال خوب با بتن میشود موجب زنگ زدگی آن در داخل بتن می گردد .

رنگ های خاص مانند اپوکسی ، پوشش گالوانیزه و برخی پوشش های خاص می تواند به نوعی مانند خوردگی میلگردها گردد . یکی از راههایی که امروزه بدان توجه می شود استفاده از میلگردهای فولادی مانند ضد زنگ هستند . با بکارگیری این فولادها و یا فولادهای دارای پوشش خاص می توان ضخامت پوشش روی میلگرد را کاهش داد و عمر سازه را نیز بالا برد . علیرغم گرانی میلگردهای فولادی ضد زنگ برخی معتقدند که استفاده از آنها اقتصادی و مقرون به صرفه است .

#### q پوشش سطحی روی بتن :

یک راه حل برای کاهش نفوذ یون کلر در بتن بویژه در هنگامی که با بتن های مشکوک به ضعف ( نفوذ پذیر بودن ) مواجه هستیم استفاده از پوشش سطحی بر روی بتن می باشد . پوشش های سطحی دارای انواع مختلفی هستند . دسته اول ایجاد یک پوشش رنگ مانند بر روی بتن می نمایند مانند اپوکسی ها ، دسته دوم هم موادی هستند که سوراخ های سطحی را تا مقدار زیادی مسدود و پر می کنند ( مانند مواد سیمانی دارای پلیمر ) ، دسته سوم آنهائی هستند که بدون پر کردن ریزه سوراخهای سطحی بتن جهت جریان رطوبت را معکوس می نمایند و بجای اینکه رطوبت حاوی یون کلر به داخل بتن نفوذ کند رطوبت داخل بتن به خارج منتقل میشود که اصطلاحاً " به آنها مواد قابل تنفس می گویند ( مانند Silan – Siloxan ) . برخی شرکت ها مدعی هستند موادی را تولید کرده اند که می تواند چندین سانتی متر به داخل بتن نفوذ کرده و ریزه سوراخها را پر نماید و آنرا آب بندی



کند. هر چند این ادعاها اغراق آمیز و توسط مجامع علمی مستقل تأیید نشده است اما ممکنست این امر در آینده اثبات و یا رد شود.

#### q پوشش حفاظتی روی میلگردها:

جدا کردن میلگرد از محیط و عایق سازی آن از نظر تماس با عوامل خوردنده ( هوا، رطوبت و یون کلر ) یکی از راه حلهای جلوگیری از خوردگی زودرس و با دوام کردن بتن مسلح می باشد. بکارگیری اپوکسی، اپوکسی غنی شده با روی و سایر مواد مناسب دیگر از نوع پوشش های حفاظتی می باشند. اپوکسی ها روی میلگردهای عاری از رنگ پاشیده یا مالیده شوند در حالیکه برخی مواد پوششی نیازی به زنگ زدائی سطح میلگرد ندارند. برخی مواد مانند اپوکسی باید به صورت کامل و بدون نقص استفاده شوند. در بستن میلگردها و خمکاری ممکنست برخی بخشها فاقد اپوکسی شوند که موجب خوردگی شدید و موضعی می گردد. در حالیکه برخی مواد دیگر حتی اگر دارای نقص باشند ( مثل فولاد گالوانیزه ) در نزدیکی محل نقص با زهم فولاد تا حدود زیادی از زنگ زدگی مصون می باشد. اپوکسی های غنی شده با روی، عایق الکتریکی نیستند لذا در تعمیرات زمانی که میلگردهای اپوکسی دار در کنار میلگردهای بدون پوشش قرار می گیرند کاتد و آند در روی دو نوع میلگرد تشکیل نگردد زیرا این پوششها ۹۰ تا ۹۵ درصد حاوی روی هستند.

#### q شرایط محیطی:

خوردگی میلگردها یک فرآیند شیمیائی و یا بهتر است بگوئیم الکتروشیمیائی است. مانند سایر فرآیندهای شیمیائی و الکترو شیمیائی، این فعالیت تابع شرایط محیطی بویژه دمای محیط و بتن می باشد. در هوای گرم این فعالیت تشدید می گردد. رطوبت لازمه خوردگی است یون OH نقش مهمی را در خوردگی و تشکیل هیدروکسید آهن بازی میکند و آب موجود نقش الکتروولیت را بازی می کند و موجب تحریک یونی نیز می شود. به همین دلیل مقاومت الکتریکی بتن مرطوب و اشباع بمراتب کمتر از بتن خشک شده در هوا و آون است. البته اشباع بودن دائمی باعث کاهش نفوذ اکسیژن می گردد و صرفاً مقدار کمی اکسیژن حل شده در آب، به درون خمیر سیمان ( بتن ) راه می یابد. در یک محیط خشک خوردگی عملاً اتفاق نمی افتد. همچنین بدون وجود اکسیژن، زنگ زدگی میلگردها امکان پذیر نیست. نفوذ اکسیژن معمولاً بعنوان نفوذ هوا در این موارد شناخته می شود. هر چند گاز CO<sub>2</sub> هوا نیز عامل کربناسیون خمیر سیمان سخت شده و تازه میگردد ولی در محیط خوردنده نقش اکسیژن چشمگیرتر است. بهر حال باید گفت نفوذ CO<sub>2</sub> به همراه رطوبت موجود در خمیر سیمان عامل کربناسیون می باشد. عمل کربناسیون بدلیل کاهش قلپائیت محیط و ناپایداری بلورهای ژل ( C-S-H ) صورت می گیرد. کاهش PH در محیط قلپائیتی به خودی خود استعداد خوردگی را افزایش می دهد بنابراین در برخی موارد عامل خوردگی میلگردها را کربناسیون بتن می دانند. وقتی بتن کاملاً غرقاب است و معمولاً از آب دریا خارج نمی شود اکسیژن زیادی برای زنگ زدگی میلگردها در محیط بتن حضور نخواهند داشت و خوردگی با تأخیر قابل ملاحظه و سرعت کم اتفاق می افتد. به همین دلیل آئین نامه ها حداکثر نسبت آب به سیمان بتن مغروق در آب دریا را ۰/۴۵ می دانند در حالیکه در سایر شرایط در محیط خوردنده این حداکثر به ۰/۴ محدود می شود. بالاتر بودن یون کلر در محیط اطراف بتن، نشأت بیشتر آنرا بداخل خمیر سیمان و بتن میسر می سازد که امری بدیهی و طبیعی قلمداد می شود. بهر حال برخی معتقدند که سایر شرایط محیطی مانند وجود سولفات می تواند باعث نفوذ بیشتر یون کلر گردد و بتن مدفون در خاک مرطوب حاوی سولفات و یون کلر شرایط بدتری نسبت به بتن مغروق در آب دریای شور دارد که یک علت آن را نیز می توان وجود اکسیژن و کاملاً اشباع نبودن بتن دانست. بهر حال آزمایشها و تجربیات نشان می دهد برای شروع فعالیت خوردگی و ادامه یافتن آن نیاز به میزان خاصی از یون کلر در محیط قلپائیتی اطراف میلگرد مدفون در بتن داریم. این میزان یون کلر از ۰/۲۵ درصد وزن سیمان بتن تا ۰/۴ قید شده است و در مورد آن در منابع مختلف با توجه به تجربیات و مشاهدات گوناگون اختلاف نظر وجود دارد. اما اکثراً مقدار ۰/۳۵ تا ۰/۴ درصد را ذکر می کنند که آستانه یون کلر برای خوردگی نام دارد. این مقدار را با مقادیر مجاز یون کلر در بتن اولیه و تازه نباید اشتباه گرفت و زش باد می تواند باعث نفوذ یون کلر موجود در هوا بویژه در سمت خاص گردد. تری و خشکی مکرر مانند آنچه در منطقه جذر و مد و یا در محلی که در معرض پاشش آب

دریسا می باشد به شدت برخوردگی میلگردها تأثیر می گذارد و آنرا تشدید می کند . افزایش غلظت نمکها در این منطقه و در اختیار قرار گرفتن رطوبت و اکسیژن می تواند از علل تشدید کننده آن باشد .

۹ وجود یون کلر در بتن اولیه و مصالح مصرفی :

برای اینکه خوردگی را به تأخیر بیندازیم لازم است مقدار یون کلر محلول در آب موجود در بتن اولیه بویژه در مناطق خورنده و برای بتن مسلح از ۰/۱۵ درصد وزن سیمان بتن کمتر باشد . این مقدار باید با تعیین یون کلر پودر بتن حاصله از نمونه ۲۸ روزه نگهداری شده در آزمایشگاه و در تانک آب استاندارد بدست آید . آبا اجازه داده است تا از جمع مقادیر یون کلر موجود در مصالح ( سنگدانه ، آب و سیمان ) درصد یون کلر بتن نیز بدست آید ( مانند BS )

بهرحال هر چند از این حد فاصله بگیریم زمان شروع خوردگی را به تعویق می اندازیم . حداکثر مجاز میزان یون کلر مصالح ( سنگدانه و آب ) در استاندارد ISIRI 302 ایران ( تجدید نظر مرداد ۸۱ ) و آبا قید شده است اما مهم آن است که سر جمع آن از مقدار مورد نظر تجاوز نکند . در ترمیم بتنی که در اثر خوردگی تخریب شده است باید اصول خاصی رعایت گردد تا مشکلات قبلی بزودی گریبانگیر قطعه نشود . برای این منظور باید به نظارت زیر توجه گردد :

- ۱- کنترل وسعت خرابی با بررسیهای نظری کارگاهی و انجام آزمایشهای ساده
  - ۲- تعیین وسایل تخریب و روش کار
  - ۳- تعیین محدوده خرابی و شیار زنی برای مشخص کردن محدوده
  - ۴- هندسه تخریب
  - ۵- عمق تخریب
  - ۶- بررسی میلگردها و تصمیم گیری در مورد گسترش تخریب
  - ۷- زنگ زدائی و اصلاح میلگردها و تقویت و جایگزینی میلگردها
  - ۸- آماده سازی سطح بتن و میلگردها و اعمال پوشش های لازم ، اشباع کردن و . . .
  - ۹- مواد تعمیر و کاربرد آنها
  - ۱۰- روشهای تعمیر و بکار گیری آنها
- ۹ کنترل وسعت خرابی ( بررسیهای نظری و آزمایشی ) :

با توجه به باز دیده های انجام شده و احتمالاً" برخی آزمایشهای ساده میتوان به وسعت تقریبی خرابی پی برد. متأسفانه هنوز روشی برای تعیین محللهائی که میلگرد آنها بطور قابل توجهی زنگ زده اند وجود ندارد. نشانه های زنگ زدائی زیاد ، لکه ، ترک خوردگی ، طبله کردن و ریختن بتن می باشد. با آزمایش ساده نیم پیل میتوان پتانسیل خوردگی را بدست آورد اما میزان زنگ زدگی و آسیب نمایش داده نمیشود. با زدن چکش اشمیت یا چکش معمولی و با توجه به نتیجه یا صدای حاصله نیز میتوان تا حدودی وضعیت بحرانی را آشکار کرد. متأسفانه اشکال رایج عمده در تعمیر سازه های بتنی مشخص نبودن دقیق منطقه و محدوده تعمیرات و گاه ممکنست وسعت تخریب و تعمیر چندین برابر تخمین اولیه گردد.

۹ تعیین وسایل تخریب و روش آن :

با توجه به وسعت تخریب ، نوع بتن و مشکلات تخریبی آن ، انبوهی میلگردها و موقیت قرار گیری قطعه و همچنین محدودیت های زمانی و هزینه ای نوع وسیله تخریب و روش کار مشخص میگردد. گاه لازم است سرعت زیادی در تخریب بخرج نداد زیرا در صورت عدم امکان تعمیر ، مجاورت بتن و میلگرد با عناصر مضر ممکنست در طولانی مدت مشکلات جدیدی را بوجود آورد. امروزه استفاده از وسایل مختلفی امکان پذیر است : قلم (چکش) بادی ، برقی ، اره های اصطکاکی ، جهت آب و برش با آب از جمله وسایل رایج است که از همه آنها میتوان برش با آب (جهت آب) را بهتر و مناسب تر دانست. بهر حال وسعت کار و محدودیت های موجود فوق الذکر تعیین کننده نوع وسایل می باشد. برخی چکش ها ممکنست در مناطق مجاور آسیب هائی را ایجاد کند که باید وسایل با قدرت مناسب را انتخاب نمود. اره های اصطکاکی عمدتاً" برای برش های خطی بکار میرود.

#### q تعیین محدوده خرابی و شیار زنی :

برای اینکه محدوده کار تخریب روشن شود گاه علائمی را بکار می برند. بهترین روش علامت زنی بصورت شیار زنی در محدوده مورد نظر است. شیار زنی به عمق ۱ تا ۲ سانتی متر بدین منظور معمول است میتواند هندسه مناسب تخریب را در سطح و عمق بوجود آورد. بهر حال گاه در طول عملیات تخریب ممکنست این محدوده را وسعت بخشیم و گسترش دهیم و بهتر است مجدداً محدوده جدید را شیار زنی کنیم.

#### q هندسه تخریب :

توصیه میشود از شکلهای هندسی مشخص برای محدوده تخریب استفاده شود. مربع، مستطیل و ترکیبی از مربع و مستطیل در کنار هم میتواند بهترین اشکال باشد. البته شکل دایره و چند ضلعی منظم نیز توصیه میشود. بهر حال اشکال نامنظم با دوره های بی نظم ابدأ" توصیه نمی گردد. کناره و لبه منطقه تخریب ( تعمیر ) باید گونیا باشد و این حالت ۱ تا ۲ سانتی متر در عمق ادامه یابد و لبه نباید پرکلاغی تلقی گردد زیرا دوام مناسبی برآ پس از تعمیر نخواهیم داشت .

#### q عمق تخریب :

مشکلی بزرگ در تعمیر اینگونه سازه ها تعیین عمق تخریب است. مسلماً عمق تخریب تا پشت میلگردها خواهد بود. نمیتوان تخریب را تا رسیدن به سطح میلگردها انجام داد زیرا لازمست میلگردها را تمیز و اصلاح نمود بنابراین باید تخریب را تا پشت میلگردها ادامه داد. عمق تخریب باید تا حدی انجام شود که به منطقه ای با یون کلر کم برسیم. رسیدن به یون کلر کمتر از حد آستانه خوردگی قطعی است اما حد قابل قبول تابع سیاست های تعمیرات اگر حد آستانه خوردگی را ۰/۳۵ درصد و حداقل یون کلر بتن اولیه تازه را ۰/۱۵ درصد در نظر بگیریم بهر حال حد قابل قبول در بین این دو عدد قرار دارد و هر چند به ۰/۱۵ درصد نزدیک شود عمر تعمیر و میلگرد بیشتر خواهد شد اما ممکنست هزینه ها را به مقدار قابل توجهی افزایش دهد و یا عمر بخش های تعمیر نشده بمراتب کمتر از عمر مناطق تعمیر شده باشد که منطقی بنظر نمیرسد. بهترین راه تهیه نمونه از عمق های مختلف و تعیین یون کلر می باشد تا تصمیم گیری در مورد عمق تخریب میسر گردد. وقتی تا پشت میلگرد تخریب را ادامه می دهیم بایستی امکان قرار گیری بتن در اطراف میلگرد را فراهم کنیم. به این منظور حداقل فاصله میلگرد تا بتن بایستی از حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی بزرگتر باشد. برخی توصیه می کنند در این مورد بهتر است این فاصله بمراتب بزرگتر از حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی و در حدود ۳ سانتی متر باشد.

#### q بررسی میلگردها و اتخاذ تصمیم در مورد گسترش تخریب :

پس از تخریب و رسیدن به میلگردها باید کارشناس خبره، میزان خوردگی را بررسی کند وقتی در محدوده تخریب زنگ زدگی زیادی مشاهده می شود و این زنگ زدگی در منطقه سالم نیز تداوم دارد بایستی منطقه تخریب را گسترش داد تا به میلگرد سالم و تقریباً بدون زنگ زدگی رسید. وقتی زنگ زدگی با ناخن پاک نشود به میلگرد سالم نرسد باید آنرا تمیز کرد و لازمست که بتن روی آن برداشته شود.

#### q زنگ زدائی، اصلاح میلگردها، تقویت و جایگزینی :

میلگردها معمولاً در محل با سند پلاست یا گریت پلاست باید تمیز شود. در این حالت باید پشت میلگردها تمیز شود زنگ زدائی با برس سیمی دستی یا برقی معمولاً کارآمد نیست و فقط در مناطق بسیار محدود و برای زنگ کم کاربرد دارد. اگر لازم باشد باید میلگردها تقویت شود. بکارگیری میلگردهای تقویتی امری رایج و معمول است. این کار با توجه به کاهش ضخامت میلگردها عملی میشود. معمولاً اگر کاهش سطح میلگردها بیش از ۱۵ درصد باشد تقویت توصیه میشود (برخی کاهش قطر ۱۵ درصد را نیازمند تقویت می دانند). گاه میلگردها به شدت زنگ زده اند و در این حالت توصیه میشود با میلگردهای جدید جایگزین شوند. تامین پوشش طولی میلگردها (Overlap) مشکل است و اغلب از وصله های جوشی یا مکانیکی میتواند استفاده شود. وقتی از زنگ زدائی میلگرد بهره می گیریم بهتر است هیچگونه رنگی بر روی میلگرد باقی نماند و کاملاً تمیز شوند .

#### q آماده سازی سطح بتن و پوشش میلگردها :

مقصود از آماده سازی سطح بتن و پوشش میلگردها آنست که بتوانند اتصال بتن با بتن و بتن با میلگرد را تامین نمایند و مانع نفوذ بیشتر و خوردگی شوند. آماده سازی سطح بتن معمولاً با زبر کردن آن و رسانیدن به حالت اشباع با سطح خشک حاصل میگردد. اغلب اوقات تخریب ، سطح زبر و خشنی را فراهم می کند بهر حال این سطح نباید پستی و بلندی خیلی زیادی داشته باشد اما ضمن اینکه ضخامت تعمیر نسبتاً ثابتی را فراهم می نماید باید کاملاً زبر و خشن باشد و ترجیحاً "شن ها از سطح بر واحد اضافه شوند .

بتن قدیمی (پایه) نباید آب بتن جدید (ماده تعمیر) را بکشد زیرا باعث جمع شدگی شدیدتر شده و پیوند دو بتن ضعیف می گردد. بنابراین لازمست بتن پایه بصورت SSD درآید. آب اضافی در روی سطح بتن به نحوی که دست را خیس و مرطوب کند نامطلوب است و باعث ضعف اتصال و پیوستگی دو بتن می شود. برای ایجاد پیوستگی و چسبندگی بهتر دو بتن جدید و قدیم گاه از برخی پلیمرها و لاتکس ها بر روی بتن پایه (قدیمی) استفاده می شود. یک لایه نازک از این مواد قبل از ریختن بتن تعمیر جدید بر روی بتن قدیمی مالیده یا پاشیده می شود. از جمله مواد رایج لاتکس آکرلیکی (Acrylic Latex) می باشد و قبل از خشک شدن کامل آن بتن جدید باید ریخته شود. سطح میلگردها پس از تمیز کاری و زنگ زدائی ، گاه لازمست با آب شیرین شسته شده و سریعاً با هوای فشرده خشک گردد و در صورت لزوم با پوشش های خاصی نظیر اپوکسی پوشیده شود. بهر حال توصیه میشود در تعمیر سازه از اپوکسی معمولی مخصوص میلگردها استفاده نشود و اپوکسی غنی شده با روی بکار رود تا سطح میلگرد عایق الکتریکی نشود ، زیرا در غیر اینصورت میلگردهای بخش تعمیر نشده دچار خوردگی بسیار سریعتر می گردد .

#### q مواد ترمیم کننده بتن :

اصل مهم در انتخاب مواد تعمیر شباهت آن از نظر خواص با بتن اصلی است معمولاً این اصل به نوعی برآورده میشود اما باید سعی کرد حتی الامکان رعایت گردد. مشکل بزرگ در رعایت این مورد آن است که اگر بتن اصلی قدیمی مناسب و مطلوب بود ممکن بود این خرابی ها حاصل نشود. ضعف مقاومت ، ضعف دوام و بالا بودن نفوذ پذیری باعث این خرابی شده است پس چگونه میتوان بتن مشابه را بکار برد. بنابراین دچار یک پارادوکس هستیم که با تدبیر مناسب آن را حل کنیم. شباهت در سنگدانه ، شباهت در سیمان میتواند کمک موثری باشد. نزدیک بودن مدول الاستیسیته و ضریب انبساط حرارتی از جمله نکات مهم است ، گاه دیده می شود نفوذ پذیری بسیار کم در منطقه تعمیر شده ، باعث خوردگی سریع میلگردهای منطقه مجاور میشود و این نکته مهم کار تعمیر را با مشکل مواجه می کند و اجتناب ناپذیر بنظر می رسد .

- انواع مواد ترمیم کننده بتن بصورت جایگزین بتن تخریب شده عبارتند از :

الف - بتن یا ملات سیمانی

ب- بتن یا ملات سیمانی اصلاح شده با پلیمر

ج - مواد پلیمری ( که در این حالت اقتصادی و فنی نیست )

بنظر میرسد معمولاً بتن یا ملات سیمانی ارجحیت داشته باشد و از نظر خواص مشابهت بیشتری با بتن اصلی پایه را فراهم نماید. بکار گیری سیمان در حد متوسط (معمولاً ۳۷۵ تا ۴۰۰ کیلو) از نظر جمع شدگی کاملاً مناسب بنظر میرسد. نسبت آب به سیمان با توجه به موقعیت قطع و محل از نظر خوردگی به حداکثر ۰/۴ یا ۰/۴۵ محدود شود. معمولاً اگر از روش بتن ریزی جایگزین استفاده شود سعی میگردد از اسلامپ بالائی برخوردار باشیم (بیش از ۱۰ سانتی متر). اسلامپ زیاد جمع شدگی نشست خمیری را بوجود می آورد لذا ضمن اینکه تامین نسبت آب به سیمان فوق الذکر مشکل بوده و اسلامپ زیاد نیز با آب قابل تامین نیست همواره نیاز به مواد روان کننده یا فوق روان کننده داریم. معمولاً هنگامیکه ترمیم در محدوده بسته ای انجام میشود بتن باید از جمع شدگی ناچیز و یا انبساط جزئی برخوردار باشد. به این دلیل لازمست از مواد منبسط کننده (انبساط زا) در مواردی که حساسیت وجود دارد استفاده نمائیم تا درگیری بهتری بین لبه های کناری بتن تعمیر و بتن پایه قدیمی ایجاد شود.

برای سهولت در ریختن و تراکم بتن و کاهش نفوذ پذیری آن از حداکثر اندازه سنگدانه نسبتاً کم و بافت دانه بندی ریزتری نسبت به بتن اصلی بهره می گیریم که به ابعاد و حجم منطقه تعمیری و وضعیت میلگردها بستگی دارد. اگر بخواهیم ملات یا بتن را با مواد پلیمری اصلاح کنیم معمولاً از لاتکس آکریلیکی به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد وزن سیمان استفاده می نمائیم .

گاه بجای ریختن معمولی بتن از روش دستی تعمیر استفاده می نمایند در این حالت ملات سفت بکار میرود و با فشار در محل مورد نظر قرار می گیرد . بهر حال این روش محدودیتهای خاص خود را دارد و تامین روانی مورد نظر با نسبت آب به سیمان مطلوب و سیمان کمتر ممکن می باشد .

#### q روشهای ترمیم و جایگزینی بتن :

بهر حال باید بتنی را در محل تخریب شده جایگزین نمائیم. روشهای این جایگزینی عبارتند از :

#### الف- تعمیر و جایگزینی بتن یا ملات با دست Patch Method

که در مناطق بسیار محدود بکار میرود. ضخامت نیز معمولاً به حدود ۵ سانت محدود میشود و کمتر مورد استفاده است . تعمیر سطوحی مانند زیر دال یا تیر با این روش ساده تر است .

#### ب- روش بتن ریزی سنتی معمولی (ثقلی) Conventional or Gravity Method

این روش کار برد وسیعی دارد. برای سطوح بالائی تیر و دال ، وجوه کناری تیرها ، سطوح دیوار و ستون و حتی قسمت تحتانی تیر یا دال کاربرد دارد. معمولاً در این روش نیاز به اسلامپ زیادی داریم که گاه از بتن های آبکی با اسلامپ بیش از ۲۰ سانتی متر استفاده میشود . بهر حال در این روش باید بنحوی عمل نمائیم که از پر شدن قالب یا محل تعمیر مطمئن شویم و خروج هوا از بتن نیز میسر باشد و آب انداختن بتن عملاً حذف گردد (بوپژه در سطوح زیر تیر یا دال ) گاه این نوع بتن را در عمق یا زیر آب با لوله ترمی ( tremie ) می ریزیم تا جداسدگی پیش نیاید .

#### ج : روش بتن پاشی : Shotcrete

در تعمیر سطوحی با وسعت زیاد و ضخامت کمتر از ۱۵ سانتی متر استفاده از روش بتن پاشی توصیه میشود بویژه در تعمیر سطوح زیرین دال یا تعمیر کاربرد آن مطلوبتر است. در بتن پاشی دو روش تسر و خشک را داریم. در تعمیر سازه هائی که در مناطق خورنده قرار دارند و یکنواختی و نفوذ ناپذیری بیشتر مطلوب است باید از روش تر استفاده نمائیم .

مشکل بزرگ در بتن پاشی ، برگشت و ریپاند مصالح و بتن می باشد که باید با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه ، اسلامپ مناسب (۵ تا ۸ سانتی متر) ، عیار سیمان بالاتر و چسبندگی بیشتر ، بافت دانه بندی ریزتر ، عمود گرفتن سر لوله ، فاصله مناسب سر لوله از سطح در تامین فشار هوای مناسب و غیره ، میزان برگشت مصالح را به حداقل رسانید .

#### د : روش بتن ریزی با سنگدانه پیش آکنده (Preplaced Aggregate Concrete) :

در این روش ابتدا سنگدانه درشت تک اندازه را در قالب ریخته و سپس از درون لوله هائی که درون سنگدانه قرار گرفته است ملات ریز دانه ای را به داخل سنگدانه های درشت پیش آکنده تزریق می نمائیم تا بتن مناسب حاصل گردد .

بتن پیش آکنده از جمع شدگی ناچیزی برخوردار است و عیار سیمان مصرفی آن نیز کم می باشد. تامین نسبت آب به سیمان کم ، نفوذ ناپذیری مطلوب و مقاومت زیاد با این روش کاملاً میسر است. همگنی بتن و عدم جداسدگی از ویژگیهای این نوع بتن ریزی است . حداکثر اندازه سنگدانه به حداقل بعد قطعه محدود می شود و حداکثر اندازه ماسه ملات باید به حدود حداقل اندازه اسمی سنگدانه درشت محدود گردد. ملات مصرفی بسیار پر عیار بوده و همچنین شل و آبکی می باشد و معمولاً از مواد پوزولانی مناسب و روان کننده ها در ملات استفاده میشود ضمن اینکه به کندگیر کننده ها نیز احتیاج مبرمی داریم .

#### هـ : بتن ریزی با بتن مکیده ( Vacuum Proiossed Con )

در این روش که امروزه از آن در عملیات تعمیر بتن استفاده چندانی بعمل نمی آید . بتن نسبتاً شل را در محل مورد نظر (بوژه) سطوح فوقانی دال ، کف و سر ریز سدها یا کف تونلهای آب بر و غیره ( ریخته و سپس با اعمال یک مکش از طریق فرش خلا ، بخشی از آب بتن را مکیده و نسبت آب به سیمان را کاهش می دهیم . این عمل مقاومت و دوام بتن تعمیری را بهبود می بخشد و نفوذپذیری آن بوژه در قسمت های سطحی کاهش می یابد . در پایان متذکر میشود که در بتن ریزی جایگزینی نباید از بتن در مرحله گیرش استفاده نمود. جداسدگی یکی از روشهای بتن ریزی در کشور ماست که نباید در بتن جایگزین بوجود آید. اختلاف دمای بتن پایه و تعمیری در هنگام ریختن نباید زیاد باشد و حداکثر آن از ۵ تا ۱۰ درجه مشخص شده است . کار تراکم باید بخوبی انجام شود . همچنین باید عمل آوری مناسب صورت گیرد دمای بتن نباید از ۳۰ درجه سانتی گراد در هنگام ریختن تجاوز نماید و از ۱۰ درجه سانتی گراد کمتر نشود .

انتخاب مصالح ترمیم کننده بتن و روش آن

بتن و بتن مسلح بعنوان مصالح با دوام در بسیاری از سازه ها بکار گرفته شده اند . اما در طول زمان عملکرد و دوام بتن نشان داده که ساختار فیزیکی و رفتار سازه ای آن تابع شرایط محیطی است . در صورتیکه بتن مناسب با شرایط محیطی و اقلیمی طراحی و اجرا نگردد دوام و عمر مفید آن کاهش یافته و نیاز به تعمیر آن افزایش می یابد . مصداق این مورد در کشورمان سازه های بتنی در سواحل جنوبی کشور و نواحی خلیج فارس است . در این منطقه به دلیل شرایط خاص محیطی ( وجود کلر ، سولفات و رطوبت و دمای زیاد ) ، سازه های بتن آرمه از عمر کوتاهی برخوردارند . عمر مفید یا سرویس دهی سازه ها تابع کیفیت مصالح مصرفی و نحوه اجراء است . بعبارت دیگر چنانچه برای ساخت سازه از مصالح نامناسب و اجرای نامطلوب بهره گرفته شود ، عمر مفید سازه کوتاه بوده و نیاز به تعمیر خواهد داشت . اجرای یک سیستم کامل تعمیر پس از آماده سازی بتن پایه و آرماتور شامل اندود محافظ بر روی آرماتور ، لایه ارتباطی چسبنده بین ملات و یا بتن تعمیری و بتن پایه ، اعمال مواد تعمیری و نهایتاً پوشش محافظ است . که در این مقاله به استراتژی تعمیر سازه های بتنی پرداخته می شود . برای تأمین عمر مفید سازه در زمان پیش بینی شده از لحاظ دوام و ایستایی نیاز به نگهداری و بهسازی می باشد . هر ساختمان پس از مدتی که تحت بهره برداری قرار گرفت به دلیل خطاهای ناشی از طراحی ، اجرای صحیح ، کیفیت مصالح ، نگهداری ، نارسائی ها و یا خرابی ها در آن بروز کرده و در نتیجه قابلیت بهره برداری و دوام آن سیر نزولی طی می کند . بهمین جهت برای هر ساختمان در ابتدای طراحی و محاسبه یک حاشیه ایمنی در نظر گرفته می شود که کیفیت و اجرا در آن نقش تعیین کننده دارد . در صورت اجرای صحیح و انتخاب مصالح مناسب عرض حاشیه ایمنی به آسانی حفظ می شود در غیر این صورت ممکن است عرض حاشیه ایمنی از همان ابتدا از مقدار مطلوب کمتر باشد و در طول زمان کاهش یابد و یا حتی به صفر برسد و به همین جهت ترمیم ، تعمیر ، تقویت سازه ها ضرورت می یابد و در نتیجه از کاهش حاشیه ایمنی جلوگیری می شود و عمر مفید افزایش می یابد

ارزیابی سازه های بتنی :

ضرورت ارزیابی سازه های بتنی ، خصوصاً در شرایط محیط مهاجم به منظور جلوگیری از ایجاد آسیب دیدگی در سازه های که هنوز دچار تخریب نشده اند و همچنین تعیین وسعت و علت خرابی جهت جلوگیری در سازه های در حال تخریب دارای اهمیت ویژه ای است . در این راستا مشکلترین و مهمترین مرحله در روند تعمیر تعیین علت آسیب دیدگی است چرا که بدون آنکه علت آسیب معلوم شود ، نیاز سازه به نوع تعمیر یا روش مناسب آن را نمی توان انتخاب و تعیین نمود . بنابراین قبل از شروع عملیات تعمیر باید شرایط موجود سازه مورد ارزیابی قرار گیرد . منظور از ارزیابی ، کسب اطلاعات درباره علت و توسعه آسیب است . به منظور دستیابی به اطلاعات جامع در ارزیابی سازه ابتدا باید بررسی اصولی طرح اولیه و جزئیات ساخت انجام گیرد و پس از آن برنامه ریزی در مورد جزئیات تحقیقات محلی از سازه صورت پذیرد . برنامه ریزی ارزیابی سازه باید شامل مشاهدات نظری ، آزمایش های غیر مخرب در محل و نمونه برداری جهت بررسی در آزمایشگاه باشد. مراحل اصلی برنامه ریزی اصولی و صحیح جهت بررسی و ارزیابی سازه در نمودار مشخص شده است . در مراحل اولیه ارزیابی سازه ، جمع آوری اطلاعات و مدارک موجود در

مورد مشخصات سازه ، نوع مصالح بکار رفته و غیره باید انجام گیرد . در مراحل بعدی بازدید و بررسی ظاهری سازه باید مشاهدات قسمتهای آسیب دیده و شرایط سازه ثبت گردد ، همچنین اطلاعات مربوط به شرایط محیطی سازه نیز دارای اهمیت است . در بازرسی و انتخاب آزمایشهای ارزیابی وضعیت سازه باید به مسائل اقتصادی ، اجرائی و زمان جهت تعیین نوع و محل آزمایشها توجه گردد . البته هیچ نوع آزمایشی به تنهایی قابل استناد نیست و ترکیبی از چندین آزمایش است که در ارزیابی سازه اهمیت دارد . برنامه ریزی باید با در نظر گرفتن پارامترهای انتخاب نوع و محل آزمایش انجام گیرد . بطور کلی آزمایشهایی که جهت ارزیابی بر روی سازه ها انجام می شوند عبارتند از :

— تعیین مقاومت بتن در سازه

— آزمایش مافوق صوت

— تعیین سختی سطح

— آزمایش بیرون کشیدن از سطح

— مغزه گیری

— تعیین پوشش بتن بوسیله آرماتور یاب

— تعیین عمق کربناسیون

— تعیین پروفیل کلر

— تعیین نفوذپذیری بتن

— تعیین پتانسیل خوردگی

— تعیین مقاومت الکتریکی

مراحل تعمیر و ترمیم بتن

برای تأمین دوام و چسبندگی بتن یا ملات تعمیری با بتن پایه باید پس از تعیین علل خرابی ، عمق و وسعت آن اقدامات لازم به منظور پیشگیری و یا روش تعمیر مناسب اتخاذ نمود . شکل ۲ مراحل تعمیر را نشان می دهد .

آماده کردن سطح برای تعمیر و ترمیم بتن

در تمام مواردی که ملاتهای تعمیری برای تعمیر موضعی و یا تعمیر در سطح وسیع مورد استفاده قرار میگیرد آماده کردن

سطح بتن برای تعمیر از نقطه نظر دوام از اهمیت بالایی برخوردار است . دوام سیستم تعمیری می تواند در مرحله اول بعلت

مقاومت کم کشش سطحی بتن کاهش یابد . بهمین جهت برای یک تعمیر موفق اغلب ضروریست تمهیدات ویژه ای صورت گیرد .

این تمهیدات باید به نحوی باشد که چسبندگی و پیوستگی بین بتن پایه و ملات تعمیری در طول عمر مفید پیش بینی شده را

تأمین نماید . در خصوص خواص مکانیکی سطح بتن پایه آئین نامه تعمیر و نگهداری کشور آلمان [2]ZTV-SIB 90 [2] میزان

مقاومت کشش سطحی را بعنوان عامل تعیین کننده ملاک قرار می دهد ( البته این مقدار تا حدی نیز به سیستم تعمیری بستگی

دارد . ) و حداقل مقاومت کشش سطحی را به  $1/5 \text{ N/mm}^2$  محدود می نماید ، در مواردی که سطح بتن تحت شرایط خاصی

قرار می گیرد مقاومت کششی سطحی باید  $2 \text{ N/mm}^2$  باشد . برای محافظت از خوردگی سیستم تعمیری باید الزامات مربوط

به مشخصات شیمیایی سطح بتن قدیمی نیز رعایت گردد . به این ترتیب که عمق کربناسیون نباید از میزان معینی تجاوز نماید .

همچنین مقدار آلودگی آن به کلراید نیز باید محدود باشد بخصوص برای تعمیر موضعی باید مقدار کلراید تا حد بحرانی تعیین شده

برداشته شود . بدون توجه به اینکه آسیب دیدگی قابل رؤیت و یا غیر قابل رؤیت است . همچنین قبل از اعمال سیستم تعمیری ،

بتن پایه باید دارای رطوبت معینی باشد . در صورتی که از ملات تعمیری بر پایه سیمان استفاده شود باید رطوبت سطح بتن اشباع

با سطح خشک باشد . در صورتیکه از ملات تعمیری اصلاح شده با پلیمر استفاده شود باید سطح بتن خشک باشد . شایان ذکر

است که درجه حرارت سطح بتن و همچنین درجه حرارت محیط در حین زمان اعمال سیستم تعمیری و درجه تمیزی سطح

آرماتور نیز حائز اهمیت است . در صورتیکه پس از انجام آزمایشهای لازم ، الزامات مورد نظر بر آورده نگردید باید سطح بتن با روش

مناسب آماده گردد که شامل روشهای مکانیکی، حرارتی و شیمیایی می باشد. از جمله روشهای مهم می توان به چکش بادی، پاشیدن ماسه و یا آب با فشار بالا و استفاده از شعله را نام برد. البته انتخاب روش بستگی به سطح بتن آسیب دیده و میزان و وسعت آلودگی دارد.

حفاظت از خوردگی آرماتور

بطور کلی هدف تمام اقدامات حفاظتی باید در جهت ایجاد مجدد سیستم حفاظتی آرماتور و جلوگیری از خوردگی آن در آینده باشد. بهمین جهت باید حداقل ارتباط الکتریکی که باعث ایجاد خوردگی می گردد قطع شود در نتیجه از انحلال آهن جلوگیری شود. در عمل معمولاً بتن منطقه آسیب دیده در اثر کربناسیون و یا آلوده به کلر بوسیله روش مناسب برداشته می شود. سپس زنگ آرماتور آزاد شده زدوده می شود و بر روی آن پوشش مناسب اعمال می گردد، سپس قسمت های برداشته شده بوسیله ملات سیمانی و یا ملات های اصلاح شده که با پلیمرهای مخصوص فرموله شده اند تعمیر می گردد. شایان ذکر است که این روش برای آسیب دسدگی ناشی از کلراید مشکل آفرین می باشد، زیرا ریسک خطر خوردگی مجدد پس از تعمیر بمراتب بزرگتر از خوردگی ناشی از کربناسیون است. بهمین جهت باید استراتژی تعمیر توسط یک فرد متخصص و با تجربه با دقت برنامه ریزی و بمرحله اجرا در آید.

سیستم های تعمیری بتن

سیستم های تعمیری بتن بطور کلی از بتن جایگزین و یا مصالح مناسب تعمیر تشکیل شده اند. این سیستم شامل پوشش حفاظتی برای جلوگیری از خوردگی آرماتور، لایه ارتباطی چسبنده بین بتن جدید و بتن قدیم، ملات و یا بتن تعمیری و نهایتاً پوشش مناسب می باشند. این پوشش ها معمولاً ضد آب کننده هستند و از نفوذ مواد مضر بداخل بتن جلوگیری می نمایند. مصالح تعمیری بتن از اجزاء مصالح مختلفی تشکیل شده اند که بدون در نظر گرفتن نوع مواد و مصالح بصورت ملات (اندازه سنگدانه های سنگی کمتر از ۴ میلیمتر) و یا بصورت بتن (اندازه سنگدانه های سنگی بزرگتر از ۴ میلیمتر) مورد استفاده قرار می گیرند. انواع ملات ها و یا بتن های مورد استفاده عبارتند از:

الف - بتن و ملا سیمانی ( ۱ )

ب - بتن و ملات سیمانی اصلاح شده با پلیمر ( PCC ) ( ۲ )

ج - بتن و ملات های رزینی ( PC ) ( ۳ )

بجز مصالح فوق ترکیبات دیگری مانند بتن پاشیدنی که با استفاده از الیاف مختلف و یا بوسیله پلیمر اصلاح شده، برای تعمیرهای خاص با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته اند.

الزامات

سیستم های تعمیری بتن بطور معمول باید دارای الزامات کلی زیر باشند که در توصیه مربوط به آئین نامه های بتن و آئین نامه های مربوط به تعمیر و نگهداری آمده است:

- سازگاری مقاومت و تغییر شکل بتن و ملات تعمیری با بتن پایه
- چسبندگی کافی ملات یا بتن تعمیری و بتن پایه
- مقاومت کافی بتن و ملات تعمیری در مقابل رطوبت، محیط قلیائی و اشعه ماورای بنفش
- مقاومت در برابر سیکل های یخ زدگی و ذوب شدن
- کارائی مناسب در درجه حرارت های مختلف
- دوام در مقابل شرایط مورد نظر

همچنین این مصالح برای کاربردهای خاص باید دارای خواص مورد نظر باشند مثلاً در محیط هایی که بتن در معرض تهاجم شیمیایی قرار دارد باید مقاوم در برابر مواد شیمیایی باشد. برای رعایت الزامات فوق در خصوص بتن و بتن پاشیدنی، انجام



آزمایش‌های پیش‌بینی شده در استاندارد بتن مسلح و بتن پاشیدنی ضروریست. همچنین برای سایر سیستم‌های تعمیراتی باید آزمایش‌ها بر اساس توصیه‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مربوطه انجام گیرد. طبقه‌بندی مصالح تعمیراتی با توجه به نوع کاربرد آئین‌نامه مربوط به تعمیر و نگهداری اجزاء ساختمان [1]DafStb کلیه ملات‌ها و بتن‌هایی که برای تعمیر بکار می‌روند با توجه به نوع کاربرد در گروه‌های زیر طبقه‌بندی نموده است.

### 1- Cement Concrete

### 2- Polymer Concrete

### 3- Polymer Concrete

#### - گروه M1

بتن و یا ملات مورد استفاده در این گروه باید برای پر کردن قسمت‌های آسیب‌دیده بتن زیرین مناسب و سازگار باشد. همچنین باید دارای مقاومت کافی باشند، بطوریکه بتوان بر روی آن (بعنوان بتن زیرین) پوشش سطحی مناسب را اعمال نمود. همچنین در خصوص اجرا باید مشخص گردد، که این نوع مواد تعمیراتی برای چه نوع پوششی مناسب است. الزامات مربوط به مقاومت در برابر کرناسیون در این بخش قید نگردیده است.

#### - گروه M2

بتن و ملات مورد استفاده در این گروه باید علاوه بر الزامات ذکر شده در گروه M1 باید حداقل مقاومت در برابر کرناسیون و نفوذ کلرید را دارا باشند. همچنین دستورالعمل برای اجرای صحیح، با توجه به بارهای استاتیکی و دینامیکی (مثلاً ترافیک) باید ذکر گردد. ضمناً در مرحله اجرا باید سازگاری نوع پوشش توسط تولیدکننده مواد و آزمایش کنترل کیفیت تأیید گردد.

#### - گروه M3

بتن و ملات تعمیراتی در این گروه برای تعمیر اجزاء باربر سازه در نظر گرفته شده است. این ملات و یا بتن باید علاوه بر موارد ذکر شده در گروه M2 الزامات زیر را نیز برآورده نماید.

• سازگاری مقاومت و خواص شکل‌پذیری

• کنترل خزش و جمع‌شدگی

• مقاومت در برابر تنش‌های حرارتی

• عملکرد درازمدت (از لحاظ مقاومت و تغییر شکل‌ها) در برابر تغییرات رطوبت و حرارت

• رفتار در برابر حریق

همچنین در این گروه مصالح تعمیراتی نیز باید پوشش سطحی مناسب و سازگار با بتن بلند پایه بوسیله آزمایش تأیید گردد.

#### - گروه M4

بتن و ملات تعمیراتی در این گروه باید علاوه بر تمهیدات ذکر شده در گروه M2 و M3 از مقاومت بیشتری برخوردار بوده و مقاومت سایشی آن نیز در حد مناسب باشد.

با توجه به تقسیم‌بندی فوق الزامات متفاوتی برای ملات و بتن بر اساس کاربرد مشخص می‌گردد. ولی به این معنی نیست که برای هر گروه یک سیستم تعمیراتی با بتن و یا ملات خاص در نظر گرفته شده است، بلکه هدف اصلی معرفی سیستم تعمیراتی با توجه به کاربرد آن می‌باشد. مثلاً ممکن است یک نوع بتن و یا ملات هر سه گروه M1 و M2 و M3 را پوشش دهند.

انواع ملات‌های تعمیراتی

ملات‌های سیمانی C-C

ملات‌های سیمانی ملات‌هایی هستند که حداکثر اندازه سنگدانه‌های آن ۴ میلیمتر است. این ملات‌ها بعنوان سیستم

تعمیراتی بتن باید الزامات مربوط به بتن را نیز برآورده نماید.

با توجه به قطر کم سنگدانه ها در مقایسه با بتن این ملات ها را می توان برای تعمیر با ضخامت کم نیز مورد استفاده قرار داد . از آنجائیکه این نوع ملات با بتن سازگاری دارد ( بعلت قلیائی بودن آن ) به همین جهت استفاده از این نوع ملات برای تعمیر اجزاء بتنی مناسب است . ولی در عمل این نوع ملات در کارهای اجرائی کمتر از ملات های اصلاح شده با مواد مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرد .

بر اساس توصیه نامه ها تعمیر و نگهداری [ ۱ ] ترکیب ملات های سیمانی که برای تعمیر مورد استفاده قرار میگیرد ، بخصوص برای اجزاء خارجی باید دارای الزامات زیر باشد :

مقدار سیمان باید حداقل  $400 \text{ kg/m}^3$  ( البته سیمان باید با استاندارد مطابقت داشته باشد و مقاومت ۲۸ روزه آن حداقل  $N/mm^2$  / ۳۵ باشد ) و نسبت آب به سیمان نیز کمتر از  $0.5$  باشد ، مصالح سنگی مورد استفاده باید حداقل الزامات مربوط به سنگدانه ها را داشته باشد . جهت کنترل دقیق ترکیب ملات ها معمولاً آنها را بصورت ملات خشک آماده می نمایند ، با وجود این قبل از استفاده کنترل کیفی آن ضروری می باشد . ملات های سیمانی می توانند برای تعمیر سطوح افقی ، شیب دار ملایم و عمودی اجزاء ساز های بتنی مورد استفاده قرار گیرند . از آنجائیکه این ملات ها در ضخامت کم اجراء می شوند ، به همین جهت برای سطوح شیب دار تند و قسمت پشت سطوح نیز مورد استفاده قرار می گیرند . کارائی ملات های سیمانی که برای تعمیر سطوح افقی و شیب دار ملایم استفاده می شود باید بحالت پلاستیک باشد ، در صورتیکه تعمیر سطوح شیب دار تند ، عمودی و قسمت زیرین سطوح مورد نظر باشد کارائی ملات باید حالت سفت داشته باشد بطوریکه بتوان با ماله دستی آن را اجرا نمود . معمولاً ضخامت ملات مورد استفاده برای سطوح وسیع ۲۰ تا ۴۰ میلی متر می باشد . شایان ذکر است که بر اساس توصیه های مربوط به تعمیر و نگهداری ( ZTV-SIB ) این ضخامت می تواند بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلیمتر باشد .

ملات های سیمانی اصلاح شده با مواد مصنوعی ( pcc )

بتن و یا ملات های سیمانی اصلاح شده با مواد مصنوعی ( pcc ) سالهاست که با موفقیت برای تعمیر سازه های بتنی مورد استفاده قرار گرفته اند . مواد مصنوعی که در این سیستم ها استفاده می شود مشابه موادی است که در ملات های رزینی و یا بتن های رزینی مورد استفاده قرار می گیرد [ ۴ ] . برای روشن شدن به اصطلاحات فوق شکل ۳ مواد تشکیل دهنده و ساختار ملات ها را نشان می دهد .

سمت چپ شکل ساختار بتن و یا ملات سیمانی ( CC ) را نشان می دهد . قسمت وسط شکل بتن و ملات اصلاح شده با مواد پلیمری ( pcc ) و سمت راست بتن و یا ملات رزینی ( بتن پلیمری - PC ) را نشان می دهد .

تفاوت اصلی سه نوع ماده تعمیری فوق در مقدار و نوع چسبنده آنها می باشد . مقدار مصالح سنگی در هر سه نوع ملات یکسان است . ماده چسبنده در ( CC ) سیمان و در ( pcc ) بخشی از سیمان بوسیله مواد پلیمری جایگزین شده و ( PC ) فاقد سیمان است و ماده چسبنده آن فاقد پلیمر می باشد .

جدول ۱ - الزامات مربوط به انواع مصالح تعمیراتی

مصالح رزینی (PC)		مصالح سیمان اصلاح شده با پلیمر (pcc)		مصالح سیمان	
		تحت بار دینامیکی	تحت بار غیر دینامیکی		
—	—	> ۴۵	> ۳۰	۳۵	مقاومت فشاری
—	—	> ۹	> ۶	۵	مقاومت خمشی
۰/۳	۰/۶	< ۱/۳	< ۱/۲	۰/۶-۲	جمعشدهگی mm/m
—	—	< ۰/۳	< ۰/۳	—	انقباض mm/m
< ۲۰	< ۲۵	< ۱۵	< ۱۵	۱۲	ضریب انقباض حرارتی
—	—	۲۵-۴۰۰۰۰	۱۵-۳۵۰۰۰	۳۶۰۰۰	مدول الاستیسیته
> ۲/۰	> ۲/۰	> ۲/۰	> ۱/۵	> ۱/۵	مقاومت چسبندگی
بدون ترک	بدون ترک	حداکثر عرض ترک ۰/۱ mm	حداکثر عرض ترک ۰/۱ mm	—	۳۰ سیکل حرارتی و جمع شدگی مفید

نتایج آزمایش پس از ۲۸ روز

شایان ذکر است در اصطلاحات فوق مرز بین ملات و بتن تعیین نشده است .

پلیمرها و یا مواد مصنوعی که برای سیستم های فوق مورد استفاده قرار می گیرد بسیار متنوع می باشد ولی بطور کلی از دو گروه اصلی پلیمرهای آماده و منومرها استفاده می شود که در جدول " ۲ " نشان داده شده است . پلیمرهای استفاده شده در گروه اول مواد مصنوعی هستند که پلیمریزه شده اند و بصورت پلیمر آماده به بتن تازه اضافه می گردند . در این گروه دیسپرز یون های تروموپلاستیک و الاستیک و همچنین پودرهای با قابلیت دیسپرز یون قرار دارند . مواد دیسپرز یونی در اثر پلیمریزاسیون تبدیل به

یک امولوسیون ( از آب و مایع منومر ) می گردند . قطر پلیمر تشکیل شده به این ترتیب تقریباً " تا " است . دیسپرز یون ها می توانند از یک و یا چند منومر تشکیل شده باشند که در نتیجه ایزوپلیمریزات و یا مخلوط پلیمریزات ( کوپلیمر ) بوجود می آید . در اثر مخلوط کردن پلیمرهای مختلف می توان خواص چسبندگی ، نگاه داشتن آب ، نفوذپذیری و غیره را تغییر داد . سخت شدن دیسپرز یون ها بصورت فیزیکی صورت می گیرد ، باین ترتیب که دیسپرز یون ها در اثر هیدراسیون سیمان و خشک شدن ملات و یا بتن آب خود را از دست داده و در نتیجه اجزاء پلیمر به یکدیگر می چسبند ، مثال برای این تیپ در قسمت راست جدول ۲ دیده می شود .

پودرهای با قابلیت دیسپرز یونی ، بوسیله دستگاه خشک کن اسپرئی از مواد دیسپرز یونی تولید می گردند ، این مواد تجمعی از اجزاء پلیمر می باشند اندازه آنها تا می رسد . پس از حل شدن این مواد در آب عمل سخت شدن دقیقاً مانند دیسپرز یون ها انجام می گیرد .

شایان ذکر است که بعلت روش خاص تولید این مواد ، تمام مواد دیسپرز یونی ( پخش کننده ) پلیمری برای این تولید مناسب نیستند . در حال حاضر علاوه بر دو نوع کوپلیمر اشاره شده در جدول ۲ آکریلات پودری که قابلیت دیسپرز یونی دارد نیز تولید می شود .

گروه دوم مواد مصنوعی که در بتن مورد استفاده قرار می گیرند منومرها می باشند این مواد در اصطلاح علمی رزینهای دورا پلاستیک و یا بعبارت دیگر رزینهای مصنوعی نامیده می شود . این رزینها بوسیله واکنش شیمیایی پلیمریزاسیون افزایشی و یا پلیمریزاسیون سخت می گردند انجام واکنش پس از مخلوط کردن مواد با یکدیگر صورت می گیرد . تفاوت این نوع رزینها در معلق شدن ( امولسیون ) و یا غیر قابل معلق شدن ذرات آن در آب است . رزینهایی که در آب بصورت ذرات معلق هستند بیشتر برای بتن های اصلاح شده با مواد پلیمری ( PCC ) استفاده می شوند [ ۵ ] . به این ترتیب که رزین سخت شده همراه با سیمان هیدراته شده ، چسبنده ملات را تشکیل می دهند ، به همین جهت باید رزین و سخت کننده در آب بصورت امولسیون در آید و همچنین در زمان سخت شدن با هیدراسیون سیمان سازگار باشند [ ۶ ] . در حال حاضر بیشتر از رزینهای اپوکسی استفاده می شود که سخت کننده و رزین آن بصورت مایع می باشد .

رزینهایی که قابلیت امولسیون شدن در آب را ندارند بیشتر در بتن های پلیمری ( PC ) و یا لایه ارتباطی چسبنده بین بتن جدید و قدیم و یا بعنوان پوشش های سطحی مورد استفاده قرار می گیرند . رزین های اپوکسی که در حال حاضر استفاده می شوند در مقابل رطوبت حساس هستند و باید عمل مخلوط کردن با دقت انجام گیرد .

دیسپرز یون های ترموپلاستیک و الاستیک و پودرهای با قابلیت دیسپرز یون و رزینهایی که قابلیت امولسیون شدن دارند برای بتن های اصلاح شده با مواد مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرد ( بعبارت دیگر برای PCC ) . رزین هایی که قابلیت امولسیون شدن را ندارند برای بتن و ملات های رزینی ( PC ) مورد استفاده قرار می گیرد . با توجه به موارد فوق و اختلاف در روند واکنش ، عرضه این مواد به صورت یک جزئی ، دو جزئی و یا چند جزئی باشند .

علاوه بر اختلاف در روند واکنش سیستم بتن اصلاح شده با مواد مصنوعی ( PCC ) و بتن رزینی ( PC ) مواد مصنوعی بکار رفته در دو سیستم خواص متفاوتی در بتن ایجاد می نماید .

خواص مواد مصنوعی متنوع و قابل تغییر است . حال اگر این ماده مصنوعی با سیمان ، آب و مصالح سنگی مخلوط شود تغییر بیشتری در خواص نیز امکان پذیر می گردد . به همین جهت می توان مقدار آن را بر اساس سازگاری با سازه مورد نظر تنظیم نمود . همانطور که قبلاً توضیح داده شد پلیمر ملات و یا بتن های اصلاح شده با مواد مصنوعی ( PCC ) از مواد دیسپرز یون ( پخش کننده ) و یا پودرهای غیر دیسپرز یون و رزین هایی که در آب بصورت ذرات معلق ( امولسیون ) هستند ، تشکیل شده اند . مقدار این مواد مصنوعی در ملات یا بتن ۵ تا ۱۰ درصد وزن سیمان می باشد ولی در موقعی که از پودرهای با قابلیت دیسپرز یونی استفاده می شود این مقدار باید کمتر از ۵ درصد باشد .

ترمیم بتن چیست ؟ ترمیم سازه های بتنی به علت ماهیت بتن ، امری رایج و ناگزیر در ساخت و بهره برداری از سازه های بتنی می باشد. نیاز به ترمیم می تواند به دلایل مختلفی ایجاد شود. از جمله ترمیم بتن به علت مشکلات طراحی ، ترمیم بتن به علت مشکلات ساخت و بهره برداری. از جمله روشهای ترمیم سازه های بتنی می توان به ترمیم بتن به روش شاکرتیت، ترمیم بتن به روش تزریق رزین پلی یورتان و اپوکسی ، ترمیم بتن به روش پوششهای ترمیمی ، ترمیم بتن به روش ساب سطوح بتنی، ترمیم بتن به روش ملات سیمانی ، ترمیم بتن به روش ملات و چسب پلی یورتان و اپوکسی و ... از جمله این روشها می باشند.

ترمیم و بازسازی بتن

ترمیم و بازسازی سطوح بتنی

اصلاح مناطق تخریب شده و یا فضاهای پوک و سست با استفاده از مصالح معمولی و یا چسب بتن از اشتباهاتی است که معمولاً نتیجه ای جز شکست نخواهد داشت. ترمیم بتن فقط توسط مصالح تخصصی و تیمهای با تجربه امکان پذیر خواهد بود. شرکت کلینیک فنی و تخصصی بتن ایران، راه حل های ممتاز و با دوامی برای حفاظت و ترمیم سطوح بتنی، ترمیم انواع ترکها، سطوح متخلخل، لانه زنبوری، شن زدگی، درزهای پله ای، نواحی ورودی لوله ها حفره های حاصل از Core گیری، ترمیم و پر نمودن حفره بولتها، ترمیم اسلبهای تخریب شده و معیوب و ... ارائه می نماید.

پروسه کامل ترمیم، شامل بررسی و تشخیص علت عیوب، آماده سازی سطح، تخریب و حذف نقاط پوک و سست، اجرای لایه های محافظت و ممانعت از خوردگی آرماتورها، اجرای پرایمر های واسط چسبندگی و نهایتاً پر کردن نواحی معیوب با ملات های ترمیمی مناسب بسته به عمق تخریب خواهد بود.

ملات های ترمیمی:

ISONEM M 03 –DEZOSIVE 1010-DEZOSIVE 1020-DEZOBOND 2200-ISONEM M 36 و ... محصولات از

جمله مواردی هستند که در رفع معظلات و عیوب بتن توسط متخصصین پیشنهاد می گردد.

از جمله مزایای استفاده از سیستم های مدرن ترمیم سیمان پلیمری، عبارتند از رفتار فیزیکی مشابه بتن

• متخلخل با قابلیت پخش بخار

• قابلیت اعمال بر سطوح مرطوب

• مقاوم در برابر نمکهای یخ زدایی

• عدم جدایش از بتن اصلی تحت تنش های محیطی

• چسبندگی فوق العاده به سطح بتن و دوام بسیار خوب

کاهش میزان نفوذ (CO2 مقاوم در برابر کربوناسیون

• رسیدن به حداکثر مقاومت های فیزیکی و مکانیکی و در حداقل زمان

سخت شدن بدون ایجاد ترک و با میزان جمع شدگی Shrinkage بسیار کم

توجه: میزان مواد مورد نیاز برای ترمیم بتن به مقدار پوکیها و سایر عیوب بتن بستگی داشته و بهیچوجه قبل از تخریب نقاط سست قابل محاسبه نمی باشد

• ترمیم ترکهای سطوح بتنی

روشهای مقابله با انواع ترکها متفاوت خواهد بود.

لذا اولین قدم در انتخاب روش ترمیم شناخت ترک می باشد. مسلماً برخورد با ترکهای دینامیک با سایر ترکها متفاوت خواهد بود.

ترمیم ترکهای دارای حرکت با مصالح غیر منعطف نهایتاً با شکست روبرو خواهد گردید. بنابراین باید ترکهای متحرک با انواع

ماستیک (ماستیک های پلی یورتان ارجعیت دارند) و یا مواد الاستومری اصلاح گردند. در خصوص ترکهای بدون حرکت ترمیم با مصالح تخصصی پایه سیمانی موثر خواهد بود

• قدم بعدی پس از شناسایی ترکها آماده سازی می باشد. باز کردن دهانه ترکها و شکل دادن به آنها غیر از تسهیل در انجام

عملیات ترمیم موجب خواهد گردید که مساحت درگیر مواد با لبه ترک افزایش یابد

تمیز کردن و زدودن گردخاک مرحله بعدی کار خواهد بود که معمولاً با فشار باد(در خصوص ماستیکها) و فشار جت سیال (در

خصوص ملاتهای ترمیمی) انجام خواهد گردید. ادامه کار براساس دستورالعمل تولید کننده محصول انتخابی برای اصلاح ترک انجام خواهد گردید.

ترمیم کننده بتن نانو Nano

مواد ترمیم کننده نانو Nano محصولات با مشخصات و مکانیسم ویژه به همراه چسبندگی فوق العاده زیاد، در تمام محیط های خورنده با PH های مختلف قابل استفاده بوده و بهترین محصول برای ترمیم سازه هایی است که در مناطق مرطوب قرار دارند. محصولات نانو می تواند تا عمق بیشتر از ۱۵۰ سانتی متر در ترکهای موئین بتن نفوذ کنند. همچنین ذرات نانو به طور طبیعی بر روی میلگردها پوششی ایجاد کرده که این عمل بر اساس حفاظت کاتدیک بوده و از فرسایش و خوردگی میلگردها جلوگیری می کنند. از دیگر مزایای مصالح نانو توانایی ترمیم ترکها در سازه های بتنی مسلح، که ترمیم حفره های با عمق بزرگتر از ۱۰۰ میلی متر و کرمو شدگی بتن و ترمیم گسترده در مکانهایی که استفاده از قالب امکان پذیر نباشد می باشد. از جمله کاربردهای دیگر نانو مصالح می توان به ترمیم و مقاوم سازی سازه های بتنی مانند پایه و عرشه پل ها، استخرها، مخازن آب، اسکله ها، برج های خنک کننده، پالایشگاه ها و تجهیزات صنعتی و پتروشیمی، مراکز تصفیه آب و فاضلاب و ترمیم ساختمانهای تاریخی و بازسازی آثار باستانی اشاره کرد.

#### ترمیم کننده اپوکسی بتن

ترمیم کننده بتن ملاتی سه جزئی بر پایه رزین اپوکسی می باشد که جزء اول رزین اپوکسی به عنوان پیوند دهنده، جزء دوم هاردنر و جزء سوم فیلر می باشد. هاردنرهای مورد استفاده جهت پختن رزینهای اپوکسی معمولاً پلی آمینهای آلیفاتیک و آروماتیک می باشند.

شرکت کلینیک فنی و تخصصی بتن ایران برای ساخت این ملاتها از رزین هاردنرهای شرکت isonem ترکیه استفاده می کند. ملاتهای بر پایه رزین اپوکسی این شرکت در برابر اسیدهای معدنی با غلظت پایین، قلیاها و نمکها مقاومت بالایی دارند و با توجه به نوع هاردنر مورد استفاده دارای مقاومتها بسیار متنوعی می باشند. این ملاتهای پلیمری انقباض (Shrinkage) و نشست در طی زمان عمل آوری ندارند و مقاومت آنها در برابر نفوذ روغنها، مایعات و اکثر مواد شیمیایی مورد استفاده در کارگاه های صنعتی، اسکله ها، فرودگاه ها، ساختمان و مخازن بسیار مناسب می باشد. ترمیم کننده بتن فاقد کلراید بوده و پس از عملیات ترمیم و مقاوم سازی باعث خوردگی در آرماتورها نمی شود. از این مواد همچنین برای ایجاد پوشش FRP لاینینگ ضد خوردگی که دارای مقاومتها بالایی شیمیایی می باشد، استفاده کرد.

ملات ترمیمی اصلاح شده با پلیمر

Isonem M 03 یک ملات ترمیماتی پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر و الیاف برای ترمیم سطوح افقی، قائم و بالای سر می باشد. Isonem M 03 می تواند به همراه چسب اپوکسی پیوند دهنده بتن برای ترمیم های با ترافیک بالا مورد استفاده قرار گیرد.

موارد مصرف و کاربرد: از این محصول می توان در موارد ذیل استفاده نمود:

- ترمیم بتن های اکسپوز
  - ترمیم و بازسازی ستون، دیوار و سقف ها
  - ترمیم بتن مخازن آب و فاضلاب
  - ترمیم انواع بتن و ملات های آسیب دیده
  - ترمیم سطوح بتنی پیش از اجرای لایه نهایی کاشی، سرامیک و سنگ
  - ماهیچه کشی و ترمیم درزهای دیوارهای بنایی
- مزایا و مشخصات:
- یک جزئی بوده و برای مصرف صرفاً نیاز به افزودن آب می باشد
  - امکان اختلاط با قوام مختلف

- با توجه به خصوصیات تیکسوتروپ امکان اجرا بر روی سطوح عمودی را دارد
  - امکان اجرا با ضخامت ۱۰۰ میلیمتر در یک لایه
  - غیر خورنده و غیر سمی
  - نفوذ پذیری پایین
  - عدم ترک خوردگی
  - انطباق حرارتی با بتن پایه
  - مقاومت فشاری و مکانیکی مناسب
  - امکان اجرا با تجهیزات شاتکریت
- مشخصات فنی :
- مشخصات ظاهری / رنگ : پودر خاکستری
  - پایه شیمیایی : ملات پایه سیانی اصلاح شده با پلیمر و الیاف
  - چگالی ملات تازه : ۰,۱ + ۰,۰۰ + ۲,۰۰ کیلوگرم در لیتر (در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد)
  - اندازه بزرگترین دانه : حداکثر ۱,۳ میلیمتر
  - ضخامت اجرا : حداقل ۱۰ میلیمتر و حداکثر ۱۰۰ میلیمتر
  - دمای اجرا : بین ۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد
  - خشک شدن : ۱ ساعت در دمای بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد
  - مقاومت فشاری : هفت روزه ۴۵ نیوتن بر میلیمترمربع - بیست و هشت روزه ۵۵ نیوتن بر میلیمترمربع
  - مقاومت خمشی : هفت روزه ۷,۵ نیوتن بر میلیمترمربع - بیست و هشت روزه ۹,۸ نیوتن بر میلیمترمربع
  - مقاومت چسبندگی : بیش از ۱,۵ نیوتن بر میلیمترمربع
- روش مصرف : آماده سازی سطح زیر کار : قبل از اجرا ترمیم ، سطح بتن باید از هر گونه آلودگی ، روغن ، گردو غبار ، بتن سست ، چربی و رنگ ، پاکسازی گردد. جهت افزایش چسبندگی ملات به سطح کار می توان نسبت به اعمال چسب بتن Isonem D 10 با استفاده از قلمو اقدام نمود. در صورت استفاده از این چسب پیوند دهنده نیاز به مرطوب کردن سطح کار نیست. دمای بستر و محیط اجرای عملیات باید بین ۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد باشد.
- نسبت اختلاط : یک کیسه ۲۰ کیلوگرمی Isonem M 03 برای آماده سازی نیازمند ۵ تا ۵,۵ لیتر آب می باشد. نسبت آب به پودر ۰,۲ تا ۰,۲۲ و یا ۵-۴,۵ : ۱ ( براساس وزن ) است.
- اختلاط : پودر به میزان صحیح و براساس مشخصات با پیمانانه ، به ظرف حاوی آب اضافه می گردد. اضافه کردن پودر باید همزمان با همزدن آرام صورت گیرد. برای ایجاد مخلوطی همگن و فاقد حباب بیش از حد هوا ، می بایست از همزن برقی با دور پایین ( ۵۰۰ دور دقیقه ) به مدت در حدود ۳ دقیقه استفاده شود.
- روش اجرا: Isonem M 03 را می توان با تجهیزات شاتکریت تر ، کاردک و یا ماله اجرا نمود. سطح زیر کار باید با استفاده از آب تمیز و مناسب و یا چسب پیوند دهنده مرطوب گردد. در ترمیم های با ضخامت بیش از ۱۰۰ میلیمتر ، Isonem M 03 باید در چند لایه اجرا گردد. با فاصله کمی پس از اجرا می توان سطح کار را با استفاده از ماله چوبی پرداخت و صاف نمود. برای ایجاد سطح نهایی بسیار خوب ، استفاده از Isonem M 03-T توصیه می شود. عملیات ترمیم انجامی باید به مدت هفت روز مطوب نگه داشته شود.
- تمیز نمودن ابزار و تجهیزات : برای تمیز نمودن تجهیزات و ابزار ، باید نسبت به شستشوی آنها بلافاصله پس از مصرف با استفاده از آب اقدام نمود. تمیز نمودن مواد خشک شده صرفا با استفاده از تجهیزات مکانیکی امکان پذیر خواهد بود.

عمل آوری : جهت عمل آوری استفاده از مواد کیورینگ مناسب و یا سایر روش های عمل آوری استاندارد توصیه می شود. در صورت وجود تابش شدید آب و یا وزش باد ، می بایست دقت بیشتری در حفظ آب به عمل آید. محدودیت ها و نکات اجرایی :

- از به کارگیری آب اضافه نسبت به مقادیر توصیه شده پرهیز گردد.
  - باید نسبت به رعایت حداقل های محصول دقت نمود.
  - حداقل و حداکثر های دما در هنگام اجرا باید رعایت شود.
  - دمای کم باعث کند شدن گیرش و دمای بالا باعث تسریع در فرآیند گیرش می گردد.
  - زمان کارآیی نسبت عکس با دمای محیط دارد.
- میزان مصرف : برای ایجاد یک لایه به به ضخامت ۱ میلیمتر در مترمربع ۲ کیلوگرم Isonem M 03 مورد استفاده قرار می گیرد. میزان مصرف دقیق ملات به شرایط سطح زیر کار، محل ترمیم و روش اجرا بستگی دارد. بسته بندی : این محصول در کیسه های ۲۰ کیلوگرمی تولید و ارائه می گردد. انبارداری : در محیط سرپوشیده و به دور از تابش آفتاب و دمای زیاد نگهداری شود. عدم توجه به روش انبارداری صحیح باعث آسیب رسیدن به محصول و یا ظرف آن می گردد .
- نکات ایمنی : همانند تمامی محصولات شیمیایی دقت شود تا از تماس با چشمها ، دهان ، پوست و مواد غذایی پرهیز گردد ( این دستورالعمل در مورد بخار آن تا زمان خشک شدن نیز جاری می باشد). در صورت تماس با پوست و چشمها بلافاصله آن را تمیز نماید . اگر به طور اتفاقی بلعیده شد . اقدامات پزشکی انجام شود . در ظرف ها را پس از استفاده ببندید و برای اطلاع از انبار داری ویژه یا انهدام باقیمانده مواد به برشور ایمنی محصول مراجعه نمایید.
- تاییدیه کیفیت : تمام محصولاتی که توسط شرکت کلینیک فنی و تخصصی بتن عرضه می گردد مطابق با استانداردهای کیفی بین المللی می باشند.

پکرگذاری و تزریق اپوکسی و پلی یورتان به بتن

سیستم های تزریق اپوکسی به بتن

ترک های موجود در بتن با توجه به اهمیت سازه و علل وقوع آن ها دسته بندی و ترمیم و بازسازی نمود. تزریق رزین اپوکسی تحت فشار (Concrete Resin Injection Systems) و پکر گذاری به منظور جوش دادن عضو بتنی گسیخته شده در اثر ترک خوردگی، از جمله روشهای مقاوم سازی کاربردی می باشد. اپوکسی تزریقی خلل ها و ترک های بتن را پر کرده و همچنین مانند سد پوشش محافظ از ورود آب به داخل سطوح جلوگیری می نماید.

رزینهای اپوکسی مورد استفاده در سیستمهای تزریق به بتن از اختلاط دو جزء رزین سخت شده (SET) و جزء عمل آورنده (Curing Agents) یا سخت کننده (Hardeners) حاصل می شود. رزین تزریقی ویژگیهای چسبندگی بسیار عالی، مقاومت شیمیایی در برابر اسیدها، افت کم، زود سخت شونده (زمان عمل آوری پائین) و مقاوم در برابر رطوبت دارند. مراحل پر کردن ترک های بتن توسط تزریق اپوکسی عبارتست از:

- ۱) تمیز نمودن سطوح ترکهای موجود با استفاده از مواد شیمیایی مخصوص و نصب روزنه های تزریق در فواصل مشخص
- ۲) درز بندی سطوح ترک توسط چسبهای ویژه بمنظور تحمل فشار ناشی از تزریق تا امکان نفوذ رزین اپوکسی فراهم شود.
- ۳) تزریق رزین اپوکسی مخصوص (با چسبندگی کم و زمان گیرش مناسب و تنظیم شده) توسط پمپهای ویژه از پایین ترین روزنه
- ۴) به محض ریزش رزین از روزنه تزریق بعدی، شیر روزنه بسته می شود و از روزنه بعدی عملیات تزریق انجام می شود. فشار اولیه تزریق معمولا ۲۵ اتمسفر می باشد که در طی اجرای تزریق به تدریج فشار افزایش داده می شود.
- ۵) به منظور بررسی و اطمینان از تزریق صورت گرفته و میزان نفوذ رزین اپوکسی در بتن، مغزه گیری از ترکها صورت می گیرد. همچنین می توان نمونه های بدست آمده را با استفاده از جک بارگذاری شکست و صفحه شکست مغزه را بررسی کرد.



تزریق پلی یورتان دو جزئی

آبریزش LEAKAGE آب در بتن‌هایی که تحت فشار آب می‌باشند (نظیر آب بندی تونلها، تاسیسات بتنی زیر دریایی، چاله آسانسورها و ...) توسط تزریق پلی یورتان دو جزئی قابل ترمیم و آب بندی می‌باشد. پلی یورتان در ترکیب با آب واکنش نشان داده و حدوداً ۱۰ تا ۱۵ برابر متوم می‌شود. بدین ترتیب کلیه درزها، خلل‌ها و ترک‌های داخل بتن پر می‌شود. این محصول توسط پمپ مخصوص توسط اکیپ مجرب شرکت جهت آب بندی فشار منفی آب در بتن تزریق می‌شود.

#### تعمیر ترک سازه‌ای با تزریق اپوکسی

شیوه تزریق بسته به محل ترک و کاربری عضو ترک خورده متفاوت است. مثلاً برای ترک‌های افقی، عمودی یا بالاسری باید رویکردهای متفاوتی در نظر گرفت. روش کار می‌بایست بر اساس میزان دسترسی به سطح ترک خورده و ابعاد ترک‌ها انتخاب شود. ترک‌ها را می‌توان از یک طرف یا هر دو طرف عضو ترک خورده تزریق نمود. اگر امکان تزریق فقط از یک سمت عضو میسر باشد، ممکن است تغییر در غلظت ماده اپوکسی، تجهیزات مورد استفاده برای تزریق، میزان فشار تزریق و تعیین فواصل مناسب تزریق لازم باشد تا از نفوذ کامل اپوکسی در ترک اطمینان حاصل شود. در مورد علل و روش‌های درمان ترک در بتن نوشته شده است که از مهمترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- ترک‌های ناشی از انقباض بتن حین خشک شدن
- ترک‌های ناشی از انقباض و انبساط‌های حرارتی
- ترک‌های ناشی از نشست
- ترک‌های ناشی از فقدان درزهای کنترلی مناسب
- شرایط بارگذاری نامتناسب که موجب ایجاد ترک‌های خمشی، کششی و برشی در بتن می‌شود.
- ترک‌های ناشی از قیود و موانع حرکتی یکی از راهکارهای بلقوه مؤثر در تعمیر ترک
- تزریق تحت فشار مواد اپوکسی درون ترک

به تناسب کیفیت اجرا و رعایت شرایط خاص و ملزومات کار درزگیری، تعمیر ترک‌ها به روش تزریق اپوکسی می‌تواند سلامت سازه‌ای عضو را بازگرداند و و میزان نفوذ رطوبت به ترک‌های با عرض ۰/۵ میلی‌متر و بیشتر را کاهش دهد. هر چند، قبل از اقدام به هر تعمیری در بتن، علت ایجاد ترک باید مشخص شده و رفع شود. به طور کلی هدف از تعمیر باید از قبل مشخص شود. به عنوان مثال اگر ترک ایجاد شده در بتن ناشی از وجود قید یا مانع حرکتی باشد، روش درزگیری با اپوکسی فایده‌ای نخواهد داشت. در ترک‌های روی سطوح مسطح افقی که عرض مناسبی دارند، روش پرکردن ترک با اپوکسی بدون اعمال فشار اضافی، مناسبترین روش تعمیر است.



img loading="lazy" class="aligncenter size-full wp-image-8962" >  
تزریق اپوکسی با  
"src="http://www.omransoft.ir/wp-content/uploads/2017/03/P1030555.jpg" alt  
width="809" height="500" srcset="http://www.omransoft.ir/wp-  
content/uploads/2017/03/P1030555.jpg 809w, http://www.omransoft.ir/wp-  
content/uploads/2017/03/P1030555-300x185.jpg 300w, http://www.omransoft.ir/wp-  
content/uploads/2017/03/P1030555-768x475.jpg 768w" sizes="(max-width: 809px) 100vw,  
< "809px

هدف از اجرای این نوع تعمیر

هدف اصلی از انجام این نوع تعمیر، بازگرداندن سلامت و صحت عملکرد سازه‌ای و عایق نمودن عضو بتنی در مقابل نفوذ رطوبت است. معمولاً تزریق زمانی به عنوان روش انتخابی در تعمیر ترک‌های افقی، عمودی و بالاسری مورد استفاده قرار می‌گیرد که سایر روش‌های مرسوم قادر به پرکردن کامل مواد تعمیراتی به درون ترک نباشند. پیش از شروع درزگیری با روش تزریق اپوکسی باید علت ترک خوردگی مشخص شود و تعمیر سازه‌ای عضو به طور قطع در دستور کار تعمیر قرار گیرد. اگر ترک مورد نظر در عملکرد سازه‌ای کل سازه مورد نظر بی تأثیر باشد، احتمالاً روش تزریق با گروت پلی اورتان یا دیگر ملات‌های غیرسازه‌ای می‌تواند انتخاب مناسبتری برای پر کردن ترک باشد.

در صورت لزوم تعمیر سازه‌ای، عواملی که باعث ایجاد ترک شده، قبل از انجام تزریق اپوکسی، باید برطرف شود. چنانچه ترک مرطوب بوده و خشک کردن آن امکان پذیر نباشد، از ماده اپوکسی سازگار با رطوبت باید استفاده شود. ترک‌های ناشی از خوردگی آرماتورهای فولادی نباید به روش تزریق اپوکسی تعمیر شوند زیرا ادامه فرآیند خوردگی موجب بروز ترک‌های جدیدی خواهد شد.



تبلیغ



تا ماشینت ارزون نشده، با بهترین قیمت بفروشت! (کاملاً رایگان)

مشاهده

آماده سازی سطح

ناحیه اطراف ترک به عرض حدود ۱۳ میلیمتر از هر سمت باید تمیز شود. دلیل این کار، اطمینان از پیوستگی مناسب بین مصالح مصرفی در درزگیری با بتن ناحیه ترک است. تمیز نمودن با برس سیمی توصیه می‌شود زیرا ابزارهای ساب مکانیکی ممکن است درحین کار ترک را با گرد و غبار پر کنند. آلودگی‌ها را همچنین می‌توان با آب تحت فشار، هوای فشرده چربی زدا یا جاروی برقی صنعتی برطرف نمود. وقتی از آب برای تمیز کردن ترک استفاده می‌شود، برای تسریع در روند خشک شدن درز، باید از هوای گرم تحت فشار استفاده نمود. در غیر این صورت، قبل از تزریق با مواد اپوکسی حساس به آب، فرصت کافی برای خشک شدن طبیعی ترک باید لحاظ شود. در جاهایی که بتن طرفین ترک شکسته باشد، باید محل درز ترک به شکل شیار V تراشیده شود تا سطح بی‌عیبی از بتن نمایان شود. در مواقعی که هنگام تزریق اپوکسی تحت فشار نیاز به ایجاد لایه درپوش محکمتری بر روی ترک باشد از این شیار می‌توان استفاده کرد.

ویژگی‌های زیر را در مورد انتخاب نوع اپوکسی، می‌توان در انتخاب در نظر گرفت.

- مدول الاستیسیته (سختی)

- عمر سازه

- تغییرات رطوبت

- رنگ

- مقاومت فشاری، خمشی و کششی

## ملاحظات ایمنی

رزین‌های اپوکسی مواد خطرناکی هستند و در مواجهه با آنها باید این موضوع را در نظر گرفت. دستورالعمل‌های ایمنی محیط کار باید مد نظر قرار گیرند و تنها به موارد ذکر شده در زیر بسنده نشود.

- شیوه نامه مشخصات ایمنی محصول باید در کارگاه موجود باشد.
- پوشیدن لباس و عینک ایمنی مخصوص در هنگام کار
- استفاده از دستکش لاستیکی و کرمهای محافظ برای دست‌ها
- امکانات لازم برای شستشوی چشم‌ها در صورت نیاز
- دستگاه تنفس مصنوعی برای مواقع ضروری
- دستگاه تهویه برای فضاهای بسته
- مخزن ایمنی برای نگهداری مواد خطرناک
- در دسترس بودن مواد شوینده

اطلاع رسانی افراد در محل در حین اجرا برقراری و اجرای شیوه‌های تأمین سلامتی و ایمنی مقتضی و متناسب با شرایط کار بر عهده مجری است. کاربر باید قابلیت اجرا و کلیه محدودیت‌های مشخص شده را قبل از استفاده بررسی نماید.

## همانگی قبل از اجرا

پیش از اقدام به شروع عملیات درزگیری، برگزاری یک جلسه همانگی قبل از اجرا توصیه می‌شود. در این جلسه همه‌ی طرف‌های دخیل در پروژه تعمیر باید حضور داشته باشند (کارفرما، مشاور، پیمانکار، تولیدکننده مصالح و ...) و به صورت ویژه در خصوص پارامترها، مفاهیم، دستورالعمل‌ها، سیمای نهایی کار و الزامات مواد مصرفی برای نیل به اهداف تعمیر توضیحات لازم را بیان کنند. روش تعمیر ترک

نصب پستانک‌های مخصوص ورود مواد تزریق، پستانک‌ها باید صرفاً پس از آماده کردن سطوح نصب شوند. دو نوع از پستانک‌های مخصوص برای تزریق قابل استفاده هستند.

- سطحی (نصب شده روی سطح)
- سوکتی (نصب شده روی سوکت)

پستانک‌ها می‌توانند مانند هر وسیله لوله مانند، حرکت و انتقال رزین اپوکسی به درون ترک را میسر سازند. برخی تفنگ‌های مخصوص تزریق با نازل خاصی که دارند، امکان تزریق بدون استفاده از پستانک‌های مذکور را فراهم می‌کنند. در هنگام نصب پستانک‌ها رعایت فواصل ۴۰ میلیمتری مرکز به مرکز آنها باید رعایت شود که البته این فواصل در ترک‌های عریضتر می‌تواند افزایش یابد. فواصل پستانک‌ها ممکن است بر اساس ضخامت عضو بتنی تعیین شود. پستانک‌های نصب شده روی سطوح مسطح افقی، برای اکثر ترک‌ها مناسب هستند. پستانک‌های سوکتی در ترک‌هایی که بسته شده باشند مثلاً زمانی که با بتن کلسیته شده مواجه باشید، کاربرد دارند. البته می‌توان از سیستم دارای چند خروجی برای تغذیه همزمان چند پستانک بطور همزمان بهره گرفت که به صرفه نیز است.

## اجرای لایه درپوش روی درز ترک

اجرای صحیح لایه درپوش روی ترک موجب حفظ ماده اپوکسی تزریق شده در وضعیت صحیح در زمان تزریق درون ترک می‌شود. زمانی که ترک‌ها کاملاً در ضخامت یک مقطع بتنی گسترش پیدا کرده باشند، بهترین حالت، اجرای لایه درپوش در هر دو طرف مقطع ترک خورده است که باعث محصور شدن مواد اپوکسی تزریق شده درون شیار ترک خواهد شد. جنس لایه‌های درپوش معمولاً از مواد اپوکسی، پلی استر، واکس پارافینی و پودر بتونه سیلیکونی هستند. انتخاب صحیح ماده مصرفی برای درپوش باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های زیر و با توجه به نوع ترکی که تحت تعمیر قرار گرفته است صورت گیرد.

- پایداری در مقابل نفوذ و شُرّه زدن مواد درون ترک ( برای ترک‌های عمودی و بالاسری)
- تغییرات رطوبت
- عمر سازه
- مدول الاستیسیته (سختی)

دمای بتن بعد از اجرای لایه درپوش تغییر می‌کند و قبل از تزریق ممکن است موجب ترک خوردگی لایه شود. اگر این اتفاق رخ داد باید قبل از تزریق نسبت به ترمیم لایه اقدام نمود. قبل از اجرای لایه درپوش باید محل عریضترین نقطه ترک را علامتگذاری نموده و به موارد زیر نهایت توجه صورت گیرد. فقط از موادی استفاده شود که تاریخ مصرفشان منقضی نشده باشد. نسبت به بخشبندی دقیق ناحیه اجرای کار اقدام شود. سعی شود بخش‌های اجرای کار، تا حد ممکن کوچک انتخاب شوند تا مواد مصرفی بدلیل طولانی شدن مدت اجرا کهنه نشوند. رعایت فاصله پستانک‌ها به شکل صحیح صورت گیرد. اجرای یکنواخت لایه درپوش در ابعادی به عرض ۲۵ میلیمتر و به ضخامت ۵ میلیمتر در طول ترک صورت گیرد.

#### تزریق اپوکسی

- برای یک تزریق موفقیت آمیز لازم است نسبت به بخش بندی مناسب محل و ترکیب متناسب مواد اپوکسی، دقیقاً بر اساس دستورالعمل تولید آن، اقدام شود.
- قبل از شروع اجرا باید اطمینان حاصل شود که لایه درپوش و پستانک‌های تزریق به خوبی در جای خود محکم و پایدار باشند تا بتوانند فشار ناشی از تزریق را تحمل کنند. آغاز تزریق باید از عریضترین نقطه ترک در سطوح افقی شروع شود (پیش از قراردادن لایه درپوش، این نقطه باید مشخص شود).
- در ترک‌های قائم تزریق معمولاً باید از پایین به بالا صورت گیرد. عمل تزریق باید تا حد امکان ادامه یابد. اگر یکی از ورودی‌های مجاور شروع به پس زدن ماده و تراوش به خارج نمود.
- عملیات تزریق در ورودی فعلی باید متوقف و درپوش آن بسته شود و ادامه عملیات از دورترین پستانک که در حال تراوش است (نسبت به نقطه فعلی) ادامه یابد.
- غالباً ترک‌های مویی با روش پمپاژ تا پس زدن پر نمی‌شوند. برای این ترک‌ها باید برای مدت ۵ دقیقه نسبت به تزریق اپوکسی با فشار بالا اقدام نمود (حدود ۳/۱ مگاپاسکال).
- انتخاب فواصل نزدیک به هم برای پستانک‌ها باید مبتنی بر قضاوت و فلسفه طراحی صورت گیرد. زمانی که تزریق درون یک ورودی تمام شد باید سریعاً درپوش آن بسته شود.
- برای تزریق درون ترک‌های خیلی تنگ یا افزایش سرعت تزریق می‌توان از فشار بالا استفاده نمود. هر چند که در هنگام استفاده از فشار بالاتر باید مراقبت‌های ایمنی در خصوص ترکیدن لایه درپوش یا پریدن پستانک‌ها صورت گیرد.

#### برداشتن پستانک‌ها و لایه درپوش

به محض اینکه کار تزریق به پایان رسید باید پستانک‌ها و لایه درپوش را با حرارت دادن، تراشیدن یا دستگاه ساب مکانیکی از روی سطح برداشت. اگر نمای ظاهری کار اهمیت نداشته باشد، لایه درپوش می‌تواند در محل باقی بماند. اما اگر برداشتن کامل لایه مورد نظر باشد، برای رسیدن به یک سطح تمیز و کاملاً صیقلی می‌توان از دستگاه ساب سطحی استفاده نمود.

#### چگونگی کنترل تعمیر ترک

برای اطمینان از موفقیت آمیز بودن تزریق، کنترل کیفیت بوسیله مغزه‌گیری یا آزمایشات غیر مخرب (NDE) انجام می‌شود.

#### آزمایش مغزه‌گیری

محل گرفتن مغزه‌ها باید طوری انتخاب شود که موجب قطع میلگردهای فولادی نشود. در نقاطی از عضو که تنش‌ها بیشتر است یا از نقاط زیر خط تراز آب نباید اقدام به مغزه‌گیری نمود. در صورت مواجهه با مشکلاتی از این قبیل، تعیین محل مغزه‌گیری بر

عهدہ مهندس مشاور می باشد. قبل از اینکه یک مغزه حفاری و خارج شود، باید اطمینان حاصل شود که ناحیه تزریق اپوکسی درون آن مغزه قرار گرفته باشد. مغزه گیری (معمولاً با قطر ۵۰ میلیمتر) برای کنترل میزان نفوذ مؤثر ماده اپوکسی انجام می شود. بازدید چشمی از مغزه ها در جهت مشخص نمودن میزان نفوذ اپوکسی در ترک صورت می گیرد. بر روی مغزه ها می توان آزمایشات مقاومت فشاری و مقاومت کششی را بر اساس ASTM C 42 انجام داد. در انتها، جای خالی مغزه ها باید (بعد از مراحل آماده سازی سطح) با یک ملات منبسط شونده یا ملات اپوکسی سازگار با بتن موجود و همچنین با بتن اطراف محل مغزه پر شوند.

روش های ارزیابی غیر مخرب

- امواج صوتی (IE)
- امواج فرا صوت (UPV)
- آنالیز امواج سطحی (SASW)

در این نوشته چهار مرحله تعمیر ترک بتن با استفاده از تزریق رزین اپوکسی و فوم پلی یورتان به وسیله دستگاه های تزریق مورد بررسی قرار می گیرد.

• ۱- تمیز کردن سطح ترک:

آلودگی هایی نظیر روغن، گریس، خاک و یا تکه های خرد شده بتنی مانع چسبندگی کامل شده و قدرت آن را کاهش میدهد. بنابراین سطوح اطراف ترک بایستی کاملاً خشک و تمیز باشد.



۲- نصب Port های تزریق

Port ماده ای از جنس پلاستیک سخت با یک کف مسطح می باشد که به عنوان مجرای عبور مصالح تعمیر کننده به داخل ترک مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از این مصالح، نیاز به حفاری بتن (مثلاً حفاری V شکل) را کاهش می دهد. پایه این Port ها بطور مستقیم بر روی ترک قرار داده می شود و با چسب اپوکسی به سطح چسبانده می شود.



### آب بندی کردن سطح ترک -3

آب بندی کردن ، یعنی فراهم کردن یک سطح آب بندی شده روی تمام سطح ترک تا اینکه مایع رزین قبل از سفت شدن به خارج ترک تراوش نکند در صورت تراوش قبل از سفت شدن ممکن است دقیقاً در همان ترک قبلی گسیختگی روی دهد. برای آب بندی کردن یک سطح می توان از اپوکسی، پلی استر یا مصالح دیگر استفاده کرد. البته یک نوع چسب اپوکسی به نام Emecole 301 در مدت زمان اندکی نظیر ۲۰ تا ۴۵ دقیقه سفت می شود و نیاز به زمان زیادی برای عمل آمدن ندارد. آب بندی سطوح باید طوری انجام شود که بتواند در مقابل فشار تزریق اتصال خود را حفظ کند. به این ترتیب باید تمام بازشدگی ها باز بمانند Port های ترک پوشانده شود و تنها اجازه داده می شود تا البته باید توجه داشت که برای بتن های با تخلخل بالا یا بتن های پیش ساخته شده با دانه بندی هایی که خاصیت جذب بالایی دارند، می بایستی ابتدا یک پوشش اولیه از همان رزینی که قرار است آب بندی با آن انجام شود ، برای نفوذ به داخل آب بندی بکار گرفته شود و پس آب بندی سطح انجام گیرد.



### 4- تزریق اپوکسی و پلی یورتان:

تزریق از پایین ترین Port شروع می شود و تا زمانی ادامه می یابد که ، اپوکسی یا پلی یورتان شروع به خارج شدن از Port بالایی آن کند.

حال باید ابتدای ترک را با کلاهک Port ها پوشانده و تزریق را برای Port بالایی تکرار کنیم. به این ترتیب تمام ترک ها پر می شوند

پس از گذشت زمان لازم برای عمل آمدن اپوکسی Port ها برداشته می شود .

### دستگاه های تزریق:

عمل تزریق با وسایلی نظیر Dual-Cartridge Dispenser و یا Caulk Gun و یا Jacole میتواند انجام شود. -اخیراً دستگاه تزریق کننده دو تایی Dual-Cartridge Dispenser مورد استفاده قرار می گیرد که همزمان دارای دو محفظه محتوی پلیمر می باشد .

-گاهی این محفظه ها بصورت یک بار مصرف نیز می توانند بر روی دستگاه قرار گیرند. هم چنین توسط این دستگاه می توان فشار تزریق را به دلخواه و به میزان مورد نیاز تغییر داد.

قبل از استفاده از پلیمر ها که معمولاً ترکیبات دو تایی یا دوقلو هستند باید با روشهای درست آماده سازی آنها را مخلوط کرد مثلاً Sikadur-52 که یک نوع رزین اپوکسی با مقاومت بالاست شامل رزین (جزء A) و سخت کننده (جزء B) است قبل از استفاده از

Sikadur-52 هر دو جزء باید با نسبت های مشخص تعیین شده به طور دقیق با هم مخلوط شوند که مخلوط کردن آنها بطور دستی ممکن است ترکیب درستی را به دست ندهد اما توسط این دستگاه می توان برای اختلاط ترکیبات دوتایی با نسبت های درست و دقیق، حتی در هنگام مصرف نیز اقدام کرد .



برای جلوگیری یا ترمیم ترکهای ایجاد شده در یک سازه ابتدا نیاز به شناخت ترک و سپس انتخاب روش مناسب برای ترمیم میباشد. عمده ترکهای ایجاد شده به دلیل عدم توجه طراح به برخی از نیروهای محوری و جانبی وارده به سازه، و برخی المانهای سازه ایکه در نرم افزارها قابل مدل کردن نیستند، و همچنین عدم رعایت نکات اجرایی لازم پیمانکار و یا کارگران پروژه می باشد. برای جلوگیری از این رویدادها نیاز به کسب تجربه اجرایی برای مهندسين، توسط مجری طراح و در برخی موارد اصلاح نرم افزارها میباشد. همچنین آموزش نکات و مقررات لازم به عوامل اجرایی یک پروژه که میتواند باعث جلوگیری از ایجاد ترک خوردگی در بتن شود تا حد زیادی موثر است. بسا که شناخت برخی نکات به ظاهر ساده میتواند از ایجاد فاجعه های بزرگ جلوگیری کند. بهترین روش برای جلوگیری از ترک خوردن بتن، رعایت نکات بیان شده در مراحل ابتدایی طراحی و ساخت می باشد؛ چرا که با ترمیم بتن شاید امکان ایجاد مقاومت اولیه باشد ولی کارفرما، مالک و صاحب کار نمیتواند احساس رضایت اولیه را نسبت به پروژه اجرا شده داشته باشد.

-میتوان انواع ترک های بتن را بر چهار نوع اساسی مورد بررسی قرار داد:

بررسی ماهیت ترک و محل ترک ایجاد شده

بررسی انواع ترک های ایجاد شده در سطح بتن

بررسی وضعیت و اندازه ترک در ساختمان

بررسی جهت ترک ایجاد شده

-بتن، مانند دیگر مصالح ساختمانی با تغییرات موجود در رطوبت و درجه حرارت، انقباض و انبساط می یابد و با توجه به بار وارده و شرایط نگهداری، تغییر شکل می دهد. زمانی که تمهیداتی برای این حرکات در طراحی و اجرا فراهم نشود، آنگاه ترک ما ایجاد میشود.

-برخی انواع ترک در بتن معمولی عبارتند از:

ترک های خمیری

ترکهای جمع شدگی ناشی از خشک شدن در بتن (ترکهای انقباضی)



ترکهای جمع شدگی ناشی از کربناتاسیون

ترکهای حرارتی سنین اولیه

-اصولاً تعمیر صحیح انواع ترک در بتن به علت وقوع و همچنین انتخاب روش درخور آن بستگی دارد، در غیر این صورت تعمیرات ممکن است بصورت موقت باشند. لذا برای یک تعمیر موفق و همیشگی بایستی از عدم پیشروی علل ترک خوردگی کسب اطمینان نمود. برخی روشهای رایج که برای تعمیر و اصلاح ترکها در اعضاء بتنی بکار گرفته میشوند، شامل موارد زیر است:

تزریق رزین اپوکسی یا فوم پلی یورتان

2. بخیه زدن

3. تنیدن

4. افزودن میلگرد محاسباتی

5. خورانش ثقلی

6. پر کردن با گروت یا دوغاب سیمان

ترمیم بتن

عمر مفید سازه های بتنی به ویژه سازه هایی که در معرض عوامل خورنده و آسیب زای محیطی قرار دارند به دلیل خوردگی آرماتور کاهش می یابد. ترک های بتن در صورت تجاوز از مقدار بحرانی آن سبب از بین رفتن پوشش بتنی می گردد که کاهش مقاومت پیوستگی بتن را بدنبال دارد و در نهایت بدلیل ایجاد ترک های بتن از عمر مفید سازه کاسته می شود. وجود ترک در بتن سبب کاهش مقاطع بتن، مقاومت بتن و در آخر قرار گرفتن آرماتورها در معرض عوامل آسیب زای محیطی می گردد. لازم بذکر است هنگام طراحی سازه باید جزئیات میلگردها به دقت طراحی و اجرا گردند تا در صورت مشاهده ترک در بتن، ابعاد ترک ها از مقادیر بحرانی آن ها تجاوز نکنند. ترک های سازه ای در عضو هایی مثل تیر، ستون و دال نمایان می گردند. وجود ترک در بتن علاوه بر تاثیری که در زیبایی سازه دارد در بعضی مواقع مشکلات سازه ای زیادی اعم از، از بین بردن آب بندی بتن را بدنبال دارد که ممکن است بر دوام ساختمان تاثیر گذار باشد ترک های بتن ممکن است فقط ترک های ظاهری در سطح بتن باشند یا در بعضی مواقع نشان دهنده ی عدم مقاومت کافی بتن و تنش های سازه ای مهم باشند که ممکن است حجم وسیع تری از مشکلات را بدنبال داشته باشند ترک های بتن بر اساس نوع ترک و نوع اسکلت ساختمان تحلیل می شوند، با آگاهی از نوع ترک های بتن می توان راه حلی مناسب جهت تعمیر و ترمیم بتن در نظر گرفت ضمناً اهمیت ترک های موجود در بتن بستگی به نوع سازه نیز دارد.

**تعمیر (ترمیم) ترک های بتن**

هنگام انتخاب روش مناسب جهت تعمیر و ترمیم ترک های بتن علاوه بر در نظر گرفتن نوع ترک، ابعاد ترک، وسعت ترک و نوع اسکلت سازه باید موقعیت فعلی ترک های بتن و شرایط محیطی سازه را نیز مورد توجه قرار داد. هنگام تعمیر ترک های بتن باید این مسئله را در نظر داشت که روش های موجود برای تعمیر ترک های بتن معمولاً سبب تغییر در ظاهر ترک های بوجود آمده نمی شود و در مکان هایی که زیبایی و معماری سازه از اهمیت زیادی برخوردار است باید روش هایی را جهت اصلاح این موارد اتخاذ کرد که عموماً ایجاد اندودهای مناسب پس از عملیات تعمیر ترک های بتن تا حدود زیادی می تواند ظاهر ترک ها را نیز اصلاح کند.

علت ایجاد ترک در بتن

اشتباهات طراحی

خطاهای اجرایی

آسیب های ناشی از حمله ی عوامل خورنده ی محیطی

آتش سوزی  
یخ زدگی بتن  
کیفیت نامطلوب مصالح اصلی  
تأثیرات دمایی  
نشست تکیه گاه  
حوادث طبیعی

### روش های تعمیر و ترمیم ترک های بتن

تزریق اپوکسی برای ترمیم ترک ها  
آب بندی ترک های بتن  
افزایش میلگرد  
بکارگیری گروت در نقاط ترک  
حفاری و اتصال  
بخیه زدن

### انواع ترک در بتن

**ترک های بتن در ستون:** ترک های افقی ظاهر شده در سطح بتن ستون ها بدلیل خوردگی آرماتورهای ستون یا بی توجهی در طراحی مقاطع خمشی برای ستون رخ می دهد. ترک های اریب در سطح ستون ها نیز بدلیل عدم مقاومت و سختی کافی ستون ها در تحمل بارهای محوری سازه ایجاد می شود

**ترک های بتن دال:** ترک های بوجود آمده در سطح بتن دال ها عموما بدلیل توزیع نامناسب میلگردهای بکار رفته در دال یا عدم امتداد میلگرد های اصلی در این نقاط رخ می دهد.

**ترک های ناشی از خوردگی در بتن:** ترک های ایجاد شده ناشی از عوامل خوردنده ی محیطی بدلیل کیفیت نامطلوب بتن ها، پوشش ناکافی بتن و خوردگی آرماتورها بروز می کند.

**ترک های بتن تیر:** ترک در تیرهای ساختمان به دلیل اشتباهات طراحی و اجرایی ساختمان و گاهی مشکلات قالب بندی ظاهر می شود.

**ترک های کششی بتن:** ترکهای کششی بتن بدلیل پایین بودن کیفیت بتن و کمبود تعداد آرماتور ها در مقاطعی که تحت کشش قرار دارند بوجود می آیند.

**۶- ترک های خمشی بتن:** یکی از ترک های مهم و تاثیر گذار در مقاومت نهایی سازه که سریعا نیازمند ترمیم می باشد این نوع ترک ها هستند. ترک های خمشی بتن زمانی بوجود می آیند که میزان مقاومت خمشی در مقاطع کم باشد و تارهای کششی در جهت تارهای دیگر همگرا شده باشند. ترک های خمشی بتن هم بصورت مجزا هم بصورت گروهی نمایان می شوند.

**ترک های برشی بتن:** ترک های برشی بتن در سطح بتن نیز از انواع ترکهای مهم در سازه هستند که به صورت تکی یا چند تایی تشکیل می شوند و گاهی مقاومت ساختمان را به دنبال دارند. این نوع ترک های بتن در نقاطی رخ می دهند که مقاومت برشی در مقاطع کم باشند. ضمنا گسترش این نوع ترک های در جهت بالا و پایین است.

**ترک های پیچشی بتن:** این نوع ترک ها عموما به صورت تکی و در شکل مارپیچ ظاهر می شوند و تشکیل این نوع ترک ها در بتن در مقاطعی که مقاومت پیچشی کم و عرض یکنواختی دارند می باشد.

ترک‌های سطحی بتن نامطلوب هستند و می‌توانند سبب ایجاد تنش بین کارفرما، تولید کننده بتن و اجرا کننده آن شوند. همچنین اگر در طرح بتن از افزودنی استفاده شده باشد معمولاً انگشت اتهام به سمت افزودنی مربوطه می‌باشد. ترک‌ها می‌توانند بعداً ترمیم شوند ولی معمولاً کارهای ترمیمی برای کارفرما ایجاد رضایت نمی‌کند و در نهایت انتظارات او را برآورده نمی‌کند. بهترین راه برای مقابله با موضوع ترک‌ها، جلوگیری از ایجاد آنها در مراحل اولیه تولید و اجرای بتن می‌باشد. آرماتورها و درزها به طور معمول برای کنترل ترک‌ها استفاده می‌شود. ترک‌های زیاد می‌توانند آرماتور را در معرض هوا و رطوبت قرار داده و عامل خوردگی آن شوند و گسترش خوردگی در طول زمان باعث تخریب بتن خواهد شد. با ایجاد درزهای مناسب تکراری می‌توان یک محل برای ترک‌ها فراهم کنیم تا بدون گسترش ترک‌های تصادفی سطح بتن، تشکیل شوند.

### انواع ترک‌های سطحی بتن

دو نوع ترک در بتن رخ می‌دهد:

ترک‌های قبل از سخت شدن بتن

ترک‌هایی که پیش از سخت شدن بتن و یا تا زمانی که بتن هنوز کارپذیر است، تشکیل می‌شوند.

ترک‌های بتن سخت شده

ترک‌هایی که بعد از گیرش و سخت شدن بتن ایجاد می‌گردد.

### ترک‌های قبل از سخت شدن بتن

ترک‌های قبل از سخت شدن بتن به طور معمول در حین بتن‌ریزی، متراکم کردن و پرداخت آن به دلیل حرکت بتن قبل از رسیدن به مقاومت قابل توجه، تشکیل می‌شود. سه نوع ترک قبل از سخت شدن بتن وجود دارد:

ترک‌های نشست خمیری (Plastic Settlement)

ترک‌های جمع‌شدگی خمیری (Plastic Shrinkage)

ترک‌های حاصل از حرکت قالب‌ها

اگر این ترک‌ها به زودی و در زمان اولیه شکل گرفتن دیده شوند با تراکم دوباره، صاف کردن و یا مالش می‌توان آنها را اصلاح کرد.

### ترک نشست خمیری (Plastic Settlement)



این ترک چه زمانی ایجاد می‌گردد؟

ترک نشست خمیری سریع و بعد از جاگذاری بتن و تا زمانی که بتن هنوز کارپذیر است تشکیل می‌شود. وقتی که بتن شروع به خشک شدن و از دست دادن آب می‌کند ترک‌ها شروع به گسترش عرضی کرده و متمایل به پیروی از خط آرماتورها هستند (شکل شبکه آرماتور اصلی در روی بتن به صورت ترک دیده می‌شود). برای اصلاح این ترک‌ها، پرداخت کننده سطح بتن می‌تواند ویبره و مالش سطح را دوباره انجام دهد. استفاده از الیاف بتن و یا کاهش آب بتن می‌تواند این نوع ترک‌ها را کاهش دهد.

### ترک جمع شدگی خمیری (Plastic Shrinkage)



این ترک چه زمانی ایجاد می‌گردد؟

این نوع از ترک‌ها در روزهای گرم و در آب و هوای با رطوبت کم و دارای باد ایجاد می‌گردد. این نوع ترک در زمستان هم به دلیل هوای سرد با رطوبت پایین هوا می‌تواند رخ دهد. ترک جمع شدگی خمیری در خطوط موازی به نظر می‌رسند و معمولاً طولی در حدود ۱۲ تا ۲۴ اینچ (۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) دارند اما گاهی اوقات ممکن است در جایی در طول ۱ اینچ (۲/۵۴ سانتی‌متر) تا ۱ یارد (۹۱ سانتی‌متر) نیز ایجاد گردند. برای جلوگیری از این نوع ترک می‌توان از نگهداری سطح بتن و ایجاد رطوبت در حین جاگذاری بتن استفاده کرد. ریختن، تراکم و کیورینگ سریع بتن در روزهای گرم می‌تواند از آن جلوگیری کند. سطح بتن را در برابر باد محافظت کنید و یا یک لایه جهت کاهش تبخیر سطح بتن روی سطح ایجاد کنید. استفاده از الیاف بتن می‌تواند این نوع ترک‌ها را کاهش دهد. همچنین تراکم و پرداخت دوباره در خیلی از موارد می‌تواند این ترک‌ها را ببندد. البته باید توجه گردد که در فصول گرم نباید آب سرد برای کیورینگ (عمل‌آوری) بتن استفاده گردد. این امر باعث شوک حرارتی و ایجاد ترک می‌گردد. در این شرایط بهتر است از آب گرم و یا مواد غشایی کیورینگ استفاده گردد.

ترک‌های حاصل از حرکت قالب‌ها

این ترک‌ها به دلیل اشتباه در طراحی و یا اجرای قالب‌ها اتفاق می‌افتد. اگر قالب در حین تراکم و ریختن حرکت کرد و یا بخشی از آن جدا شد، سریعاً دوباره قالب باید مقاوم و اصلاح گردد و تراکم بتن دوباره صورت پذیرد.

ترک‌های بتن سخت شده

ترک در بتن سخت شده توسط جمع شدگی حاصل از خشک شدن، جابجایی، نشست بستر و یا وارد شدن بار بیشتر از طراحی روی بتن ایجاد می‌گردد. کنترل مواردی که عامل ایجاد این مشکلات می‌باشد از به وجود آمدن آنها جلوگیری خواهد کرد. دلایل زیادی برای ایجاد ترک خوردگی در بتن وجود دارد. ترک خوردگی خود معمولاً معلول نوعی آسیب دیدگی دیگر است، اما می‌تواند باعث گسترش آسیب دیدگی و به وجود آمدن انواع دیگر آسیب دیدگی بتن نیز شود. چرخه‌ی انجماد و ذوب شدن آب، واکنش‌های قلیایی و حمله‌ی سولفاتی می‌تواند باعث ترک خوردن بتن شود. همچنین بتنی که بتن‌ریزی‌اش به شکل استاندارد انجام نشده است، می‌تواند در زمان عمل‌آوری دچار ترک خوردگی شود. تمامی سیمان‌های پرتلند هنگام هیدراتاسیون و عمل‌آوری دچار جمع شدگی (هر چند کوچک) می‌شوند. جمع شدگی شکل‌های مختلفی از جمله جمع شدگی حرارتی، جمع شدگی پلاستیک، جمع شدگی بر اثر خشک شدن و جمع شدگی اتوژنیک دارد. بسیاری از متخصصین بتن عقیده دارند که فولاد تقویت شده مانع جمع شدگی و ترک خوردن بتن بر اثر حرارت می‌شود. اما فولاد به طور کامل جلوی جمع شدگی و ترک خوردن بتن را نمی‌گیرد، اگر چه سبب و میزان آن را کاهش می‌دهد. جمع شدگی بر اثر خشک شدن به خاطر اثرات منفی و ترک‌های بسیاری که به جای می‌گذارد، مشهور است (تصویر پایین). این نوع جمع شدگی در زمان تبخیر آب و در هنگام گرفتن بتن و سفت شدن آن رخ می‌دهد. در برخی موارد، ترک‌های به جای مانده از جمع شدگی بر اثر خشک شدن بسیار کوچک هستند و نیازی به ترمیم ندارند.

جمع شدگی بر اثر خشک شدن به خاطر اثرات منفی و ترک‌های بسیاری که به جای می‌گذارد، مشهور است

جمع شدگی پلاستیک زمانی رخ می دهد که سطح بتن تازه در معرض شرایطی باشد که نرخ تبخیر را بالا می برد؛ به طور مثال وزش باد، دمای بالا و رطوبت کم. این جمع شدگی باعث ترک خوردن بتن در زمانی که هنوز نرم است می شود. جمع شدگی پلاستیک می تواند ترک های عمیق تری نسبت به جمع شدگی بر اثر خشک شدن ایجاد کند. در بعضی موارد، این نوع از آسیب دیدگی پیش از پایان عمل آوری بتن، با بستن ترک ها ترمیم می شود. جمع شدگی حرارتی بر اثر آزاد شدن گرمای زیاد در هنگام سخت شدن بتن و بعد به سرعت سرد شدن آن رخ می دهد. بتن بر اثر تغییر دما، خصوصاً تغییر دمای سریع، تغییر اندازه می دهد. اگر این ها در طراحی محاسبه نشده باشند، منجر به آسیب دیدگی (ترک خوردن) خواهد شد. فونداسیون نامناسب یکی دیگر از دلایل متداول ایجاد ترک در بتن ها می باشد. مقاومت کششی بتن معمولاً بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ psi است. نشست زمین و جابه جایی هر چند کوچک فونداسیون می تواند منجر به تغییر شرایط بتن و افزایش تنش کششی در بتن شود؛ که نتیجه ی آن ترک خوردن بتن است. ترمیم ترک های به وجود آمده در بتن کار آسانی نیست. از این رو توصیه می شود پیش از شروع مطالعه تمامی حرکات ترک ها با دقت ثبت و ضبط شود. پیش از این با روش های سنتی و قدیمی این کار صورت می گرفت؛ اما امروزه وسایل جدید و الکترونیکی ما را در این امر یاری می کنند. حتی گوشی های هوشمند نیز این قابلیت را پیدا کرده اند که ترک ها را ثبت و تحلیل کنند. برای این کار، به صورت منظم تصاویری از ترک ها تهیه می شود تا حرکت و تغییرات آن مورد بررسی قرار گیرد. بیاد داشته باشید جهت تعیین عمق ترک در بتن و میزان ترک بهتر است از تست های غیر مخرب به خصوص تست های اولتراسونیک بتن استفاده نمایید همانگونه که در تصویر زیر می بینید اپراتور در حال تست کردن سازه و تعیین عمق ترک به وسیله این دستگاه می باشد. حرکات باید در یک بازه ی زمانی نسبتاً طولانی بررسی شوند تا مشخص شود که ترک ها صرفاً به دلیل تغییر دمای فصل باز و بسته می شوند یا دلایل اساسی دیگری وجود دارد که هر لحظه ترک ها را بازتر می کند. ترمیم بایستی پس از شناسایی دلیل و رفتار ترک ها آغاز شود. نقش ترک خوردن بتن در خوردگی و زنگ زدن میلگردها همیشه مشخص نیست. تحقیقات نشان داده که ترک های با عرض کم تر از ۰/۳ میلی متر تاثیر چندانی روی خوردگی فولاد ندارند (Atimay and Ferguson, 1974). با این حال، تحقیقات دیگری (Oesterle, 1997) (Darwin et al., 1985) نشان داده اند که خوردگی میلگردها، ارتباط مستقیمی با عرض ترک خوردگی ها ندارد؛ احتمالاً به این خاطر که بین ترک های سطح بتن با عرض ترک های نزدیک میلگردها ارتباطی وجود ندارد. ترک هایی که در طول میلگردها بر روی بتن به وجود می آیند، خرابی بیشتری به بار می آورند؛ زیرا خوردگی میلگرد در طول آن، مقاومت بتن را بیشتر کاهش می دهد. با وجود تحقیقات مختلفی که در این امر صورت گرفته است، هنوز مشخص نیست که چه ارتباطی بین عرض ترک های بتن و خوردگی میلگردها وجود دارد. آزمایش ها نشان داده اند که کیفیت بتن، مخلوط کردن صحیح و استاندارد بتن و پوشش مناسب برای بتن، نقش مهمی در مقاومت بتن در برابر خوردگی در هنگام ترک خوردن ایفا می کنند. از دیگر تحقیقاتی که نشان می دهند بین عرض ترک و خوردگی ارتباطی وجود ندارد می توان به (Beeby, 1978) (Tremper, 1947) (Martin and Schiessel, ) (Raphael and Shalon, 1971) (1969) اشاره کرد. مباحث مفصل تر در رابطه با دلایل ترک خوردگی بتن در ACI 224 (ACI 224, 2013) آمده است. ترمیم موفقیت آمیز ترک های بتن غالباً کار دشواری است. نوع ترمیم مورد نیاز، به مقدار خیلی زیادی وابسته به نوع و عامل ترک خوردگی هاست. برای ترمیم ترک خوردگی، لازم است که بدانیم ترک ها در حال گسترش اند یا از گسترش باز ایستاده اند. اگر ترک ها مرتباً در حال باز شدن و بسته شدن باشند یا همیشه در حال باز شدن باشند، عملیات ترمیم بسیار پیچیده می شود و احتمالاً برای رفع آن نیاز به مواد تقویت کننده داریم. انتخاب و به کار بردن روش اشتباه در ترمیم ترک خوردگی به مراتب از ترمیم نکردن بتن زیان بار تر است. اشتباه در انتخاب روش، شرایط اولیه ی بتن را بدتر و پیچیده تر می کند. برای ترمیم برخی از ترک خوردگی ها، از تزریق رزین اپوکسی یا پلی اورتان استفاده می شود. رزین اپوکسی معمولاً برای بازگیری بتن به کار می رود. اگر صرفاً بخواهیم جلوی نشت آب را بگیریم و ترمیم سازه ای مد نظرمان نباشد، بایستی از تزریق پلی اورتان استفاده کنیم. از رزین اپوکسی برای بستن ترک خوردگی ها و نشتی های آب کوچک تر استفاده می شود. رزین پلی اورتان نسبت به اپوکسی، انعطاف پذیرتر است؛ با این حال از هیچ کدام برای ترمیم سازه ای استفاده نمی شود. همچنین

جمع‌شدگی و ترک خوردن مواد ترمیمی بتن نیز محتمل است. این ترک خوردگی بتن می‌تواند بسیار سریع‌تر از ترک خوردگی در خود بتن اتفاق بیفتد و ممکن است با ایجاد فشار کششی، به خود بتن نیز آسیب بزند. البته در بیشتر اوقات این ترک‌ها بسیار کوچک‌اند و تاثیر چندانی بر روی ترمیم و عمر آن ندارند. تنها راه پیشگیری از آن، استفاده از مواد ترمیمی مقاوم در برابر جمع‌شدگی است.

**انواع مواد ترمیم‌کننده بتن بصورت جایگزین بتن تخریب شده عبارتند از :**

**الف - بتن یا ملات سیمانی**

**ب- بتن یا ملات سیمانی اصلاح شده با پلیمر**

**ج - مواد پلیمری ( که در این حالت اقتصادی و فنی نیست )**

بنظر میرسد معمولاً "بتن یا ملات سیمانی ارجحیت داشته باشد و از نظر خواص مشابهت بیشتری با بتن اصل پایه را فراهم نماید .

بکارگیری سیمان در حد متوسط (معمولاً ۳۷۵ تا ۴۰۰ کیلو) از نظر جمع‌شدگی کاملاً مناسب بنظر میرسد. نسبت آب به سیمان با توجه به موقعیت قطع و محل از نظر خوردگی به حداکثر ۰/۴ یا ۰/۴۵ محدود شود. معمولاً اگر از روش بتن ریزی جایگزین استفاده شود سعی میگردد از اسلامپ بالائی برخوردار باشیم (بیش از ۱۰ سانتی متر). اسلامپ زیاد جمع‌شدگی نشست خمیری را بوجود می‌آورد لذا ضمن اینکه تامین نسبت آب به سیمان فوق‌الذکر مشکل بوده و اسلامپ زیاد نیز با آب قابل‌تامین نیست همواره نیاز به مواد روان‌کننده یا فوق‌روان‌کننده داریم .

معمولاً هنگامیکه ترمیم در محدوده بسته‌ای انجام میشود بتن باید از جمع‌شدگی ناچیز و یا انبساط جزئی برخوردار باشد. به این دلیل لازمست از مواد منبسط‌کننده (انبساط‌زا) در مواردی که حساسیت وجود دارد استفاده نمائیم تا درگیری بهتری بین لبه‌های کناری بتن تعمیر و بتن پایه قدیمی ایجاد شود. برای سهولت در ریختن و تراکم بتن و کاهش نفوذ پذیری آن از حداکثر اندازه سنگدانه نسبتاً کم و بافت دانه بندی ریزتری نسبت به بتن اصلی بهره می‌گیریم که به ابعاد و حجم منطقه تعمیر و وضعیت میلگردها بستگی دارد. اگر بخواهیم ملات یا بتن را با مواد پلیمری اصلاح کنیم معمولاً از لاتکس آکریلیکی به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد وزن سیمان استفاده می‌نمائیم. گاه بجای ریختن معمولی بتن از روش دستی تعمیر استفاده می‌نمایند در این حالت ملات سفت بکار میرود و با فشار در محل مورد نظر قرار می‌گیرد. بهر حال این روش محدودیتهای خاص خود دارد و تامین روانی مورد نظر با نسبت آب به سیمان مطلوب و سیمان کمتر ممکن می‌باشد .

**روشهای ترمیم و جایگزینی بتن :**

بهر حال باید بتنی را در محل تخریب شده جایگزین نمائیم. روشهای این جایگزینی عبارتند از :

**الف - تعمیر و جایگزینی بتن یا ملات با دست Patch Method**

که در مناطق بسیار محدود بکار میرود. ضخامت نیز معمولاً به حدود ۵ سانت محدود میشود و کمتر مورد استفاده است . تعمیر سطوحی مانند زیر دال یا تیر با این روش ساده تر است .

**ب- روش بتن ریزی سنتی معمولی (ثقلی) Conventional or Gravity Method**

این روش کار برد وسیعی دارد. برای سطوح بالائی تیر و دال ، وجوه کناری تیرها ، سطوح دیوار و ستون و حتی قسمت تحتانی تیر یا دال کاربرد دارد. معمولاً در این روش نیاز به اسلامپ زیادی داریم که گاه از بتن‌های آبکی با اسلامپ بیش از ۲۰ سانتی متر استفاده میشود . بهر حال در این روش باید بنحوی عمل نمائیم که از پر شدن قالب یا محل تعمیر مطمئن شویم و خروج هوا از بتن نیز میسر باشد و آب انداختن بتن عملاً حذف گردد (بویژه در سطوح زیر تیر یا دال ) گاه این نوع بتن را در عمق یا زیر آب با لوله ترمی ( tremie ) می‌ریزیم تا جداسدگی پیش نیاید .

**ج : روش بتن پاشی Shotcrete :**

در تعمیر سطوحی با وسعت زیاد و ضخامت کمتر از ۱۵ سانتی متر استفاده از روش بتن پاشی توصیه میشود بویژه در تعمیر سطوح زیرین دال یا تعمیر کاربرد آن مطلوبتر است. در بتن پاشی دو روش تر و خشک را داریم. در تعمیر سازه هائی که در مناطق خورنده قرار دارند و یکنواختی و نفوذ ناپذیری بیشتر مطلوب است باید از روش تر استفاده نمائیم . مشکل بزرگ در بتن پاشی ، برگشت و ریپاند مصالح و بتن می باشد که باید با کاهش حداکثر اندازه سنگدانه ، اسلامپ مناسب (۵ تا ۸ سانتی متر) ، عیار سیمان بالاتر و چسبندگی بیشتر ، بافت دانه بندی ریزتر ، عمود گرفتن سر لوله ، فاصله مناسب سر لوله از سطح در تامین فشار هوای مناسب و غیره ، میزان برگشت مصالح را به حداقل رسانید .

#### د : روش بتن ریزی با سنگدانه پیش اکنده (Preplaced Aggregate Concrete) :

در این روش ابتدا سنگدانه درشت تک اندازه را در قالب ریخته و سپس از درون لوله هائی که درون سنگدانه قرار گرفته است ملات ریز دانه ای را به داخل سنگدانه های درشت پیش اکنده تزریق می نمائیم تا بتن مناسب حاصل گردد . بتن پیش اکنده از جمع شدگی ناچیزی برخوردار است و عیار سیمان مصرفی آن نیز کم می باشد. تامین نسبت آب به سیمان کم ، نفوذ ناپذیری مطلوب و مقاومت زیاد با این روش کاملاً میسر است. همگنی بتن و عدم جداشدگی از ویژگیهای این نوع بتن ریزی است . حداکثر اندازه سنگدانه به حداقل بعد قطعه محدود می شود و حداکثر اندازه ماسه ملات باید به حدود حداقل اندازه اسمی سنگدانه درشت محدود گردد.

ملات مصرفی بسیار پر عیار بوده و همچنین شل و آبی می باشد و معمولاً از مواد پوزولانی مناسب و روان کننده ها در ملات استفاده میشود ضمن اینکه به کندگیر کننده ها نیز احتیاج مبرمی داریم .

#### هـ : بتن ریزی با بتن مکیده (Vacuum Proiossed Con .) :

در این روش که امروزه از آن در عملیات تعمیر بتن استفاده چندانی بعمل نمی آید . بتن نسبتاً شل را در محل مورد نظر (بویژه سطوح فوقانی دال ، کف و سر ریز سدها یا کف تونلهای آب بر و غیره ) ریخته و سپس با اعمال یک مکش از طریق فرش خلا ، بخشی از آب بتن را مکیده و نسبت آب به سیمان را کاهش می دهیم . این عمل مقاومت و دوام بتن تعمیری را بهبود می بخشد و نفوذپذیری آن بویژه در قسمت های سطحی کاهش می یابد .

در پایان متذکر میشود که در بتن ریزی جایگزینی نباید از بتن در مرحله گیرش استفاده نمود. جداشدگی یکی از روشهای بتن ریزی در کشور ماست که نباید در بتن جایگزین بوجود آید. اختلاف دمای بتن پایه و تعمیری در هنگام ریختن نباید زیاد باشد و حداکثر آن از ۵ تا ۱۰ درجه مشخص شده است . کار تراکم باید بخوبی انجام شود . همچنین باید عمل آوری مناسب صورت گیرد دمای بتن نباید از ۳۰ درجه سانتی گراد در هنگام ریختن تجاوز نماید و از ۱۰ درجه سانتی گراد کمتر نشود .

#### انتخاب مصالح ترمیم کننده بتن و روش آن

بتن و بتن مسلح بعنوان مصالح با دوام در بسیاری از سازه ها بکار گرفته شده اند . اما در طول زمان عملکرد و دوام بتن نشان داده که ساختار فیزیکی و رفتار سازه ای آن تابع شرایط محیطی است . در صورتیکه بتن مناسب با شرایط محیطی و اقلیمی طراحی و اجرا نگردد دوام و عمر مفید آن کاهش یافته و نیاز به تعمیر آن افزایش می یابد . مصداق این مورد در کشورمان سازه های بتنی در سواحل جنوبی کشور و نواحی خلیج فارس است . در این منطقه به دلیل شرایط خاص محیطی ( وجود کلر ، سولفات و رطوبت و دمای زیاد ) ، سازه های بتن آرمه از عمر کوتاهی برخوردارند . عمر مفید یا سرویس دهی سازه ها تابع کیفیت مصالح مصرفی و نحوه اجراء است . عبارت دیگر چنانچه برای ساخت سازه از مصالح نامناسب و اجرای نامطلوب بهره گرفته شود ، عمر مفید سازه کوتاه بوده و نیاز به تعمیر خواهد داشت . اجرای یک سیستم کامل تعمیر پس از آماده سازی بتن پایه و آرماتور شامل اندود محافظ بر روی آرماتور ، لایه ارتباطی چسبنده بین ملات و یا بتن تعمیری و بتن پایه ، اعمال مواد تعمیری و نهایتاً پوشش محافظ است . که در این مقاله به استراتژی تعمیر سازه های بتنی پرداخته می شود . برای تأمین عمر مفید سازه در زمان پیش بینی شده از لحاظ دوام و ایستایی نیاز به نگهداری و بهسازی می باشد . هر ساختمان پس از مدتی که تحت بهره برداری قرار گرفت به دلیل خطاهای ناشی از طراحی ، اجرای صحیح ، کیفیت مصالح ، نگهداری ، نارسائی ها و یا خرابی ها در آن بروز کرده و در نتیجه قابلیت بهره برداری و دوام آن سیر نزولی

طی می کند. بهمین جهت برای هر ساختمان در ابتدای طراحی و محاسبه یک حاشیه ایمنی در نظر گرفته می شود که کیفیت و اجرا در آن نقش تعیین کننده دارد. در صورت اجرای صحیح و انتخاب مصالح مناسب عرض حاشیه ایمنی به آسانی حفظ می شود در غیر این صورت ممکن است عرض حاشیه ایمنی از همان ابتدا از مقدار مطلوب کمتر باشد و در طول زمان کاهش یابد و یا حتی به صفر برسد و به همین جهت ترمیم، تعمیر، تقویت سازه ها ضرورت می یابد و در نتیجه از کاهش حاشیه ایمنی جلوگیری می شود و عمر مفید افزایش می یابد.

## انواع ترک در بتن و قطعات بتن

### ۲-۱. ترکهای خمیری :

در نتیجه کاهش آب از خمیرسیمان، در اثر عوامل بوجود آورنده، جمع شدگی حجمی در آن بوجود می آید. این جمع شدگی بعنوان جمع شدگی خمیری (پلاستیک) شناخته می شود.

### ۲-۲. ترکهای حرارتی اولیه :

از عوامل مهم اثرگذار در ترکهای بتن، درجه حرارت محیط می باشد. بتن ریزی در هوای گرم باعث افزایش دمای بتن می شود این دمای بالا باعث افزایش میزان تبخیر آب بتن می گردد که در نتیجه عمل هیدراتاسیون بخوبی انجام نپذیرفته و ترکهای در بتن ایجاد می شود.

### ۲-۳. ترکهای توری :

اگر بتن در ضمن هیدراتاسیون بطور دائم در آب نگهداری شود در نتیجه جذب آب توسط سیمان، منبسط خواهد شد.

### ۲-۴. ترکهای زیرسطحی :

این ترکها ناشی از ماله کشی اضافی یا کم، پرسیمان بودن مخلوط و عمل آوری ضعیف می باشد.

### ۲-۵. ترکهای انقباضی :

این ترکها در اثر از دست دادن آب، زمانیکه درخشندگی آب از سطح بتن محو می شود و از بین می رود شکل گرفته و ظاهر می شود.

### ۲-۶. ترکهای سازه ای

این نوع ترکها عموماً خطی می باشند مانند ترکهای ناشی از بار یا ترکهای ناشی از تنش های حرارتی یا ترکهای ناشی از نشست.

## انواع ترک براساس فعالیت ترک

انواع متفاوت ترک در بتن براساس فعالیت در دو دسته کلی زیر قرار دارند :

### ۳-۱. ترکهای فعال :

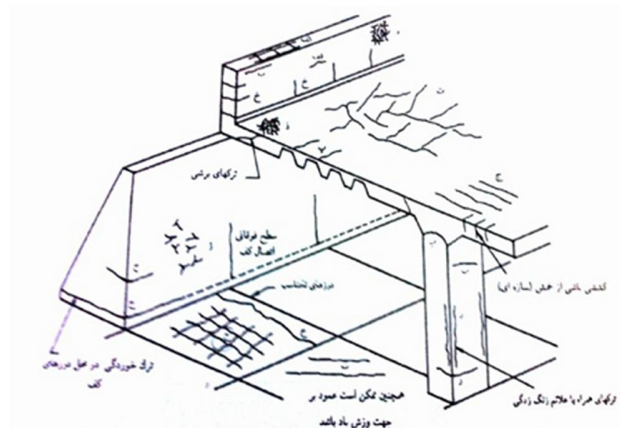
این ترکها عمدتاً ناشی از تغییر شکلهای حرارتی یا ناشی از بارگذاری هستند

### ۳-۲. ترکهای غیرفعال :

این ترکها به هیچ نوع تغییرشکل یا حرکتی در سازه منتسب نیستند.

ترکها را می توان براساس عرض ترک نیز دسته بندی نمود که این اساس ترکهای کوچک (با عرض حداکثر  $0/3$  میلیمتر) ترکهای متوسط (با عرض  $0/3$  تا  $0/5$  میلیمتر) و ترکهای عریض (با عرض بیش از  $0/5$  میلیمتر) را می توان مشخص نمود. براساس انواع و علل وقوع ترک در بتن و قطعات بتن با مشاهده هر ترکی در قطعات و اجزای بتنی، اولین مرحله، تشخیص نوع ترک و سپس علت ایجاد ترک می باشند. [۴]





نمونه های از ترک های واقعی در یک سازه بتنی

## روش های و تکنیکهای ترمیم ترکها

### ۴-۱. تزریق (INJECTION)

در این روش ترکهای باریک با عرض  $0.5/0$  میلیمتر را با تزریق رزینهای اپوکسی پرمود در این روش، نقاط تزریق متناوباً با فواصل کوتاهی در طول ترک قرار داده شده و سپس سطح ترک کاملاً آب بند می شود تا از فرار و نشست رزین در مدت تزریق جلوگیری گردد. در صورتیکه ابتدا و انتهای ترک در یک سطح (از جهت ارتفاع) نباشد تزریق بایستی از پایین ترین نقطه آغاز و به بالاترین نقطه ختم گردد و همچنین برای حصول اطمینان از پر شدن مطلوب ترک از مواد تزریقی، از لوله های شفاف استفاده می شود.

این روش برای ترکهای فعال کاربرد ندارد. همچنین این روش نیاز به مهارت بالایی دارد.

### ۴-۲. دوغاب ریزی و درزگیری (CAULKING)

در این روش در ترکهای که عرض آنها ۱ میلیمتر بوده با ماده ای پر می شود که حالت پلاستیک دارد در صورتی که ترکها غیرفعال باشند می توان از ملات ساخته شده از سیمان پرتلند و یا ملاتی که خاصیت انبساطی داشته باشد استفاده نمود. اما اگر ترکهای فعال باشند بایستی از ارتجاعی (ELASTOMERIC) استفاده گردد. در بعضی از مواقع و با توجه به شرایط، ممکن است عمل درزگیری توام با فشار نیز انجام گیرد.

### ۴-۳. بخیه زدن یا دوختن (STITCHING)

این روش را می توان زمانی بکار برد که وجود مقاومت کششی بالا در حوالی ترکهای بزرگ لازم باشد. دوختن ترک منجر به سخت شدن سازه و باعث عدم انتقال ترک به سایر نقاط سازه می شود بنابراین ممکن است ارزیابی و مقاوم سازی قسمتهای مجاور لازم باشد.

### ۴-۴. تنیدن (STRESSING)

اگر در محلهای مورد تعمیر، ترکها در منطقه وسیعی ظاهر شده باشند بطوری که بخیه زدن بسیار گسترده ای را ایجاب نماید ممکن است راه حل تنیدن را مدنظر قرار داد. در این روش، میلگرد یا کابلهای در منطقه بتن آسیب دیده کارگزاری شده و سپس به آنها تنش های از پیش محاسبه شده را وارد کرده و در نهایت مهارشان می کنیم. در این روش بایستی دقت کافی کرد تا این عمل باعث وجود آمدن ترکها در مناطق دیگر نشود.

### ۴-۵. تراکم با فشرده سازی خشک (DRY PACKING)

فشرده سازی خشک یعنی جا دادن یک ملات کم اب با دست درون حفره و سفت کردن حفره بعد از پر کردن یا سمبه زدن ملات درون حفره برای ایجاد تماس بین ملات و بتن موجود. بدلیل نسبت پایین آب به سیمان مصالح، این ملات افت بسیار

کمی خواهد داشت و وصله ایجاد شده بسیار محکم و با کیفیتی خوب و با دوام و نیز مقاوم و ضد نفوذ آب خواهد بود . استفاده از این شیوه در پرکردن یا ترمیم ترکهای فعال توصیه نمی شود .

#### ۴-۶. خود علاجی (AUTGENEUS HEALING))

توانایی ذاتی بتن در علاج ترکها توسط خودش را خود علاجی گویند . این روش برای درزگیری ترکهای غیرفعال در یک محیط مرطوب و برای سازه های بتن حجیم مناسب است . مکانیزم معالجه ترک در طی فرآیند کربناسیون هیدروکسید کلسیم موجود در سیمان با دی اکسید کربن موجود در هوا یا آب محیط اطراف اتفاق می افتد . کربنات کلسیم حاصل قادر است ترک را پر نماید ولی چون مکانیزم شیمیایی حاصل شده باعث کاهش PH در رطوبت داخل بتن می شود و میزان اسیدی را بالا می برد . بنابراین می تواند باعث تحریک زنگ زدگی در فولاد گردد .

#### ۴-۷. بتن پاشی (SHOTCRETING)

در این روش بتن یا ملات با استفاده از فشار هوا به داخل حفره ها ، کانالها، قالبها ، و سطوحی که بایستی تعمیر گردند پرتاب می شود در این روش سطح نهایی تعمیرات صاف نبوده و بسته به اندازه سنگدانه مخلوط ، دارای زبری و ناهمواری می باشد .

#### ۴-۸. باروی توسط خلاء (VACUUM IMPREGNATION)

در این روش معمولاً قسمت آسیب دیده بوسیله صفحه پولیتین (Polythene Sheet) پوشانده شده، سپس عمل خشک کردن سطح با استفاده از خلاء (Vacuum) انجام پذیرفته و منافذ کاملاً مسدود می شوند . پس از اطمینان کامل از هوایند و آب بند بودن سیستم ، مواردی که قرار است بر روی سطوح و خلل و فرج آسیب دیده اعمال شود مورد مصرف قرار می گیرند .

#### ۴-۹. اشباع سازی با پلیمر

سیستم های منومر را می توان برای انجام یک ترمیم موثر ترک مورد استفاده قرار دارد . یک سیستم منومر به صورت مایع می باشد که در برگیرنده مولکولهای آلی کوچک با قابلیت ترکیب بصورت پلاستیک جامد می باشد . آنها بسیار روان هستند و جذب بتن خشک می شوند و ترک را از همان مسیری که آب حرکت می کند پر می کنند .

#### مصالح مصرفی مناسب جهت پوشاندن ترک

انتخاب مصالح ترمیمی متناسب با علل و عوامل بروی ترک جهت انجام عملیات ترمیم از اهمیت ویژه ای برخوردار است ماده کارای انتخابی می تواند علاوه بر مرتفع نمودن مشکلات موجود بعنوان عاملی پیشگیری کننده برای جلوگیری از بروز مجدد ترک در بدنه سازه های آبی محسوب می گردد . بسته به نوع و شدت خرابی بتن برای برداشتهای موضعی می توان از چکشهای برقی یا بادی و یا عملیات تخریب با جت آب استفاده نمود . پس از بررسی علل و عوامل ایجاد ترک ، تعیین راهکار مناسب برای پوشاندن و ترمیم رویه بتنی، از ضروریات خواهد بود در این راستا از مصالح آب بندی مختلفی استفاده می گردد که بررسی دقیق خواص فیزیکی و شیمیایی آنها برای اطمینان از کارایی مصالح مصرفی می باشد . بسیاری از مواد پرکننده بصورت پودر در بازار عرضه می شوند که بیشتر آنها جهت مصرف و پوشاندن ترکهای کم عمق تا عمیق استفاده می گردد که اینگونه مواد با آب مخلوط و خمیر تهیه شده که بصورت ملات بوده و با کاردک بر سطوح تخریب شده و ترکها اعمال می گردد این ملاتها با توجه به ترکیب مصالح ماسه ای می توانند خاصیت آب بندی را نیز در محل اعمال ایجاد نمایند که این مسئله در مورد سازه های آبی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. گروت های اپوکسی با استحکام چندین برابر بتن نیز برای ترمیم ترکها می تواند گزینه مناسبی باشد .

تعمیر ترکهای فعال براساس پتانسیل حرکت آنها صورت می گیرد ، ترک باید در طول خود با یک شکاف ، به اندازه مناسب برش خورده و سپس توسط یک درزگیر مناسب درزگیری شود که در جهت ترمیم اینگونه ترکها از ماستیک ها (Mastics) ، ترموپلاستیکها (Termoplastics) و الاستومرها (Elastomers) می توان استفاده کرد

#### کنترل ترک

در طی ساخت سازه های بتنی حجیم ، ترکهایی که بدلیل انقباض ناشی از سردشدن یا دیگر عوامل ممکن است ایجاد شوند توسعه یافته و به سوی بتن جدید در مرحله پیشرفت سازه حرکت می کنند . از توسعه این قبیل ترکها می توان بوسیله بلوکه کردن ترک و پخش تنش کششی در یک سطح بزرگتر جلوگیری نمود .

### آموزش ترمیم بتن به روایت تصویر

در این قسمت چندین روش عملی مورد استفاده در ترمیم بتن که از راهنمای ACI گرفته شده اشاره می نمایم . [۵]

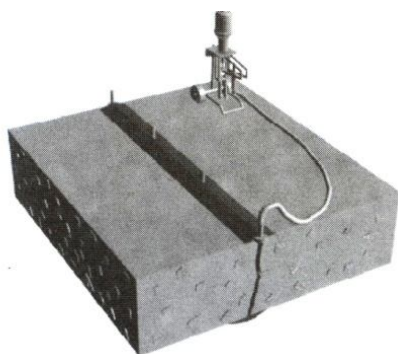
### ۱-۷. مراحل مختلف ترمیم ترک با تزریق اپوکسی بوسیله پمپ



مرحله ۲- نصب شیرهای ورود مواد تزریق

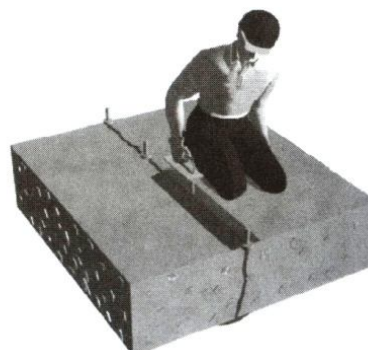


مرحله ۱- تمیز نمودن ترک



مرحله

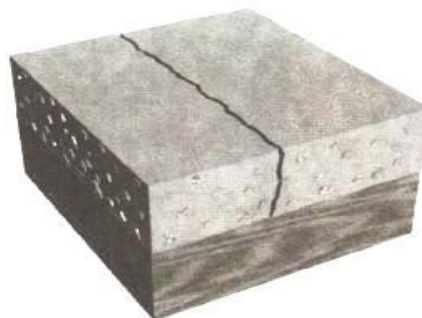
مرحله ۴- تزریق ترک بوسیله پمپ تا حد امکان



۳- نصب پوشش آب بند



مرحله ۶- برداشتن پوشش آب بند



مرحله ۵- شروع مجدد تزریق از عریض ترین بخش ترک

۲-۷. مراحل ترمیم سطوح بتنی بوسیله شاتکریت



مرحله ۲- شستشو با آب تحت فشار

مرحله ۱- برداشت بتن ضعیف و آزاد کردن میلگرد



مرحله ۳- اجرای شاتکریت با ملات مناسب

### نتیجه گیری

ترک در بتن بدلیل بروز تنش های کششی بالاتر از ظرفیت بتن رخ می دهد . ولی گاهی اوقات ممکن است وقوع تنش های کششی نشانه ای از منبع دیگری از تنش های خنثی باشد از متداول ترین دلایل ترک خوردگی سازه های بتنی ، مسلح نبودن سازه در نقاطی که تنش کششی مشخصی که قابل یا غیر قابل پیش بینی باشد رخ می دهد . آنچه در این مقاله به آن اشاره گردید شناسایی ترکها و ترمیم آنها در بتن بوده و بگونه ای که نیازی به تقویت و مقاوم سازی آن عضو نمی باشد . اگر ترک ها باعث ایجاد خرابی های خاص در اعضاء شوند که نیاز به تقویت عضو یا سازه احساس شود لازم است یک تحلیل و ارزیابی سازه ای کامل و دقیق همراه با کنترل تنش انجام شود تا بتوان یک طرح تقویتی مناسب را تهیه نمود .

### ارزیابی سازه های بتنی :

ضرورت ارزیابی سازه های بتنی ، خصوصا" در شرایط محیط مهاجم به منظور جلوگیری از ایجاد آسیب دیدگی در سازه های که هنوز دچار تخریب نشده اند و همچنین تعیین وسعت و علت خرابی جهت جلوگیری در سازه های در حال تخریب دارای اهمیت ویژه ای است . در این راستا مشکلترین و مهمترین مرحله در روند تعمیر تعیین علت آسیب دیدگی است چرا که بدون آنکه علت آسیب معلوم شود ، نیاز سازه به نوع تعمیر یا روش مناسب آن را نمی توان انتخاب و تعیین نمود . بنابراین قبل از شروع عملیات تعمیر باید شرایط موجود سازه مورد ارزیابی قرار گیرد . منظور از ارزیابی ، کسب اطلاعات درباره علت و توسعه آسیب است . به منظور دستیابی به اطلاعات جامع در ارزیابی سازه ابتدا باید بررسی اصولی طرح اولیه و جزئیات ساخت انجام گیرد و پس از آن برنامه ریزی در مورد جزئیات تحقیقات محلی از سازه صورت پذیرد . برنامه ریزی ارزیابی سازه باید شامل مشاهدات نظری ، آزمایش های غیر مخرب در محل و نمونه برداری جهت بررسی در آزمایشگاه باشد. مراحل اصلی برنامه ریزی اصولی و صحیح جهت بررسی و ارزیابی سازه در نمودار ۱ مشخص شده است . در مراحل اولیه ارزیابی سازه ، جمع آوری اطلاعات و مدارک موجود در مورد مشخصات سازه ، نوع مصالح بکار رفته و غیره

باید انجام گیرد. در مراحل بعدی بازدید و بررسی ظاهری سازه باید مشاهدات قسمتهای آسیب دیده و شرایط سازه ثبت گردد، همچنین اطلاعات مربوط به شرایط محیطی سازه نیز دارای اهمیت است. در بازرسی و انتخاب آزمایشهای ارزیابی وضعیت سازه باید به مسائل اقتصادی، اجرائی و زمان جهت تعیین نوع و محل آزمایشها توجه گردد. البته هیچ نوع آزمایشی به تنهایی قابل استناد نیست و ترکیبی از چندین آزمایش است که در ارزیابی سازه اهمیت دارد. برنامه ریزی باید با در نظر گرفتن پارامترهای انتخاب نوع و محل آزمایش انجام گیرد.

بطور کلی آزمایشهایی که جهت ارزیابی بر روی سازه ها انجام می شوند عبارتند از:

- تعیین مقاومت بتن در سازه
- آزمایش مافوق صوت
- تعیین سختی سطح
- آزمایش بیرون کشیدن از سطح
- مغزه گیری
- تعیین پوشش بتن بوسیله آرماتورباب
- تعیین عمق کربناسیون
- تعیین پروفیل کلر
- تعیین نفوذپذیری بتن
- تعیین پتانسیل خوردگی
- تعیین مقاومت الکتریکی

#### مراحل تعمیر و ترمیم بتن

برای تأمین دوام و چسبندگی بتن یا ملات تعمیری با بتن پایه باید پس از تعیین علل خرابی، عمق و وسعت آن اقدامات لازم به منظور پیشگیری و یا روش تعمیر مناسب اتخاذ نمود. شکل ۲ مراحل تعمیر را نشان می دهد.

#### آماده کردن سطح برای تعمیر و ترمیم بتن

در تمام مواردی که ملاتهای تعمیری برای تعمیر موضعی و یا تعمیر در سطح وسیع مورد استفاده قرار میگیرد آماده کردن سطح بتن برای تعمیر از نقطه نظر دوام از اهمیت بالایی برخوردار است. دوام سیستم تعمیری می تواند در مرحله اول بعلت مقاومت کم کشش سطحی بتن کاهش یابد. بهمین جهت برای یک تعمیر موفق اغلب ضروریست تمهیدات ویژه ای صورت گیرد. این تمهیدات باید به نحوی باشد که چسبندگی و پیوستگی بین بتن پایه و ملات تعمیری در طول عمر مفید پیش بینی شده را تأمین نماید. در خصوص خواص مکانیکی سطح بتن پایه آئین نامه تعمیر و نگهداری کشور آلمان [2]ZTV-SIB 90 میزان مقاومت کشش سطحی را بعنوان عامل تعیین کننده ملاک قرار می دهد ( البته این مقدار تا حدی نیز به سیستم تعمیر بستگی دارد ). و حداقل مقاومت کشش سطحی را به  $1/5 \text{ N/mm}^2$  محدود می نماید، در مواردی که سطح بتن تحت شرایط خاصی قرار می گیرد مقاومت کششی سطحی باید  $2 \text{ N/mm}^2$  باشد.

برای محافظت از خوردگی سیستم تعمیری باید الزامات مربوط به مشخصات شیمیایی سطح بتن قدیمی نیز رعایت گردد. به این ترتیب که عمق کربناسیون نباید از میزان معینی تجاوز نماید. همچنین مقدار آلودگی آن به کلراید نیز باید محدود باشد بخصوص برای تعمیر موضعی باید مقدار کلراید تا حد بحرانی تعیین شده برداشته شود. بدون توجه به اینکه آسیب دیدگی قابل رؤیت و یا غیر قابل رؤیت است. همچنین قبل از اعمال سیستم تعمیری، بتن پایه باید دارای رطوبت معینی باشد. در صورتی که از ملات تعمیری بر پایه سیمان استفاده شود باید رطوبت سطح بتن اشباع با سطح خشک باشد. در صورتیکه از ملات تعمیری اصلاح شده با پلیمر استفاده شود باید سطح بتن خشک باشد. شایان ذکر است که درجه حرارت سطح بتن و همچنین درجه حرارت محیط در حین زمان اعمال سیستم تعمیری و درجه تمیزی سطح آرماتور نیز حائز اهمیت است. در صورتیکه پس از انجام آزمایشهای لازم، الزامات مورد نظر بر آورده

نگردید باید سطح بتن با روش مناسب آماده گردد که شامل روشهای مکانیکی، حرارتی و شیمیایی می باشد. از جمله روشهای مهم می توان به چکش بادی، پاشیدن ماسه و یا آب با فشار بالا و استفاده از شعله را نام برد. البته انتخاب روش بستگی به سطح بتن آسیب دیده و میزان و وسعت آلودگی دارد.

### حفاظت از خوردگی آرماتور

بطور کلی هدف تمام اقدامات حفاظتی باید در جهت ایجاد مجدد سیستم حفاظتی آرماتور و جلوگیری از خوردگی آن در آینده باشد. بهمین جهت باید حداقل ارتباط الکتریکی که باعث ایجاد خوردگی می گردد قطع شود در نتیجه از انحلال آهن جلوگیری شود. در عمل معمولاً بتن منطقه آسیب دیده در اثر کربناسیون و یا آلوده به کلر بوسیله روش مناسب برداشته می شود. سپس زنگ آرماتور آزاد شده زدوده می شود و بر روی آن پوشش مناسب اعمال می گردد، سپس قسمت های برداشته شده بوسیله ملات سیمانی و یا ملات های اصلاح شده که با پلیمرهای مخصوص فرموله شده اند تعمیر می گردد. شایان ذکر است که این روش برای آسیب دسده ناشی از کلراید مشکل آفرین می باشد، زیرا ریسک خطر خوردگی مجدد پس از تعمیر بر مراتب بزرگتر از خوردگی ناشی از کربناسیون است. بهمین جهت باید استراتژی تعمیر توسط یک فرد متخصص و با تجربه با دقت برنامه ریزی و بمرحله اجرا در آید.

### سیستم های تعمیراتی بتن

سیستم های تعمیراتی بتن بطور کلی از بتن جایگزین و یا مصالح مناسب تعمیر تشکیل شده اند. این سیستم شامل پوشش حفاظتی برای جلوگیری از خوردگی آرماتور، لایه ارتباطی چسبنده بین بتن جدید و بتن قدیم، ملات و یا بتن تعمیراتی و نهایتاً پوشش مناسب می باشند. این پوشش ها معمولاً ضد آب کننده هستند و از نفوذ مواد مضر بداخل بتن جلوگیری می نمایند.

مصالح تعمیراتی بتن از اجزاء مصالح مختلفی تشکیل شده اند که بدون در نظر گرفتن نوع مواد و مصالح بصورت ملات (اندازه سنگدانه های سنگی کمتر از ۴ میلیمتر) و یا بصورت بتن (اندازه سنگدانه های سنگی بزرگتر از ۴ میلیمتر) مورد استفاده قرار می گیرند. انواع ملات ها و یا بتن های مورد استفاده عبارتند از:

الف - بتن و ملا سیمانی (۱)

ب - بتن و ملات سیمانی اصلاح شده با پلیمر (PCC) (۲)

ج - بتن و ملات های رزینی (PC) (۳)

بجز مصالح فوق ترکیبات دیگری مانند بتن پاشیدنی که با استفاده از الیاف مختلف و یا بوسیله پلیمر اصلاح شده، برای تعمیراتی خاص با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته اند.

### الزامات

سیستم های تعمیراتی بتن بطور معمول باید دارای الزامات کلی زیر باشند که در توصیه مربوط به آئین نامه های بتن و آئین نامه های مربوط به تعمیر و نگهداری آمده است:

• سازگاری مقاومت و تغییر شکل بتن و ملات تعمیراتی با بتن پایه

• چسبندگی کافی ملات یا بتن تعمیراتی و بتن پایه

• مقاومت کافی بتن و ملات تعمیراتی در مقابل رطوبت، محیط قلیائی و اشعه ماورای بنفش

• مقاومت در برابر سیکل های یخ زدگی و ذوب شدن

• کارائی مناسب در درجه حرارت های مختلف

• دوام در مقابل شرایط مورد نظر

همچنین این مصالح برای کاربردهای خاص باید دارای خواص مورد نظر باشند مثلاً در محیط هایی که بتن در معرض تهاجم شیمیایی قرار دارد باید مقاوم در برابر مواد شیمیایی باشد. برای رعایت الزامات فوق در خصوص بتن و بتن پاشیدنی، انجام آزمایشهای پیش بینی شده در استاندارد بتن مسلح و بتن پاشیدنی ضروریست. همچنین برای سایر سیستم های تعمیراتی باید آزمایش ها بر اساس توصیه نامه ها و دستورالعمل های مربوطه انجام گیرد.

### طبقه بندی مصالح تعمیری با توجه به نوع کاربرد

آئین نامه مربوط به تعمیر و نگهداری اجزاء ساختمان [1]DafStb کلیه ملات ها و بتن هایی که برای تعمیر بکار می روند با توجه به نوع کاربرد در گروه های زیر طبقه بندی نموده است .

#### 1- Cement Concrete

#### 2- Polymer Concrete

#### 3- Polymer Concrete

#### گروه M1

بتن و یا ملات مورد استفاده در این گروه باید برای پر کردن قسمت های آسیب دیده بتن زیرین مناسب و سازگار باشد . همچنین باید دارای مقاومت کافی باشند ، بطوریکه بتوان بر روی آن ( بعنوان بتن زیرین ) پوشش سطحی مناسب را اعمال نمود . همچنین در خصوص اجرا باید مشخص گردد ، که این نوع مواد تعمیری برای چه نوع پوششی مناسب است . الزامات مربوط به مقاومت در برابر کربناسیون در این بخش قید نگردیده است .

#### گروه M2

بتن و ملات مورد استفاده در این گروه باید علاوه بر الزامات ذکر شده در گروه M1 باید حداقل مقاومت در برابر کربناسیون و نفوذ کلرید را دارا باشند . همچنین دستورالعمل برای اجرای صحیح ، با توجه به بارهای استاتیکی و دینامیکی ( مثلاً ترافیک ) باید ذکر گردد . ضمناً در مرحله اجرا باید سازگاری نوع پوشش توسط تولید کننده مواد و آزمایش کنترل کیفیت تأیید گردد .

#### گروه M3

بتن و ملات تعمیری در این گروه برای تعمیر اجزاء برابر سازه در نظر گرفته شده است . این ملات و یا بتن باید علاوه بر موارد ذکر شده در گروه M2 الزامات زیر را نیز برآورده نماید .

سازگاری مقاومت و خواص شکل پذیری

کنترل خزش و جمع شدگی

مقاومت در برابر تنش های حرارتی

عملکرد دراز مدت ( از لحاظ مقاومت و تغییر شکل ها ) در برابر تغییرات رطوبت و حرارت

رفتار در برابر حریق

همچنین در این گروه مصالح تعمیری نیز باید پوشش سطحی مناسب و سازگار با بتن بلند پایه بوسیله آزمایش تأیید گردد .

#### گروه M4

بتن و ملات تعمیری در این گروه باید علاوه بر تمهیدات ذکر شده در گروه M2 و M3 از مقاومت بیشتری برخوردار بوده و مقاومت سایشی آن نیز در حد مناسب باشد .

با توجه به تقسیم بندی فوق الزامات متفاوتی برای ملات و بتن بر اساس کاربرد مشخص می گردد . ولی به این معنی نیست که برای هر گروه یک سیستم تعمیری با بتن و یا ملات خاص در نظر گرفته شده است ، بلکه هدف اصلی معرفی سیستم تعمیری با توجه به کاربرد آن می باشد . مثلاً ممکن است یک نوع بتن و با ملات هر سه گروه M1 و M2 و M3 را پوشش دهند .

انواع ملات های تعمیری

ملات های سیمانی C-C

ملات های سیمانی ملات هایی هستند که حداکثر اندازه سنگدانه های آن ۴ میلیمتر است . این ملات ها بعنوان سیستم تعمیری بتن باید الزامات مربوط به بتن را نیز برآورده نماید .

با توجه به قطر کم سنگدانه ها در مقایسه با بتن این ملات ها را می توان برای تعمیر با ضخامت کم نیز مورد استفاده قرار داد . از آنجائیکه این نوع ملات با بتن سازگاری دارد ( بعلت قلیائی بودن آن ) به همین جهت استفاده از این نوع ملات برای تعمیر اجزاء بتنی مناسب است . ولی در عمل این نوع ملات در کارهای اجرائی کمتر از ملات های اصلاح شده با مواد مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرد .

بر اساس توصیه نامه ها تعمیر و نگهداری [ ۱ ] ترکیب ملات های سیمانی که برای تعمیر مورد استفاده قرار میگیرد ، بخصوص برای اجزاء خارجی باید دارای الزامات زیر باشد :

مقدار سیمان باید حداقل  $400 \text{ kg/m}^3$  ( البته سیمان باید با استاندارد مطابقت داشته باشد و مقاومت ۲۸ روزه آن حداقل  $N / \text{mm}^2$  ۳۵ باشد ) و نسبت آب به سیمان نیز کمتر از  $0.5$  باشد ، مصالح سنگی مورد استفاده باید حداقل الزامات مربوط به سنگدانه ها را داشته باشد . جهت کنترل دقیق ترکیب ملات ها معمولاً آنها را بصورت ملات خشک آماده می نمایند ، با وجود این قبل از استفاده کنترل کیفی آن ضروری می باشد . ملات های سیمانی می توانند برای تعمیر سطوح افقی ، شیب دار ملایم و عمودی اجزاء ساز های بتنی مورد استفاده قرار گیرند . از آنجائیکه این ملات ها در ضخامت کم اجراء می شوند ، به همین جهت برای سطوح شیب دار تند و قسمت پشت سطوح نیز مورد استفاده قرار می گیرند . کارآئی ملات های سیمانی که برای تعمیر سطوح افقی و شیب دار ملایم استفاده می شود باید بحالت پلاستیک باشد ، در صورتیکه تعمیر سطوح شیب دار تند ، عمودی و قسمت زیرین سطوح مورد نظر باشد کارآئی ملات باید حالت سفت داشته باشد بطوریکه بتوان با ماله دستی آن را اجرا نمود . معمولاً ضخامت ملات مورد استفاده برای سطوح وسیع ۲۰ تا ۴۰ میلی متر می باشد . شایان ذکر است که بر اساس توصیه های مربوط به تعمیر و نگهداری ( ZTV-SIB ) این ضخامت می تواند بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلیمتر باشد .

ملات های سیمانی اصلاح شده با مواد مصنوعی ( pcc )

بتن و یا ملات های سیمانی اصلاح شده با مواد مصنوعی ( pcc ) سالهاست که با موفقیت برای تعمیر سازه های بتنی مورد استفاده قرار گرفته اند . مواد مصنوعی که در این سیستم ها استفاده می شود مشابه موادی است که در ملات های رزینی و یا بتن های رزینی مورد استفاده قرار می گیرد [ ۴ ] . برای روشن شدن به اصطلاحات فوق شکل ۳ مواد تشکیل دهنده و ساختار ملات ها را نشان می دهد .

سمت چپ شکل ساختار بتن و یا ملات سیمانی ( cc ) را نشان می دهد . قسمت وسط شکل بتن و ملات اصلاح شده با مواد پلیمری ( pcc ) و سمت راست بتن و یا ملات رزینی ( بتن پلیمری - pc ) را نشان می دهد .

تفاوت اصلی سه نوع ماده تعمیری فوق در مقدار و نوع چسبنده آنها می باشد . مقدار مصالح سنگی در هر سه نوع ملات یکسان است . ماده چسبنده در ( cc ) سیمان و در ( pcc ) بخشی از سیمان بوسیله مواد پلیمری جایگزین شده و ( pc ) فاقد سیمان است و ماده چسبنده آن فاقد پلیمر می باشد .

جدول ۱ - الزامات مربوط به انواع مصالح تعمیراتی



مصالح مسطح رزینی (PC)		مصالح سیمان اصلاح شده با پلیمر (PCC)		مصالح سیمان	
—	—	تحت بار دینامیکی	تحت بار غیر دینامیکی		
—	—	$> 45$	$> 30$	35	مقاومت فشاری
		$> 9$	$> 6$	5	مقاومت خمشی
0.3	0.6	$< 1/3$	$< 1/2$	2-0.6	جمعشدهگی mm/m
—	—	$< 0.3$	$< 0.3$	—	انبساط mm/m
$< 20$	$< 25$	$< 15$	$< 15$	12	ضریب انبساط حرارتی
—	—	25-40000	35000-15	36000	مدول الاستیسیته
$> 2/0$	$> 2/0$	$> 2/0$	$> 1/5$	$> 1/5$	مقاومت چسبندگی
بدون ترک	بدون ترک	حداکثر عرض ترک 0.1 mm	حداکثر عرض ترک 0.1 mm	—	30 سیکل حرارتی و جمع شدگی مفید

نتایج آزمایش پس از 28 روز شایان ذکر است در اصطلاحات فوق مرز بین ملات و بتن تعیین نشده است . پلیمرها و یا مواد مصنوعی که برای سیستم های فوق مورد استفاده قرار می گیرد بسیار متنوع می باشد ولی بطور کلی از دو گروه اصلی پلیمرهای آماده و منومرها استفاده می شود که در جدول " 2 " نشان داده شده است . پلیمرهای استفاده شده در گروه اول مواد مصنوعی هستند که پلیمریزه شده اند و بصورت پلیمر آماده به بتن تازه اضافه می گردند . در این گروه دیسپرز یون های تروموپلاستیک و الاستیک و همچنین پودرهای با قابلیت دیسپرز یون قرار دارند . مواد دیسپرز یونی در اثر پلیمریزاسیون تبدیل به یک امولوسیون ( از آب و مایع منومر ) می گردند . قطر پلیمر تشکیل شده به این ترتیب تقریباً " تا است . دیسپرز یون ها می توانند از یک و یا چند منومر تشکیل شده باشند که در نتیجه ایزوپلیمریزات و یا مخلوط پلیمریزات ( کوپلیمر ) بوجود می آید . در اثر مخلوط کردن پلیمرهای مختلف می توان خواص چسبندگی ، نگاه داشتن آب ، نفوذپذیری و غیره را تغییر دلد . سخت شدن دیسپرز یون ها بصورت فیزیکی صورت می گیرد ، باین ترتیب که دیسپرز یون ها در اثر هیدراسیون سیمان و خشک شدن ملات و یا بتن آب خود را از دست داده و در نتیجه اجزاء پلیمر به یکدیگر می چسبند ، مثال برای این تیپ در قسمت راست جدول 2 دیده می شود . پودرهای با قابلیت دیسپرز یونی ، بوسیله دستگاه خشک کن اسپرئی از مواد دیسپرز یونی تولید می گردند ، این مواد تجمعی از اجزاء پلیمر می باشند اندازه آنها تا می رسد . پس از حل شدن این مواد در آب عمل سخت شدن دقیقاً مانند دیسپرز یون ها انجام می گیرد . شایان ذکر است

که بعلت روش خاص تولید این مواد ، تمام مواد دیسپرسیونی ( پخش کننده ) پلیمری برای این تولید مناسب نیستند . در حال حاضر علاوه بر دو نوع کوپلیمر اشاره شده در جدول ۲ آکریلات پودری که قابلیت دیسپرسیونی دارد نیز تولید می شود . گروه دوم مواد مصنوعی که در بتن مورد استفاده قرار می گیرند منومرها می باشند این مواد در اصطلاح علمی رزینهای دورا پلاستیک و یا بعبارت دیگر رزینهای مصنوعی نامیده می شود . این رزینها بوسیله واکنش شیمیایی پلیمریزاسیون افزایشی و یا پلیمریزاسیون سخت می گردند انجام واکنش پس از مخلوط کردن مواد با یکدیگر صورت می گیرد . تفاوت این نوع رزینها در معلق شدن ( امولسیون ) و یا غیر قابل معلق شدن ذرات آن در آب است . رزینهایی که در آب بصورت ذرات معلق هستند بیشتر برای بتن های اصلاح شده با مواد پلیمری ( pcc ) استفاده می شوند [ ۵ ] . به این ترتیب که رزین سخت شده همراه با سیمان هیدراته شده ، چسبنده ملات را تشکیل می دهند ، به همین جهت باید رزین و سخت کننده در آب بصورت امولسیون در آید و همچنین در زمان سخت شدن با هیدراسیون سیمان سازگار باشد [ ۶ ] . در حال حاضر بیشتر از رزینهای اپوکسی استفاده می شود که سخت کننده و رزین آن بصورت مایع می باشد . رزینهایی که قابلیت امولسیون شدن در آب را ندارند بیشتر در بتن های پلیمری ( pc ) و یا لایه ارتباطی چسبنده بین بتن جدید و قدیم و یا بعنوان پوشش های سطحی مورد استفاده قرار می گیرند . رزین های اپوکسی که در حال حاضر استفاده می شوند در مقابل رطوبت حساس هستند و باید عمل مخلوط کردن با دقت انجام گیرد .

دیسپرسیون های ترموپلاستیک و الاستیک و پودرهای با قابلیت دیسپرسیون و رزینهایی که قابلیت امولسیون شدن دارند برای بتن های اصلاح شده با مواد مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرد ( بعبارت دیگر برای pcc ) . رزین هایی که قابلیت امولسیون شدن را ندارند برای بتن و ملات های رزینی ( pc ) مورد استفاده قرار می گیرد . با توجه به موارد فوق و اختلاف در روند واکنش ، عرضه این مواد به صورت یک جزئی ، دو جزئی و یا چند جزئی باشند . علاوه بر اختلاف در روند واکنش سیستم بتن اصلاح شده با مواد مصنوعی ( pcc ) و بتن رزینی ( pc ) مواد مصنوعی بکار رفته در دو سیستم خواص متفاوتی در بتن ایجاد می نماید . خواص مواد مصنوعی متنوع و قابل تغییر است . حال اگر این ماده مصنوعی با سیمان ، آب و مصالح سنگی مخلوط شود تغییر بیشتری در خواص نیز امکان پذیر می گردد . به همین جهت می توان مقدار آن را بر اساس سازگاری با سازه مورد نظر تنظیم نمود . همانطور که قبلاً توضیح داده شد پلیمر ملات و یا بتن های اصلاح شده با مواد مصنوعی ( pcc ) از مواد دیسپرسیون ( پخش کننده ) و یا پودرهای غیر دیسپرسیون و رزین هایی که در آب بصورت ذرات معلق ( امولسیون ) هستند ، تشکیل شده اند . مقدار این مواد مصنوعی در ملات یا بتن ۵ تا ۱۰ درصد وزن سیمان می باشد ولی در موقعی که از پودرهای با قابلیت دیسپرسیونی استفاده می شود این مقدار باید کمتر از ۵ درصد باشد .

**ترمیم بتن چیست ؟** ترمیم سازه های بتنی به علت ماهیت بتن، امری رایج و ناگزیر در ساخت و بهره برداری از سازه های بتنی می باشد. نیاز به ترمیم می تواند به دلایل مختلفی ایجاد شود. از جمله ترمیم بتن به علت مشکلات طراحی ، ترمیم بتن به علت مشکلات ساخت و بهره برداری. از جمله روشهای ترمیم سازه های بتنی می توان به ترمیم بتن به روش شاتکریت، ترمیم بتن به روش تزریق رزین پلی یورتان و اپوکسی ، ترمیم بتن به روش پوششهای ترمیمی ، ترمیم بتن به روش ساب سطوح بتنی، ترمیم بتن به روش ملات سیمانی ، ترمیم بتن به روش ملات و چسب پلی یورتان و اپوکسی و ... از جمله این روشها می باشند.

### ترمیم و بازسازی سطوح بتنی

اصلاح مناطق تخریب شده و یا فضاهای پوک و سست با استفاده از مصالح معمولی و یا چسب بتن از اشتباهاتی است که معمولاً نتیجه ای جز شکست نخواهد داشت. ترمیم بتن فقط توسط مصالح تخصصی و تیمهای با تجربه امکان پذیر خواهد بود. شرکت کلینیک فنی و تخصصی بتن ایران ، راه حل های ممتاز و با دوامی برای حفاظت و ترمیم سطوح بتنی ، ترمیم انواع ترکها ، سطوح متخلخل ، لانه زنبوری ، شن زدگی ، درزهای پله ای ، نواحی ورودی لوله ها حفره های حاصل از Core گیری ، ترمیم و پر نمودن حفره بولتها ، ترمیم اسلبهای تخریب شده و معیوب و ... آرایه می نماید .

پروسه کامل ترمیم ، شامل بررسی و تشخیص علت عیوب ، آماده سازی سطح ، تخریب و حذف نقاط پوک و سست ، اجرای لایه های محافظت و ممانعت از خوردگی آرماتورها ، اجرای پرایمر های واسط چسبندگی و نهایتاً پر کردن نواحی معیوب با ملات های ترمیمی مناسب بسته به عمق تخریب خواهد بود .

#### ملات های ترمیمی :

ISONEM M 03 –DEZOSIVE 1010-DEZOSIVE 1020-DEZOBOND 2200-ISONEM M 36 و ...

محصولات از جمله مواردی هستند که در رفع معطلات و عیوب بتن توسط متخصصین پیشنهاد می گردد .  
از جمله مزایای استفاده از سیستم های مدرن ترمیم سیمان پلیمری ، عبارتند از  
رفتار فیزیکی مشابه بتن

متخلخل با قابلیت پخش بخار  
قابلیت اعمال بر سطوح مرطوب  
مقاوم در برابر نمکهای یخ زدایی  
عدم جدایش از بتن اصلی تحت تنش های محیطی  
چسبندگی فوق العاده به سطح بتن و دوام بسیار خوب

کاهش میزان نفوذ ( CO<sub>2</sub> مقاوم در برابر کربناسیون

رسیدن به حداکثر مقاومت های فیزیکی و مکانیکی و در حداقل زمان

سخت شدن بدون ایجاد ترک و با میزان جمع شدگی Shrinkage بسیار کم

توجه : میزان مواد مورد نیاز برای ترمیم بتن به مقدار پوکیها و سایر عیوب بتن بستگی داشته و بهیچوجه قبل از تخریب نقاط سست قابل محاسبه نمی باشد

ترمیم ترکهای سطوح بتنی

روشهای مقابله با انواع ترکها متفاوت خواهد بود .

لذا اولین قدم در انتخاب روش ترمیم شناخت ترک می باشد . مسلماً برخورد باترکهای دینامیک با سایر ترکها متفاوت خواهد بود . ترمیم ترکهای دارای حرکت با مصالح غیر منعطف نهایتاً" با شکست روبرو خواهد گردید. بنابراین باید ترکهای متحرک با انواع ماستیک (ماستیک های پلی یورتان ارجعیت دارند ) و یا مواد الاستومری اصلاح گردند . در خصوص ترکهای بدون حرکت ترمیم با مصالح تخصصی پایه سیمانی موثر خواهد بود . قدم بعدی پس از شناسایی ترکها آماده سازی می باشد . باز کردن دهانه ترکها و شکل دادن به آنها غیر از تسهیل در انجام عملیات ترمیم موجب خواهد گردید که مساحت درگیر مواد با لبه ترک افزایش یابد

تمیز کردن و زدودن گردخاک مرحله بعدی کار خواهد بود که معمولاً با فشار باد(در خصوص ماستیکها ) و فشار جت سیال (در خصوص ملاتهای ترمیمی ) انجام خواهد گردید. ادامه کار براساس دستورالعمل تولید کننده محصول انتخابی برای اصلاح ترک انجام خواهد گردید.

#### ترمیم کننده بتن نانو Nano

مواد ترمیم کننده نانو Nano محصولاتی با مشخصات و مکانیسم ویژه بهمراه چسبندگی فوق العاده زیاد، در تمام محیط های خورنده با PH های مختلف قابل استفاده بوده و بهترین محصول برای ترمیم سازه هایی است که در مناطق مرطوب قرار دارند. محصولات نانو می تواند تا عمق بیشتر از ۱۵۰ سانتی متر در ترکهای موئین بتن نفوذ کنند. همچنین ذرات نانو به طور طبیعی بر روی میلگردها پوششی ایجاد کرده که این عمل بر اساس حفاظت کاتدیک بوده و از فرسایش و خوردگی میلگردها جلوگیری می کنند. از دیگر مزایای مصالح نانو توانایی ترمیم ترکها در سازه های بتنی مسلح، که ترمیم حفره های با عمق بزرگتر از ۱۰۰ میلی متر و کرمو شدگی بتن و ترمیم گسترده در مکانهایی که استفاده از قالب امکان پذیر نباشد می باشد.

از جمله کاربردهای دیگر نانو مصالح می‌توان به ترمیم و مقاوم سازی سازه های بتنی مانند پایه و عرشه پل ها، استخرها، مخازن آب، اسکله ها، برج های خنک کننده، پالایشگاه ها و تجهیزات صنعتی و پتروشیمی، مراکز تصفیه آب و فاضلاب و ترمیم ساختمانهای تاریخی و بازسازی آثار باستانی اشاره کرد.

### ترمیم کننده اپوکسی بتن

ترمیم کننده بتن ملاتی سه جزئی بر پایه رزین اپوکسی می‌باشد که جزء اول رزین اپوکسی به عنوان پیوند دهنده، جزء دوم هاردنر و جزء سوم فیلر می‌باشد. هاردنرهای مورد استفاده جهت پختن رزینهای اپوکسی معمولاً پلی آمینهای آلیفاتیک و آروماتیک می‌باشند. شرکت کلینیک فنی و تخصصی بتن ایران برای ساخت این ملاتها از رزین هاردنرهای شرکت isonem ترکیه استفاده می‌کند. ملاتهای بر پایه رزین اپوکسی این شرکت در برابر اسیدهای معدنی با غلظت پایین، قلیاها و نمکها مقاومت بالایی دارند و با توجه به نوع هاردنر مورد استفاده دارای مقاومت‌های بسیار متنوعی می‌باشند. این ملاتهای پلیمری انقباض (Shrinkage) و نشست در طی زمان عمل آوری ندارند و مقاومت آنها در برابر نفوذ روغنها، مایعات و اکثر مواد شیمیایی مورد استفاده در کارگاه های صنعتی، اسکله ها، فرودگاه ها، ساختمان و مخازن بسیار مناسب می‌باشد. ترمیم کننده بتن فاقد کلراید بوده و پس از عملیات ترمیم و مقاوم سازی باعث خوردگی در آرماتورها نمی‌شود. از این مواد همچنین برای ایجاد پوشش FRP لاینینگ ضد خوردگی که دارای مقاومت‌های بالای شیمیایی می‌باشد، استفاده کرد.

### ترمیم کننده بتن

بتن یک ماده مقاوم است که دارای استحکام و دوام بالایی است. با این وجود، عوامل مختلفی می‌توانند بر روی بتن تاثیر گذاشته و موجب تخریب بتن شوند. ایجاد خرابی در سازه های بتنی، استحکام آن را کاهش می‌دهد. برای جلوگیری از این رخداد باید به تعمیر و ترمیم بتن پردازیم.

تعمیر و ترمیم سازه های بتنی به عنوان جایگزین یا اصلاح مصالح، اعضای خراب شده و یا اجزای معیوب یک سازه است. در واقع به عبارتی دیگر می‌توان تعمیر را شیوه ای دانست که به طولانی تر شدن عمر مفید و واقعی یک سازه و رسیدن به عمر مفید آن سازه است. ساختارهای بتنی و ترمیم کننده های بتن به مرور زمان و در طول فرآیند بهره برداری دچار آسیب و تخریب میشوند. کارفرمایان به منظور حفظ و نگهداری ویژگی ها و شرایط سازه های بتنی برای کاربرد کامل سازه های بتنی و ترمیم کننده بتن در طول دوره پیش بینی شده اقدام به تعمیرات و ترمیم آنها می‌کنند. آسیب هایی که به سازه های بتنی در طول زمان و بنا به علت های مختلف وارد می‌شود دارای انواع مختلفی است. از عواملی که باعث تخریب سازه های بتنی می‌شود می‌توان به دلایلی چون خوردگی، سولفات شدن، مشکلات اجرایی، اسیدها، واکنش قلیایی و ... می‌باشند. همچنین با توجه به شرایط فرآیند اجرایی، بهره برداری، محدودیت های زمانی و اقتصادی و همچنین آسیب مواد و روش های مختلفی مانند ترمیم کننده های بتنی و یا ترمیم سازه های بتنی وجود دارد که می‌توان از آنها استفاده نمود ملات های ترمیم کننده بتن است. قیمت ملات ترمیم کننده بتن مخصوصا در تعمیرات های خاص و با وجود ابعاد کوچک و یا اینکه کاربرد زیادی در شرایط اجرایی و بهره برداری خاص دارند مناسب و بسیار به صرفه است.

انواع عیوب سازه های بتنی را می‌توان به عیوب و تخریب سازه های سازه ای و غیر سازه ای تقسیم بندی کرد. عیوب و تخریب های سازه ای به مشکلاتی اطلاق می‌شود که بر ظرفیت باربری سازه تاثیر داشته و باعث اختلال در باربری سازه می‌گردد. این تعمیرات و ترمیم ها باید به نحوی باشد که بتواند بخشی از بار وارده به خود و سازه را بدون مشکل تحمل نماید.

### از جمله منشا و عوامل تخریب بتن می‌توان به این موارد اشاره کرد :

خوردگی میلگردها، سولفات شدن، کربناتاسیون، فرآیند ذوب و یخ، تبلور نمک، تماس اسیدی، حوادث طبیعی مانند زلزله و آتش سوزی، واکنش قلیایی سنگ دانه ها، سایش و پدیده کاویتاسیون، مشکلات اجرایی و عمل آوری و ... در ترمیم بتن و تعمیرات غیر سازه ای، عملیات انجمنی باربر نبوده و صرفا به منظور زیباسازی، جلوگیری از معضلات بهره برداری مانند نشست آب، حفظ دوام دارای اهمیت می‌باشد. از جمله انواع روش های تعمیرات و ترمیم سازه های بتنی می‌توان

به : قالب بندی و بتن ریزی با بتن حاوی افزودنی های بتن ، بتن پیش آکنده ، بتن پاشی یا شاتکریت ، ترمیم دستی ، تزریق رزین اپوکسی و پلی یورتان ، بتن اصلاح شده با پلیمر و چسب اپوکسی یا لاتکس ، بتن های پلیمری و ... اشاره کرد. مواد ترمیم کننده بتن در انواع مختلفی وجود دارد. برخی از انواع مواد ترمیم کننده بتن شامل ملات هایی هستند که به آنها ملات های ترمیم کننده بتنگفته می شود. این ملات ها گاهی به صورت آماده وجود دارند و برای انجام تعمیرات در ابعاد کوچک و خاص بسیار کاربردی و قابل اجرا می باشند.

#### ۱- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم ستون های بتنی

عمده مشکلات موجود در ستون های بتنی را می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه ای تقسیم کرد. مشکلات سازه ای ستون : ترک های با عرض و عمق زیاد بر اثر حوادث ، خوردگی و ... - شکستگی بتن با ابعاد زیاد - درزهای اجرایی به علت قطع بتن

مشکلات غیر سازه ای ستون : کرمو بودن و تخلخل در بتن ، شکستگی کم عمق ، ترک های سطحی

#### روش های ترمیم ستون های بتنی

ترمیم ترک های ستون ها با استفاده از تزریق رزین اپوکسی  
ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی و ملات پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر در شکستگی و خوردگی ستون ها  
ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی اتصال قدیم به جدید و ملات منبسط شونده در کپ های اتصال  
ترمیم سطحی و دوامی با استفاده از ملات ترمیم کننده پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر  
پوشش ترک های سطحی با پوشش های محافظتی الاستومری به منظور حفظ دوام  
استفاده از الیاف های CFRP به صورت ترکیبی با سایر روش ها با توجه به حجم آسیب  
ترمیم با استفاده از دوخت سازه به وسیله تزریق رزین و کاشت میلگرد

#### ۲- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم دیوار های بتنی

عمده مشکلات موجود در دیوار های بتنی را می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه ای تقسیم کرد.  
مشکلات سازه ای دیوارهای بتنی : ترک های با عرض و عمق زیاد بر اثر حوادثی چون زلزله و آتش سوزی ، خوردگی و ... - شکستگی بتن با ابعاد زیاد - درزهای اجرایی به علت قطع بتن - کپ موجود در اتصال بتن دیوار به تیر یا دال و ...  
مشکلات غیر سازه ای دیوارهای بتنی : کرمو بودن و تخلخل در بتن ، شکستگی کم عمق ، ترک های سطحی

#### ۳- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم سقف ، تیر و پل های بتنی

عمده مشکلات موجود در سقف ، تیر و پل های بتنی می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه ای تقسیم کرد.  
مشکلات سازه ای سقف ، تیر و پل های بتنی : وجود گرده ماهی ( سقف بدون آویز) ناشی از مشکلات اجرایی ، ترک های عریض و عمق زیاد ، خوردگی ، ضعف در اتصالات و نشیمن تیر به ستون ، تیرچه به تیر و ... ، شکستگی بتن به علت ضربه ، زلزله یا خوردگی  
مشکلات غیر سازه ای سقف ، تیر و پل های بتنی : ناصاف بودن و لبه داشتن قالب در بتن های اکسپوز ، کرمو بودن و تخلخل در بتن ، شکستگی کم عمق ، ترک های سطحی و ...

#### ۴- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم فونداسیون های رادیه (گسترده) و نواری بتنی

عمده مشکلات موجود فونداسیون های رادیه (گسترده) و نواری بتنی را می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه ای تقسیم کرد.  
مشکلات سازه ای سقف ، تیر و پل های بتنی : انواع ترکها ، خوردگی و شکستگی بتن  
مشکلات غیر سازه ای سقف ، تیر و پل های بتنی : کرمو شدگی و تخلخل ، ترک های سطحی که می توانند برای دوام فونداسیون با توجه به مدفون بودن و تماس با آب و خاک زیاد بار باشد.

## روش های ترمیم فونداسیون های رادیه ( گسترده ) و نواری بتنی

ترمیم ترک های فونداسیون و پی با استفاده از تزریق رزین اپوکسی  
ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی و ملات پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر در شکستی و خوردگی میلگرد فونداسیون  
ترمیم سطحی و دوامی با استفاده از ملات ترمیم کننده پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر  
پوشش ترک های سطحی با پوشش های محافظتی الاستومری به منظور حفظ دوام  
دوخت ترک با استفاده از تزریق رزین و میلگرد

### ۵- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارهای بتنی

عمده مشکلات موجود در کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها بتنی می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه ای تقسیم کرد.

مشکلات سازه ای کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارهای بتنی : وجود ترک ها و خوردگی  
مشکلات غیر سازه ای کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها بتنی : ناصافی و متخلخل بودن سطح بتن ،  
عدم تراز سطح بتن ، سایش و از آسیب سطحی ، شکستی لبه درزها ، شستگی ناشی از ریزش اسید

### روش های ترمیم کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارهای بتنی

ترمیم ترک های کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها بتنی با استفاده از تزریق رزین اپوکسی  
استفاده از بتن پلیمری در ترمیم شکستی بتن ها  
استفاده از ملات خود تراز شونده برای لول کردن سطح  
استفاده از کف پوش های صنعتی برای جلوگیری و ترمیم سایش  
اجرای پوشش های آب بند به منظور جلوگیری از خوردگی و تخریب سطحی  
استفاده از پوشش های با ملات شیمیایی بالا  
مراحل ترمیم و تعمیر بتن به کمک مواد ترمیم کننده بتن

### الف) مراحل اجرای ترمیم ترک ها به روش تزریق رزین اپوکسی

پاکسازی درون ترک با استفاده از فشار هوا و یا آب  
خشک کردن درون ترک در صورت شستشو با آب  
سوراخ کاری محل نصب پکر ها با فواصل معین و عمق لازم به وسط ترک به صورت مورب با زاویه ۴۵ درجه  
بتونه کاری سطح ترک برای جلوگیری از فرار رزین تحت تزریق  
آماده سازی رزین و تزریق آن به درون ترک از پایین به بالا  
خارج کردن پکر ، تمیزکاری سطح بتن

### ب) مراحل اجرای ترمیم بتن های کرم و سطحی

حذف بتن های ضعیف  
مربوط کردن سطح کار  
اختلاط ملات ترمیم ریز دانه اصلاح شده با پلیمر ( یا ملات ترمیمی اپوکسی ) و اجرای آن بر روی سطح  
کیورینگ سطح تا سه روز برای ملات های پایه سیمانی  
در صورتی که بتن اکسپوز باشد ساب سطح بتنی هم باید انجام شود.

توجه : در صورتیکه بتن اکسپوز و نما باشد باید از ملات با حداکثر مطابقت رنگ برای ترمیم استفاده نمود.

### ج) مراحل اجرای بتن طبه شده ، شکسته با تخریب حجیم و عمق زیاد ( بیش از پنج میلیمتر)

تخریب بتن های ضعیف تا عمق حصول بتن سالم ، با پلان هندسی ، عمق یکنواخت و زوایای قائم

زنگ زادی و تقویت میلگرد ها در صورت خوردگی  
اعمال لایه پیوند را از چسب لاتکس یا چسب اپوکسی بسته به سازه ای بودن یا غیر سازه ای بودن  
اجرای هر یک از ملات ترمیم کننده بسته به شرایط بهره برداری ، محدودیت مقاومتی و زمانی و شرایط اجرا  
کیورینگ و عمل آوری بسته به نوع ملات اجرا شده  
**مواد ترمیم کننده بتن**

از انواع روش های ترمیم کننده بتن می توان به ابعاد منطقه ترمیم، مقاومت شیمیایی مورد نیاز، ضخامت ترمیم، سازه ای بودن یا غیر سازه ای بودن بتن و ... اشاره کرد.

### **چسب های پلیمری بتن**

مورد استفاده چسب های پلیمری پس از استفاده از بتن است چرا که بتن را سخت و مقاوم می نماید و مانع از نفوذ آب و دیگر املاح به داخل آن می شود .

موارد کاربرد چسب های پلیمری بتن

کف پوش های بتنی

دوغاب کاشی کاری

اتصال و ضد آب سازی پوشش های گچی

ملات هایی بر پایه سیمان و آهک

پوشش برای تراشه ها و لایه های سیمانی

و ...

### **پودر ترمیم کننده بتن**

پودر ترمیم کننده بتن مختص ملاتی است که یک جزء آن پایه سیمانی است که با الیاف پلی پروپیلن، رزینهای پودری محلول در آب و لاتکس تقویت شده و از محصولات کلینیک بتن ایران است فقط کافیست در زمان مصرف به آن آب اضافه گردد . ملات به دست آمده قدرت چسبندگی فوق العاده زیادی دارد و همچنین در برابر ترک خوردگی، حملات شیمیایی، نمک ها و سیکل های گرما و سرما مقاوم است .

### **درباره ترمیم کننده بتن**

ترمیم کننده بتن پودری آماده مصرف بر پایه سیمان، فیلرهای مستحکم و پلیمرها و مواد افزودنی انعطاف پذیر بوده که با افزودن آب به آن تشکیل بافت نرم و شکل پذیری داده و از چسبندگی قابل توجهی به مقاطع زیرکار برخوردار می باشد. از این ملات آماده مصرف و بدون انقباض جهت ترمیم قطعات بتنی پیش ساخته و گران قیمت، تسطیح کرمو شدگی و آسیب دیدگی دیوار، ستون و نمای ساختمان استفاده می گردد. تمایز خاص ترمیم کننده بتن، قابلیت اجرا تا ضخامت یک سانتی متر بدون ترک خوردگی در هر مرحله اجرایی و مقاومت فشاری، کششی و همچنین چسبندگی بسیار زیاد بر روی تمامی سطوح بتنی و سیمانی می باشد.

### **موارد مصرف**

ترمیم و اصلاح سطوح کرمو، پریدگی های بتن و رفع آسیب دیدگی های سطحی در پل ها

مرمت و تعمیر کلیه سازه های بتنی، قطعات پیش ساخته سازه ها و سطوح پایه سیمانی

اصلاح و بر طرف کردن ترک خوردگی، شکستگی دیوارها و نماهای بتنی

ترمیم و آب بندی سازه ها از قبیل منابع آبی، استخرها و نمای ساختمان با استفاده از رزین آب بندی

انواع ملات های آماده ترمیم کننده بتن :

۱- ملات های پایه سیمانی

۲-انواع ملات پلیمری

۳-ملات های نیمه پلیمری

۴-چسب اپوکسی

۵-چسب لاتکس

لازم به ذکر است که هر یک از انواع ترمیم کننده بتن که در بالا نام برده شد، دارای خصوصیات و ویژگی‌های منحصر به فردی هستند که موجب می شود تا بتوان از آنها برای سازه های بتنی با شرایط خاص استفاده کرد. استفاده از این مواد برای ترمیم انواع بتن و سازه های بتنی به عوامل مختلفی نظیر ضخامت ترمیم، ابعاد منطقه آسیب دیده، میزان مقاومت شیمیایی مورد نظر، مقدار بار وارده به منطقه مورد ترمیم و نوع منطقه مورد ترمیم در بتن و غیره اشاره کرد.

#### ۱-ملات ترمیم کننده بتن با پایه سیمانی :

نوعی ملات ترمیمی آماده پودری بر پایه سیمان است که به واسطه وجود پلیمرهای مختلف از جمله چسب بتن در ساختار خود باعث شده تا این ملات شکل پذیری و چسبندگی خیلی خوبی با انواع مصالح ساختمانی از جمله بتن و سنگ را داشته باشد. این ملات علاوه بر اینکه سطح بتن را ترمیم می کند باعث می شود سطح بتن نفوذ ناپذیر شود و از نفوذ عوامل خوردنده بیرونی به داخل بتن جلوگیری کند.

#### مزایا ملات ترمیمی پایه سیمانی :

۱-بدون تغییر حجم در ملات، بدون انقباض

۲-مقاومت بسیار خوب برای ترمیم هرگونه بتنی

۳-چسبندگی بسیار بالا به انواع سطوح با مصالح معدنی از جمله بتن

۴-گیرش اولیه سریع و رسیدن به مقاومت بالا

۵-مقاوم در برابر چرخه سرما و گرما

۶-اجرای بسیار آسان

#### کاربرد ملات ترمیم کننده بتن پایه سیمانی :

۱-پر کردن حفره های بتن کرمو و تسطیح سطح بتن (تسطیح سطوح متخلخل)

۲-زیرسازی کف و دیوار جهت آماده سازی برای نصب قطعات نما

۳-پرکردن حفره میان بولت ها

۴-عایق سازی سطح بتنی

#### ۲-ملات ترمیم کننده بتن با پایه پلیمری :

ترمیم کننده بتن معمولی با دانه بندی مناسب و بدون انقباض است که با توجه به پلیمرهای فعال شونده ای که در ساخت این چسب پودری به کار رفته، از چسبندگی قابل توجهی به سطوح زیر کار برخوردار بوده و مقاومت فشاری بالایی را تحمل می نماید. از ویژگی های ترمیم کننده معمولی بتن می توان به سهولت در اجرا، چسبندگی زیاد به مصالح پایه سیمانی، مقاومت در برابر سایش، خراش و ترک، نفوذپذیری کم اشاره کرد و در زمینه ترمیم سطوح ترک خورده، تسطیح سطوح متخلخل، پر نمودن خلل و فرج های بتن کاربرد دارد. روش اجرا بدین صورت است که سطح زیر کار یکدست و فاقد گودال های کوچک، عاری از هر گونه آلودگی، چربی و گرد و غبار باشد. قبل از اجرا، سطح زیر کار را کاملاً مرطوب نموده تا خشک بودن سطح زیر کار موجب ایجاد ترک نشود و چسبندگی، به خوبی صورت بگیرد و در صورت وجود ترک های عمیق، می بایست ترک را کاملاً باز کرده خمیر را با کمی ماسه مخلوط نموده تا داخل ترک را پر کرد.

#### ۳-ملات ترمیم کننده بتن با پایه نیمه پلیمری :



این نوع از ترمیم‌کننده بتن، بر پایه‌ی سیمان بوده و حاوی انواع پلیمرهای نیمه فعال و فعالی است که به واسطه وجود رزین پلیمری در ساختار خود قدرت چسبندگی بالایی به انواع سطوح داشته و ضمن مرمت و بازسازی نقاط آسیب دیده امکان آب‌بندی قطعات را نیز فراهم می‌آورد. پودر ویژه ترمیم‌کننده بتن یکی از بهترین و مؤثرترین ملات‌های ترمیم‌کننده بتن است که در انواع مراحل ساخت و آب‌بندی استخر و ترمیم نقاط آسیب‌دیده بتن قابل استفاده است. با توجه به وجود فشارات هیدرولیکی بالا در استخرها و حساسیت آب‌بندی آن، استفاده از ملات ویژه ترمیم‌کننده بتن به عنوان ماهیچه می‌تواند مقاومت کنج استخر را در مقابل نیروی وارده افزایش دهد و آب‌بندی استخر را تا حدود زیادی تضمین کند. این ترمیم‌کننده ویژه برای مرمت و بازسازی سازه‌های بتنی مانند پل و اسکله، تعمیر قطعات پیش ساخته بتنی، تعمیر و محافظت سازه‌های بتنی دریایی، مرمت قطعات بتنی با میزان تخریب زیاد، ماهیچه‌گذاری در کنج‌های سازه‌های آبی و تمام سطوحی که در تماس مستقیم با آب هستند، قابل استفاده است.

#### ۴- ملات ترمیم‌کننده بتن با پایه اپوکسی :

ملات بسیار قوی و مقاوم بر پایه رزین‌های اپوکسی می‌باشد، که از خاصیت چسبندگی بالایی برای پیوند دادن بین بتن جدید و قدیم و سایر اجزا برخوردار می‌باشد. علاوه بر این از آنجایی که سطوح مختلف همواره در معرض انواع ضربه‌های مکانیکی از قبیل فشاری و سایشی قرار می‌گیرد لذا فرسایش حاصله از این عوامل به ایجاد پستی و بلندی در سطح و معلق شدن ذرات و آلودگی محیط را سبب می‌شود همچنین در اثر تأثیر مواد گوناگون شیمیایی بر روی سطوح کف خوردگی سطوح بتنی و فلزی اجتناب‌ناپذیر است در نتیجه راهکار مناسب جهت پیشگیری از مشکلات فوق استفاده از پوشش‌هایی است که بتواند سطوح را در برابر ضربات و نیروهای مکانیکی و عوامل خورنده شیمیایی حفظ نماید و چسبندگی فوق‌العاده به سطوح زیر کار دهد.

همچنین ملات‌های تعمیراتی بتن (ترمیم‌کننده بتن) اپوکسی دارای سه جز است و بدون حلال و بر پایه رزین‌های اپوکسی به همراه مصالح معدنی کم وزن است. اینگونه ملات‌های سه جزئی است و به منظور کار در سطوح افقی، عمودی و بالاسری مناسب است. این ملات‌ها علاوه بر مقاومت مکانیکی بالا، در برابر خیلی از مواد شیمیایی و اسیدها مقاوم است.

#### مزایای استفاده از ملات ترمیم‌کننده بتن با پایه اپوکسی :

- ۱- مقاومت مکانیکی بسیار بالا
- ۲- چسبندگی فوق‌العاده زیاد به سطوح زیر کار
- ۳- قابلیت شستشو حتی با مواد شوینده
- ۴- تنوع رنگ، قابلیت مصارف بهداشتی و قابلیت ترمیم آسان
- ۵- چسبندگی بسیار مناسب و مقاوم در برابر خوردگی و مواد شیمیایی (مواد اسیدی و قلیایی)
- ۶- پایداری در برابر تغییرات درجه حرارت و ضریب انبساط حرارتی کم
- ۷- عدم جمع‌شدگی و ترک خوردگی
- ۸- مقاومت کششی، خمشی و فشاری بالا
- ۹- نفوذناپذیری در برابر آب و محلول‌های شیمیایی

#### کاربرد ملات ترمیمی پایه اپوکسی:

- ۱- آب‌بندی سطوح بتنی
- ۲- چسباندن بتن جدید به مقاطع بتن قدیمی
- ۳- اتصال بتن به مقاطع فلزی
- ۴- ایجاد پوشش محافظ در مقابل مواد شیمیایی (اسیدی و قلیایی) و حلال‌ها بر روی بتن و فلز
- ۵- کف‌سازی کارخانجات (کارخانه‌های کاشی جهت حرکت ترانسفرکار)

۶- ایجاد پوشش محافظ در سازه های دریایی

۷- پر کردن فضاهای خالی اطراف بولت ها

۸- کاشت میلگرد و انکر بلت در بتن یا سنگ

۹- نصب قطعات و ثابت سازی آنها

۱۰- ایجاد پوشش مناسب معابر

۱۱- پر کردن حفره ها و شکاف های بین اجزای بتن

### ۵- ترمیم کننده بتن با پایه چسب لاتکس :

ترمیم کننده بتن پودری است بر پایه سیمان، که دارای انواع رزین ها بوده و محتوای مواد افزودنی خاصی است که به راحتی با آب ترکیب شده و خمیری با کاربری آسان بدست می آید. به دلیل افزودنی های خاص، چسبندگی عالی به انواع سطوح بتنی و مصالح معدنی داشته و نیاز به مواد کمکی ندارند، انقباض خشک شدن آن بسیار ناچیز بوده، به راحتی روی سطوح افقی و عمودی قابل اجراست و به دلیل مقاومت کششی بالا و الاستیسیته عالی به هیچ وجه دچار جمع شدگی و ترک خوردگی نمی شود. مقاومت بالایی در برابر یخبندان، ذوب و عوامل خورنده شیمیایی دارد. ترمیم کننده بتن در زمینه ترمیم آسیب دیدگی های سطحی بتن از قبیل ترک خوردگی، شکستگی، تخلخل، خراشیدگی، ایجاد سطحی صاف و بدون درز برای اجرای انواع نماها، ترمیم ناهمواری، آسیب دیدگی پله ها، نماها، قطعات پیش ساخته، مخازن بتنی آب، قطعات سیمانی، و موزاییک زیرسازی عملیات کاشی کاری و نصب پوشش بر روی آنها کاربرد دارند. پودر ترمیم کننده بتن از سیمان، سنگدانه، فیلر، الیاف پلی پروپیلن، رزین ها و ... فرموله و تولید شده است و پس از ترکیب با آب ملاتی توانمند می سازد که به راحتی روی سطوح قابل اجرا می باشد. احیاء و بازسازی و مرمت قسمت های آسیب دیده بتن توسط ترمیم کننده بتن امری معمول و اجتناب ناپذیر است که بطور گسترده صورت می پذیرد. با توجه به پیشرفت های حاصله در صنعت بتن و اجرای بتن، باز شاهد هستیم که همزمان با بتن ریزی، قالب برداری و یا پس از گذشت زمان سطح بتن دچار خرابی یا کرموشدگی می شود که به راحتی با ملات تعمیراتی بتن قابل احیاء و بازسازی است. ملات تعمیراتی بتن، ملاتی آماده با بافت نرم و قابل انعطاف می باشد و ترمیم کننده بتن قابلیت شکل پذیری آسان روی سطح، قابلیت ماله خوری عالی و قابلیت پرداخت آسان روی سطح دارد. با توجه به اینکه ترمیم کننده بتن با بنیان سیمان تولید می شود و با بتن از یک جنس می باشد برای تعمیر و بازسازی سطوح بتنی که دچار مشکل شده اند ایده آل تر از سایر ملات های مشابه است. ملات ترمیمی بتن پایه سیمانی را می توان به راحتی در ضخامتهای مختلف اجرا نمود و با توجه به فرمولاسیون توانمند و استفاده از مواد اولیه با کیفیت دچار ترک خوردگی و پوستگی نخواهد شد. معمولاً ترمیم کننده بتن پایه سیمانی نسبت به ملات های تعمیراتی اپوکسی برای تعمیر سطوح بتنی ارجحیت دارند. زیرا از نظر جنس، با سطح زیر کار هم خوانی دارند. ترمیم کننده اپوکسی به دلیل اختلاف در ضریب انبساطی برای اجرای مقاطع ضخیم مناسب نمی باشد و دچار ضعف و ترک خواهد شد. ترمیم کننده بتن به لحاظ داشتن رزین های آکریلیک در فرمولاسیون خود، خاصیت چسبندگی فوق العاده ای به سطوح زیر کار دارد. ملات تعمیراتی بتن پس از خشک شدن و سخت شدن دچار انقباض و تغییر حجم نخواهد شد. به همین دلیل امکان ترک خوردگی حاصل از انقباض ملات در شرایط اجرای ترمیم کننده بتن روی سطح وجود ندارد. ملات ترمیمی بتن پس از گیرش و سخت شدن در برابر تغییرات دما و سیکل های ذوب و یخبندان مقاومت بالایی دارد. از مزایای ویژه استفاده از ملات ترمیم کننده بتن، هم رنگ بودن ملات با بتن می باشد. به طور کلی ملات تعمیراتی، بصورت گسترده ای جهت ترمیم سطوح داخلی و خارجی ساختمان اعم از دیوار و کف قابل استفاده می باشد. ملات ترمیم کننده بتن برای پر کردن درزها و ترک های غیر سازه ای گزینه مناسبی می باشد و ترکیب ۵ درصد وزنی چسب بتن با پودر ترمیم کننده بتن می تواند درزها و ترک ها را تا مدت زمان زیادی ترمیم نماید. از جمله عوامل موثر در خرابی سطح می توان به خوردگی میلگردها، سولفاته شدن، کربناتاسیون، فرایند ذوب و یخبندان، تماس اسیدی، زلزله، آتش سوزی، واکنش قلیایی سنگدانه ها، سایش، پدیده

کاویتاسیون و مشکلات اجرایی عنوان کرد که نیاز به ترمیم و بازسازی خواهد داشت. مد نظر داشته باشید در ترمیم و احیا سطح بتن توسط ملات تعمیراتی بتن، این ملات به هیچ وجه نقش سازه ای و باربری را ایفا نخواهد کرد و صرفاً به منظور تعمیر و زیبا سازی روی سطح اجرا می شود. ترمیم کننده بتن قابلیت رفع کامل نم و نشتی و یا آب بندی سطح را ندارد و چنانچه هدف از ترمیم بتن، آب بندی سطح می باشد باید از مواد مخصوص آب بندی استفاده شود.

### خواص و اثرات ملات ترمیم کننده بتن :

ترمیم کننده بتن در هنگام اجرا و پس از گیرش و سخت شدن کاملاً بدون انقباض و تغییر حجم می باشد. ملات تعمیراتی بتن در هنگام اجرا فاقد شوره می باشد و به راحتی روی کلیه سطوح افقی و عمودی و بالاسری قابل اجرا می باشد.

ملات ترمیم کننده بتن پس از اجرا و سخت شدن در برابر سیکلهای ذوب و یخبندان مقاومت بالایی دارد. ترمیم کننده بتن از نظر رنگ و شکل ظاهری کاملاً با بتن مشابه است. اجرای ملات ترمیمی بسیار ساده است و نیازی به هیچ گونه مهارت و تخصص خاصی برای اجرای آن وجود ندارد.

### مزایای استفاده از ترمیم کننده بتن :

- ۱- به راحتی با آب مخلوط شده و خمیری صاف و همگن و کار پذیر بدست می آید.
- ۲- به دلیل افزودنی های خاص چسبندگی عالی به سطح کار داشته و نیاز به مواد کمکی ندارد.
- ۳- به دلیل مقاومت کششی بالا و الاستیسیته عالی به هیچ وجه دچار جمع شدگی و ترک خوردگی نمی شود.

### روش اجرای ترمیم کننده بتن :

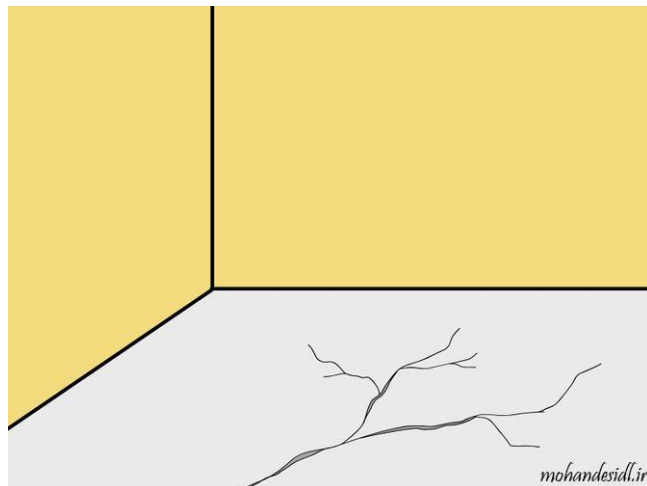
قبل از اجرای ملات ترمیمی بتن دقت نمایید که سطح مورد نظر برای اجرا، عاری از هرگونه آلودگی اعم از گرد و غبار و چربی و روغن و ذرات سست و ... باشد. چنانچه سطح به هر دلیل آلوده باشد ابتدا توسط سند بلاست یا فشار آب سطح را کاملاً شستشو داده و تمیز نمایید. چنانچه نقاط سست روی سطح وجود دارد باید از سطح جدا شود. هرگونه آلودگی و یا وجود نقاط سست روی سطح مانع پیوند درست سطح با ملات تعمیراتی می شود و طول عمر ترمیم کننده بتن را کوتاهتر خواهند نمود. همچنین هرگونه چربی روی سطح چسبندگی ملات ترمیمی بتن را به سطح بتن مختل نموده و پس از اجرا امکان پوسته شدن و تبله شدن وجود دارد. برای ترکیب پودر ترمیم کننده بتن و ساخت ملات ترمیمی بتن ظرفی مناسب که ظرفیت پودر و آب را پس از مخلوط شدن داشته باشد را انتخاب نمایید. به ازای هر کیسه ۲۰ کیلویی پودر ترمیم کننده بتن ۴ الی ۴/۵ لیتر آب مورد نیاز است. ابتدا آب را داخل ظرف ریخته و پودر ترمیم کننده را آرام آرام در حالی که همزن برقی (دریل + پره) روشن است اضافه نموده و تا حصول مخلوطی همگن ادامه دهید. دقت نمایید قبل از اجرای ملات ترمیم کننده بتن روی سطح، ابتدا باید سطح را مرطوب نمایید. چنانچه عمق محل مورد نظر برای اجرا زیاد است، ملات ترمیمی را در چند لایه اجرا نمایید. میزان مصرف ملات تعمیراتی بتن با توجه به حجم محل مورد نظر برای اجرا به دست می آید ولی به طور معمول برای هر متر مربع در ضخامت ۱ میلی متر حدود ۲ کیلوگرم محصول مورد نیاز است. توجه: بهتر است ملات آماده شده را ظرف مدت کمتر از ۲۰ دقیقه مصرف نمایید. سطوح اجرا شده میبایست تا چند روز توسط اسپری آب و یا گونی و پارچه خیس، مرطوب نگه داشته شود تا ملات به مقاومت مورد نظر برسد.

### نحوه ترمیم ترک های سطوح بتنی

بتن ماده ای است که از سیمان، آب، سنگدانه و شن تشکیل میشود. این ترکیب، سطحی با دوام و سختی را ایجاد میکند. با این حال و یا وجود سختی زیاد بتن، گاهی ترک ها و آسیب دیدگی هایی را نیز در سطوح بتنی مشاهده میکنیم. ترمیم بتن، به مواد مختلفی نیاز دارد. چرا که ترمیم و رفع ترک خوردگی های بتن و چسباندن دو سطح جدا شده از هم، به آسانی صورت نمیگیرد.

### ترمیم ترک خوردگی سطح بتنی :

یک روز خنک و ابری را برای ترمیم سطح بتنی انتخاب نمایید . این بهترین زمان جهت ترمیم بتن میباشد . چرا که خشک شدن آب مدت زیادی طول خواهد کشید و بنابراین زمان بیشتری را برای واکنش با سیمان خواهد داشت .



#### خرید ماده چسباننده

در صورتی که تجربه قبلی در مورد نحوه درست کردن ماده چسباننده ندارید ، میتوانید از مواد آماده چسباننده موجود در بازار استفاده نمایید . با توجه به اینکه این محصولات از قبل ترکیب شده اند ، تنها بایستی آب به ماده موجود اضافه شود و کار خاص دیگری نیاز نیست .

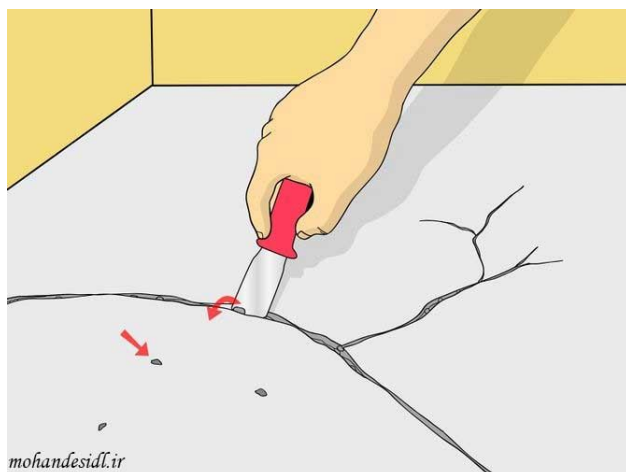
خرید مصالح ، سنگدانه و سیمان پورتلند و شن ، باطبع ارزان تر از خرید ماده آماده پیش ترکیب شده میباشد . در صورتی که میخواهید یک شکاف عمیق را ترمیم نمایید ، میتوانید سنگدانه ۲,۵ سانتی استفاده نمایید . در غیر اینصورت میتوانید از سنگدانه ریز استفاده نمایید .

مواد خشک را به نسبت ۳ سهم سنگدانه ، ۲ سهم شن و ۱,۵ سهم سیمان ، با همدیگر ترکیب نمایید . البته بعضی مواقع این نسبت ها به صورت ۳:۲:۱ نیز قابل قبول میباشد . مقدار سیمان بیشتر ، ماده قوی تری را تولید خواهد کرد . واکنش های شیمیایی بین آب و سیمان نیز انجام خواهد گرفت که منجر به ایجاد ساختاری بسیار قوی خواهد شد .



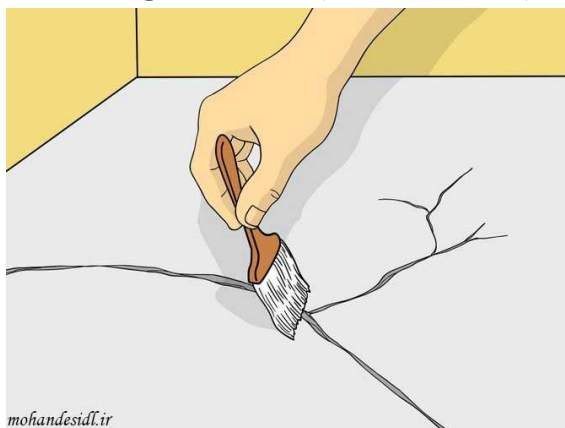
#### زدودن مواد زاید:

بایستی تمام سنگ های شل و غیر متراکم را خارج نماییم . در غیر اینصورت عمل ترمیم به درستی انجام نخواهد گرفت .



### گردروبی سطح بتن بعد از زدودن مواد اضافی :

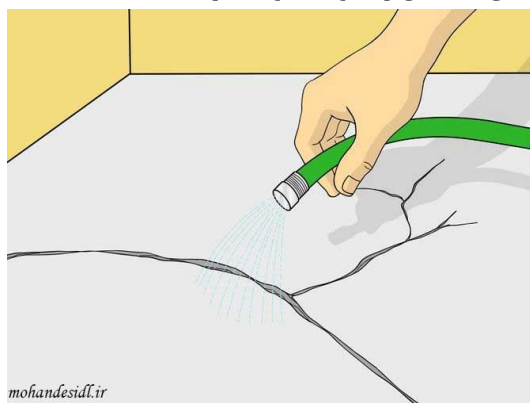
برای این کار میتوانید از یک برس نرم استفاده نمایید . تمام موادی که به سطح چسبیده باشد را پاک خواهیم کرد .



### شستشوی بتن :

با یک شلنگ آب ، مقداری آب نیز بر روی سطح مورد نظر بپاشید . قبل از جمع شدن آب بر روی سطح عمل پاشیدن آب را تمام نمایید .

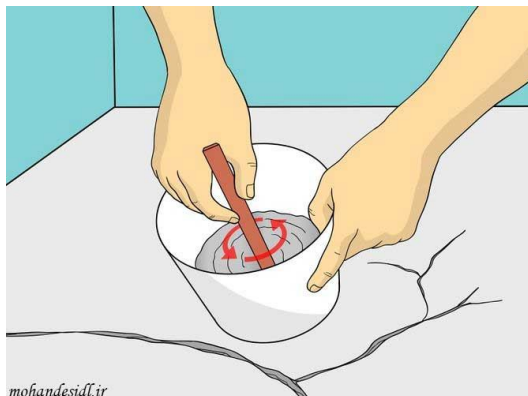
این کار ، عمل مکش رطوبت توسط بتن متخلخل را متوقف خواهد کرد .



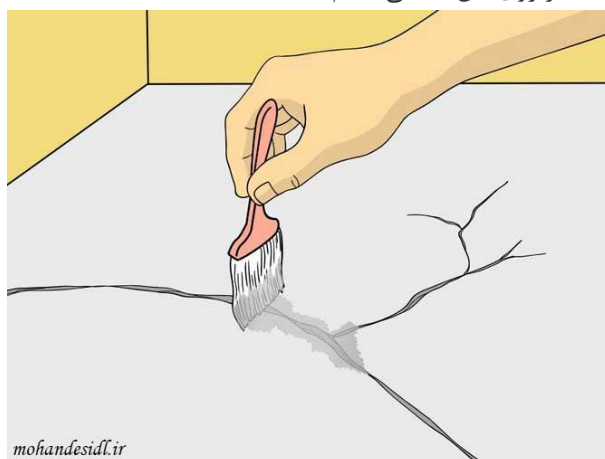
### ایجاد خمیر سیمان :

سیمان پورتلند را با آب مخلوط نمایید . بایتنسی سیمان و آب به خوبی هم زده شوند .

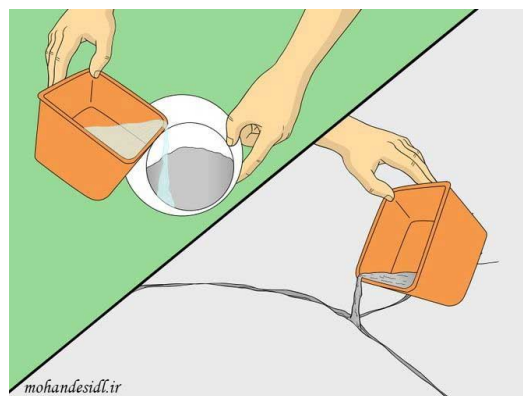
البته به جای خمیر سیمان می‌توانید از مواد چسباننده موجود در بازار استفاده نمایید . مواد چسباننده از زیرین ساخته میشوند و می‌توانند به بتن اضافه شوند . دستورالعمل مربوط به ماده چسباننده را که بر روی بسته آن نوشته شده است را به دقت مرور نمایید ، چرا که هر ماده تولیدی ، دستورالعمل خاص مربوط به خود را دارد .



با استفاده از بورس ، لایه نازکی از خمیر سیمان را بر روی بتن قدیمی مرطوب اضافه نمایید . این کار را قبل از ریختن بتن جدید بر روی بتن قدیمی انجام دهید .

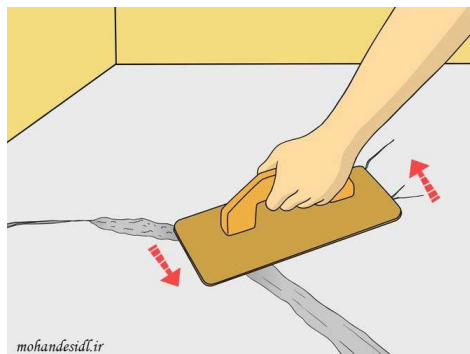


مقداری آب به ماده چسباننده بتنی ترکیب شده در محل و یا پیش ترکیب شده ، اضافه نمایید . آن را به خوبی ترکیب نمایید . ماده چسباننده را در حفره ها و ترک ها بریزید و یا یک لایه ۱ سانتی از ماده چسباننده را جهت مسطح نمودن سطح ها بریزید.



سطح بتن را با یک ماله چوبی ، ماله کشی نمایید .

ماله را به خوبی عقب و جلو نمایید تا سنگدانه ها در زیر سطح فرو روند . شن و سیمان ، بایستی به طرف سطح ، بالا بیایند .

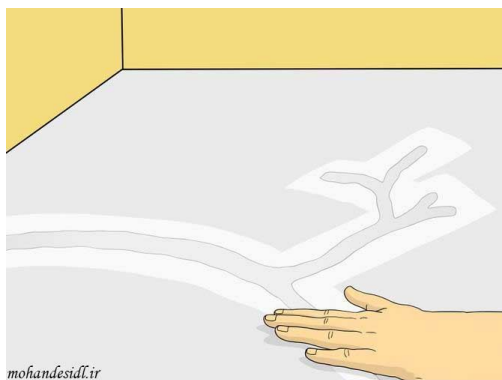


**اجازه بدهید تا آب به بالای سطح بیاید .**

آب بر روی سطح خود به خود تبخیر خواهد شد . مدتی صبر نمایید تا بتن کمی حالت سخت شدگی به خود بگیرد . سپس با یک ماله فلزی و حرکت عقب و جلو آرام ، اقدام به ماله کشی نمایید .

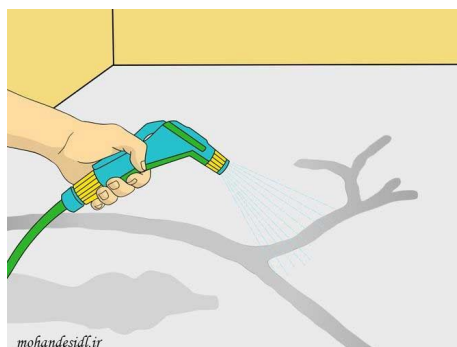


**محل ترمیم و یتن ریزی را با ورقه های پلاستیکی پوشش دهید .**



**بتن جدید را هر روز و به مدت ۴ تا ۷ روز آبپاشی نمایید .**

این کار به ادامه داشتن واکنش های شیمیایی کمک خواهد کرد و بتن تازه را قوی تر خواهد کرد .



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. جزئیات در مشخصات میلگردها باید به دقت کنترل شود تا عرض ترک ها از مقادیر بحرانی تجاوز نکنند. ترک ها تا حدودی مشکل ساز هستند که:

- 1- از لحاظ زیبایی غیر قابل قبول باشند.
  - 2- سبب خروج سازه از حالت آب بندی شوند.
  - 3- بر دوام سازه اثر بگذارند.
  - 4- از لحاظ سازه ای اهمیت داشته باشند.
- به طور کلی، ترک ها در بتن علل زیادی دارند. ترک ها ممکن است فقط ظاهری باشند یا نشانه ای از یک تنش سازه ای مهم و یا فقدان مقاومت و دوام سازه. ترک ها ممکن است وسعت خرابی رانشان دهند یا نشانه حجم بیشتری از مشکلات باشند. اهمیت آنها بستگی به نوع سازه و نوع ترک خوردگی دارد. انواع ترک هایی که برای سازه های ساختمانی قابل قبول می باشند ممکن است برای سازه های دیوار حائل آبی قابل قبول نباشند. تعمیر مناسب ترک ها بستگی به دانستن علت ترک ها و انتخاب مراحل تعمیر متناسب با این علت ها دارد و گرنه ترک ها ممکن است موقت و زودگذر باشند.
- ترک ها ممکن است در بتن نرم و خمیری روی دهد و یا در بتن سخت. ترک های بتن نرم به دلیل افت بتن و ترک های ناشی از نشست رخ می دهد و بعد از سخت شدن ترک های جمع شدگی بتن خشک روی می دهد.
- در انتخاب روش تعمیر ترک علاوه بر توجه به علت و وسعت ترک برداری، باید به وضعیت فعلی ترک ها هم توجه کرد. در غیر این صورت چه بسا روش تعمیری نامناسب و در نتیجه نامؤثر انتخاب شود. انتخاب روش تعمیر نه تنها از علت و وسعت ترک، بلکه از محل و شرایط محیطی حضور ترک نیز تاثیر می پذیرد. به عنوان مثال رفع معایب در شرایط خشکی - تری، صنعتی و دریایی به مصالح و روش هایی کاملاً متفاوت با آنها نیاز دارد که در تعمیر، زیبایی ظاهری به کار می آیند. همچنین شیوه هایی که متکی بر روش ثقلی هستند اغلب در سطوح افقی موفقیت آمیزند ولی به ندرت در سطوح عمودی کارساز و موفق خواهند بود. باید به امکان وجود رطوبت، آب یا مواد آلوده کننده در درون ترک توجه داشت معمولاً روش های تعمیر ترک باعث ناپدید شدن ترک ها نمی شوند و در جایی که زیبایی اهمیت دارد، ظاهر قابل رویت بخش تعمیر شده بایستی ارزیابی شود. استفاده از اندودهای مناسب برای تمام سطح بعد از تمام شدن تعمیر معمولاً ظاهر قابل رویت را مناسب خواهد کرد. از جمله عواملی که موجب خوردگی بتن و فرسودگی و تخریب سازه های بتنی می شود، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

#### **-انفوذ نمکها (INGRESS OF SALTS)**

نمکهای ته نشین شده که حاصل تبخیر و یا جریان آبهای دارای املاح می باشند و همچنین نمکهایی که توسط باد در خلل و فرج و ترکها جمع می شوند، هنگام کریستالیزه شدن می توانند فشار مخربی به سازه ها وارد کنند که این عمل علاوه بر تسریع و تشدید زنگ زدگی و خوردگی آرماتورها به واسطه وجود نمکهاست. تر و خشک شدن متناوب نیز می تواند تمرکز



نمکها را شدت بخشد زیرا آب دارای املاح، پس از تبخیر، املاح خود را به جا می گذارد.

## 2- اشتباهات طراحی (SPECIFICATION ERRORS)

به کارگیری استانداردهای نامناسب و مشخصات فنی غلط در رابطه با انتخاب مواد، روشهای اجرایی و عملکرد خود سازه، می تواند به خرابی بتن منجر شود. به عنوان مثال استفاده از استانداردهای اروپایی و آمریکایی جهت اجرای پروژه هایی در مناطق خلیج فارس، جایی که آب و هوا و مواد و مصالح ساختمانی و مهارت افراد متفاوت با همه این عوامل در شمال اروپا و آمریکاست، باعث می شود تا دوام و پایایی سازه های بتنی در مناطق یاد شده کاهش یافته و در بهره برداری از سازه نیز با مسائل بسیار جدی مواجه گردیم.

## 3- اشتباهات اجرایی (CONSTRUCTION ERRORS)

کم کاریها، اشتباهات و نقصهایی که به هنگام اجرای پروژه ها رخ می دهد، ممکن است باعث گردد تا آسیبهایی چون پدیده لانه زنبوری، حفره های آب انداختگی، جداشدگی، ترکهای جمع شدگی، فضاهای خالی اضافی یا بتن آلوده شده، به وجود آید که همگی آنها به مشکلات جدی می انجامند.

این گونه نقصها و اشکالات را می توان زاینده کارآئی، درجه فشردگی، سیستم عمل آوری، آب مخلوط آلوده، سنگدانه های آلوده و استفاده غلط از افزودنیها به صورت فردی و یا گروهی دانست.

## 4- حملات کلریدی (CHLORIDE ATTACK)

وجود کلرید آزاد در بتن می تواند به لایه حفاظتی غیر فعالی که در اطراف آرماتورها قرار دارد، آسیب وارد نموده و آن را از بین ببرد. خوردگی کلریدی آرماتورهایی که درون بتن قرار دارند، یک عمل الکتروشیمیایی است که بنا به خاصیتش، جهت انجام این فرآیند، غلظت مورد نیاز یون کلرید، نواحی آندی و کاتدی، وجود الکترولیت و رسیدن اکسیژن به مناطق کاتدی در سل (CELL) خوردگی را فراهم می کند. گفته می شود که خوردگی کلریدی وقتی حاصل می شود که مقدار کلرید موجود در بتن بیش از  $0/6$  کیلوگرم در هر متر مکعب بتن باشد. ولی این مقدار به کیفیت بتن نیز بستگی دارد.

خوردگی آبله رویی حاصل از کلرید می تواند موضعی و عمیق باشد که این عمل در صورت وجود یک سطح بسیار کوچک آندی و یک سطح بسیار وسیع کاتدی به وقوع می پیوندد که خوردگی آن نیز با شدت بسیار صورت می گیرد. از جمله مشخصات (FEATURES) خوردگی کلریدی، می توان موارد زیر را نام برد:

الف- هنگامی که کلرید در مراحل میانی ترکیبات (عمل و عکس العمل) شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته ولی در انتها کلرید مصرف نشده باشد.

ب- هنگامی که تشکیل همزمان اسید هیدروکلریک، درجه PH مناطق خورده شده را پایین بیاورد. وجود کلریدها هم می تواند به علت استفاده از افزودنیهای کلرید باشد و هم می تواند ناشی از نفوذیابی کلرید از هوای اطراف باشد.

فرض بر این است که مقدار نفوذ یونهای کلریدی تابعیت از قانون نفوذ FICK دارد. ولی علاوه بر انتشار (DIFFUSION) به نفوذ (PENETRATION) کلرید احتمال دارد به خاطر مکش موئینه (CAPILLARY SUCTION) نیز انجام پذیرد.

## 5- حملات سولفاتی (SULPHATE ATTACK)

محلول نمکهای سولفاتی از قبیل سولفاتهای سدیم و منیزیم به دو طریق می توانند بتن را مورد حمله و تخریب قرار دهند. در طریق اول یون سولفات ممکن است آلومینات سیمان را مورد حمله قرار داده و ضمن ترکیب، نمکهای دوتایی از قبیل ETTRINGITE و THAUMASITE تولید نماید که در آب محلول می باشند. وجود این گونه نمکها در حضور هیدروکسید کلسیم، طبیعت کلونیدی (COLLOIDAL) داشته که می تواند منبسط شده و با ازدیاد حجم، تخریب بتن را باعث گردد. طریق دومی که محلولهای سولفاتی قادر به آسیب رسانی به بتن هستند عبارتست از: تبدیل هیدروکسید کلسیم به نمکهای محلول در آب مانند گچ (GYPSUM) و میرابلیت MIRABILITE که باعث تجزیه و نرم شدن سطوح بتن

می شود و عمل LEACHING یا خلل و فرج دار شدن بتن به واسطه یک مایع حلال، به وقوع می پیوندد.

### 6-حریق (FIRE)

سه عامل اصلی وجود دارد که می توانند مقاومت بتن را در مقابل حرارت بالا تعیین کنند. این عوامل عبارتند از:

الف- توانایی بتن در مقابله با گرما و همچنین عمل آب بندی، بدون اینکه ترک، ریختگی و نزول مقاومت حاصل گردد.

ب- رسانایی بتن (CONDUCTIVITY)

ج- ظرفیت گرمایی بتن (HEAT CAPACITY)

باید توجه داشت دو مکانیزم کاملاً متضاد انبساط (EXPANSION) و جمع شدگی مسوول خرابی بتن در مقابل حرارت می باشند. در حالی که سیمان خالص به محض قرار گرفتن در مجاورت حرارت‌های بالا، انبساط حجم پیدا می کند، بتن در همین شرایط یعنی در معرض حرارت‌های (دمای) بالا، تمایل به جمع شدگی و انقباض نشان می دهد. چون حرارت باعث از دست دادن آب بتن می گردد، نهایتاً اینکه مقدار انقباض در نتیجه عمل خشک شدن از مقدار انبساط فراتر رفته و باعث می شود جمع شدگی حاصل شود و به دنبال آن ترک خوردگی و ریختگی بتن به وجود می آید. به علاوه در درجه حرارت ۴۰۰ درجه سانتی گراد، هیدروکسید کلسیم آزاد بتن که در سیمان پر تلند هیدراته شده موجود است، آب خود را از دست داده و تشکیل اکسید کلسیم می دهد. سپس خنک شدن مجدد و در معرض رطوبت قرار گرفتن باعث می شود، تا از نو عمل هیدراته شدن حاصل شود که این عمل به علت انبساط حجمی موجب بروز تنش‌های مخرب می گردد. همچنین انبساط و انقباض نا هماهنگ و متمایز (DIFFERENTIAL EXPANSION AND CONTRACTION) مواد تشکیل دهنده بتن مسلح مانند آرماتور، شن، ماسه و ... می توانند در ازدیاد تنش‌های تخریبی نقش موثری داشته باشند.

### 7-عمل یخ زدگی (FROST ACTION)

برای بتن‌های خیس، عمل یخ زدگی یک عامل تخریب می باشد، چون آب به هنگام یخ زدن ازدیاد حجم پیدا کرده و باعث تولید تنش‌های مخرب درونی شده و لذا بتن ترک می خورد. ترک‌ها و درزهائی که نتیجه یخ زدگی و ذوب متناوب می باشند، باعث می گردند سطح بتن به صورت پولکی درآمده و بر اثر فرسایش، خرابی عمق بیشتری یابد بنابراین عمل یخ زدگی بتن و میزان تخریب حاصله، بستگی به درجه تخلخل و نفوذپذیری بتن دارد که این موضوع علاوه بر تاثیر ترک‌ها و درزهاست.

### 8-نمک‌های ذوب یخ (DE-ICING SALTS)

اگر برای ذوب نمودن یخ بتن، از نمک‌های ذوب یخ استفاده شود، علاوه بر خرابی‌های حاصله از یخ زدگی، ممکن است همین نمک‌ها نیز باعث خرابی سطحی بتن گردند. چون باور آن است که خرابی‌های حاصل از نمک‌های ذوب یخ، در نتیجه یک عمل فیزیکی به وقوع می پیوندد، غلظت نمک‌ها، موجود بودن آبی که قابلیت یخ زدگی داشته باشد و در کل فشارهای هیدرولیکی و غشایی (OSMOTIC) نقش بسیار مهمی در دامنه و وسعت خرابی‌ها ایفا می کنند.

### 9-عکس العمل قلیایی سنگدانه ها (ALKALI-AGGREGATE REACTION)

در این قسمت می توان از واکنش‌های "قلیایی- سیلیکا" و "قلیایی- کربنات‌ها" نام برد. عکس العمل قلیایی - سیلیکا (ALKALI-SILICA) عبارتست از: ژلی که از عکس العمل بین هیدروکسید پتاسیم و سیلیکای واکنش پذیر موجود در سنگدانه حاصل می شود. بر اثر جذب آب، این ژل انبساط پیدا کرده و با ایجاد تنش‌هایی منجر به تشکیل ترک‌های درونی در بتن می شود. واکنش قلیایی - کربنات، بین قلیاهای موجود در سیمان و گروه مشخصی از سنگ‌های آهکی (DOLOMITIC) که در شرایط مرطوب قرار می گیرند، به وقوع می پیوندد. در اینجا نیز انبساط حاصله باعث می شود تا ترک‌هایی ایجاد شود یا در مقاطع باریک خمیدگی‌هایی به وجود آید.

### 10-کربناسیون (CARBONATION)

گاه لایه حفاظتی که در مجاورت آرماتور داخل بتن موجود است، در صورت کاهش PH بتن اطراف، به کلی آسیب دیده و از بین می رود. بنابراین نفوذ دی اکسید کربن از هوا، عکس العملی را با بتن آکالین ایجاد می نماید که حاصل آن کربنات

خواهد بود و در نتیجه درجه PH بتن کاهش می یابد. همچنان که این عمل از سطح بتن شروع شده و به داخل بتن پیشروی می نماید؛ آرماتور بتن تحت تاثیر این عمل دچار خوردگی می گردد. علاوه بر خوردگی، دی اکسید کربن و بعضی اسیدهای موجود در آب دریا می توانند هیدروکسید کلسیم را در خود حل کرده و باعث فرسایش سطح بتن گردند.

### علل دیگر (OTHER CAUSES)

علل بسیار دیگری نیز باعث آسیب دیدگی و خرابی بتن می شوند که در سالهای اخیر شناسایی شده اند. بعضی از این عوامل دارای مشخصات خاصی بوده و کاربرد بسیار موضعی دارند. مانند تاثیر مخرب چربیها بر کف بتن کشتارگاهها، مواد اولیه در کارخانه ها و کارگاههای تولیدی، آسیب حاصله از عوارض مخرب فاضلابها و مورد استفاده قرار دادن سازه هایی که برای منظورها و مقاصد دیگری ساخته شده باشند، نه آنچه که مورد بهره برداری است. مانند تبدیل ساختمان معمولی به سردخانه، محل شستشو، انباری، آشپزخانه، کتابخانه و غیره. با این همه اکثر آنها را می توان در گروههای ذیل طبقه بندی نمود:

الف- ضربات و بارهای وارده (ناگهانی و غیره) در صورتی که موقع طراحی سازه برای این گونه بارگذاریها پیش بینیهای لازم صورت نگرفته باشد.

ب- اثرات جوی و محیطی

پ- اثرات نامطلوب مواد شیمیایی مخرب

### ترک های سازه ای و معایب آن

در این اسلاید به بررسی انواع ترک در سازه های بتنی، آجری و ترک در جوش سازه های فولادی پرداخته می شود. ترک می تواند در اثر عوامل مختلفی از جمله زوال بتن یا خوردگی در اثر ساخت نادرست یا انتخاب نامناسب مصالح اصلی، اثر دما و جمع شدگی، نشست تکیه گاهی، حوادث طبیعی و ... باشد. ترک های سازه ای در عضوهایی مثل تیر، ستون و دال دیده می شود. ترک های موجی در تیر ها در نقاط با ممان ماکزیمم رخ می دهد که توانایی مقطع در تحمل ممان پایین است و آرماتور گذاری کافی وجود ندارد.

### انواع ترک ها:

- 1- ترک خمشی: هنگامی رخ می دهد که مقاومت خمشی مقطع پایین بوده و تار کششی بیشترین عرض را داشته و به سمت تارهای دیگر همگرا شده و می تواند به تنهایی یا گروهی اتفاق بیفتد. این ترک در سلامت سازه تاثیر گذاشته و سریعاً باید بررسی شود.
- 2- ترک برشی: زمانی رخ می دهد که مقاومت برشی مقطع پایین بوده و در ناحیه با برش ماکزیمم که بیشترین عرض در میانه عمق وجود دارد، رخ می دهد و به سمت بالا و پایین گسترش یافته و به تنهایی یا گروهی اتفاق افتاده و تاثیر زیادی در سلامتی سازه داشته و باید رسیدگی شود.
- 3- ترک پیچشی: در مقطع با مقاومت پیچشی پایین که عرض یکنواختی دارد اتفاق افتاده و در فرم مارپیچ و به تنهایی رخ می دهد.
- 4- ترک های مربوط به لغزش اتصالات میلگردها: به دلیل انقطاع سریع میلگردها زمانی که مرز کافی در اتصالات وجود ندارد، اتفاق می افتد.
- 5- گسترش ترک در طول تیر: به دلیل نبود تکنیک کافی حین ساخت و مشکل در قالب بندی اتفاق می افتد.
- 6- ترک کششی: به دلیل نبود آرماتور بندی کافی در مقطع تحت کشش و پایین بودن کیفیت بتن اتفاق می افتد.
- 7- ترک ستون: ترک های افقی به دلیل خوردگی آرماتورها و عدم طراحی مقطع ستون برای خمش اتفاق می افتد. ترک های اریب به دلیل در نظر نگرفتن نیروهای جانبی و پایین بودن مقاومت در تحمل بار محوری بوجود می آیند.
- 8- ترک های خوردگی: به دلیل خوردگی آرماتورها، عدم پوشش کافی و کیفیت پایین بتن اتفاق می افتد.
- 9- ترک های خمشی در دال: به دلیل نقص در طراحی تحت بارگذاری، اضافه بار در مقطع و کیفیت پایین بتن اتفاق می افتد.

- 10- ترک های بالای خمشی در دال : به دلیل توزیع ناکافی میلگردها و عدم امتداد کامل میلگرد اصلی اتفاق می افتد.
- 11- ترک های جمع شدگی در دال طره ای : به دلیل نسبت آب به سیمان بالا در بتن ،عمل آوری نامناسب و عدم مهار در گوشه ها اتفاق می افتد.



### تست دوره ای ترک ها در بتن

ترک در اثر نشست پی اصولاً تعمیر صحیح ترک ها به دانستن علت وقوع و همچنین انتخاب روش درخور آن بستگی دارد، در غیر اینصورت تعمیرات ممکن است بصورت موقت باشند. لذا برای یک تعمیر موفق و همیشگی بایستی از عدم پیشروی علل ترک خوردگی کسب اطمینان نمود چراکه ممکن است پس از تعمیری بدون اعمال اصلاحات لازم مجدداً عضو در ناحیه های دیگری از بتن دچار ترک خوردگی شود. بنابراین رفع علل ترک خوردگی برای مواجه نشدن با ترمیم موقت الزامی است. برخی روش های رایجکه برای تعمیر و اصلاح ترک ها در اعضاء بتنی بکار گرفته می شوند عبارتند از:

- تزریق رزین اپوکسی.
- مسیر یابی و آب بندی ترک.
- بخیه زدن.
- افزودن میلگرد محاسباتی.
- حفاری و اتصال.
- خورانش ثقلی.
- پر کردن با گروت.

### نکاتی در خصوص روش اجرای ترمیم ترک خوردگی بتن کف ساختمان و سایر سازه های بتنی

در ترمیم بتنی که در اثر خوردگی تخریب شده است باید اصول خاصی رعایت گردد تا مشکلات قبلی بزودی گریبانگیر قطعه نشود . برای این منظور باید به نظارت زیر توجه گردد :

- کنترل وسعت خرابی با بررسیهای نظری کارگاهی و انجام آزمایشهای ساده
- تعیین وسایل تخریب و روش کار
- تعیین محدوده خرابی و شیار زنی برای مشخص کردن محدوده
- هندس تخریب
- عمق تخریب
- بررسی میلگردها و تصمیم گیری در مورد گسترش تخریب

زنگ زدائی و اصلاح میلگردها و تقویت و جایگزینی میلگردها  
آماده سازی سطح بتن و میلگردها و اعمال پوشش های لازم ، اشباع کردن و . . .  
مواد تعمیر و کاربرد آنها  
روشهای تعمیر و بکار گیری آنها

q کنترل وسعت خرابی ( بررسیهای نظری و آزمایشی ) :

با توجه به بازدیدهای انجام شده و احتمالاً" برخی آزمایشهای ساده میتوان به وسعت تقریبی خرابی پی برد. متأسفانه هنوز روشی برای تعیین محلتهائی که میلگرد آنها بطور قابل توجهی زنگ زده اند وجود ندارد. نشانه های زنگ زدائی زیاد ، لکه ، ترک خوردگی ، طبله کردن و ریختن بتن می باشد. با آزمایش ساده نیم پیل میتوان پتانسیل خوردگی را بدست آورد اما میزان زنگ زدگی و آسیب نمایش داده نمیشود. با زدن چکش اشمیت یا چکش معمولی و با توجه به نتیجه یا صدای حاصله نیز میتوان تا حدودی وضعیت بحرانی را آشکار کرد. متأسفانه اشکال رایج عمده در تعمیر سازه های بتنی مشخص نبودن دقیق منطقه و محدوده تعمیرات و گاه ممکنست وسعت تخریب و تعمیر چندین برابر تخمین اولیه گردد.

q تعیین وسایل تخریب و روش آن :

با توجه به وسعت تخریب ، نوع بتن و مشکلات تخریبی آن ، انبوهی میلگردها و موقیت قرار گیری قطعه و همچنین محدودیت های زمانی و هزینه ای نوع وسیله تخریب و روش کار مشخص میگردد.  
گاه لازم است سرعت زیادی در تخریب بخرج نداد زیرا در صورت عدم امکان تعمیر ، مجاورت بتن و میلگرد با عناصر مضر ممکنست در طولانی مدت مشکلات جدیدی را بوجود آورد.

امروزه استفاده از وسایل مختلفی امکان پذیر است : قلم (چکش) بادی ، برقی ، اره های اصطکاکی ، جهت آب و برش با آب از جمله وسایل رایج است که از همه آنها میتوان برش با آب (جهت آب) را بهتر و مناسب تر دانست. بهرحال وسعت کار و محدودیت های موجود فوق الذکر تعیین کننده نوع وسایل می باشد. برخی چکش ها ممکنست در مناطق مجاور آسیب هائی را ایجاد کند که باید وسایل با قدرت مناسب را انتخاب نمود. اره های اصطکاکی عمدتاً" برای برش های خطی بکار میرود.

q تعیین محدوده خرابی و شیار زنی :

برای اینکه محدوده کار تخریب روشن شود گاه علائمی را بکار می برند. بهترین روش علامت زنی بصورت شیار زنی در محدوده مورد نظر است. شیار زنی به عمق ۱ تا ۲ سانتی متر بدین منظور معمول است میتواند هندسه مناسب تخریب را در سطح و عمق بوجود آورد. بهرحال گاه در طول عملیات تخریب ممکنست این محدوده را وسعت بخشیم و گسترش دهیم و بهتر است مجدداً" محدوده جدید را شیار زنی کنیم.

q هندسه تخریب :

توصیه میشود از شکلهای هندسی مشخص برای محدوده تخریب استفاده شود. مربع ، مستطیل و ترکیبی از مربع و مستطیل در کنار هم میتواند بهترین اشکال باشد. البته شکل دایره و چند ضلعی منظم نیز توصیه میشود. بهرحال اشکال نا منظم با دوره های بی نظم ابداً" توصیه نمی گردد.

کناره و لبه منطقه تخریب ( تعمیر) باید گونیا باشد و این حالت ۱ تا ۲ سانتی متر در عمق ادامه یابد و لبه نباید پرکلاغی تلقی گردد زیرا دوام مناسبی برا پس از تعمیر نخواهیم داشت .

q عمق تخریب :

مشکلی بزرگ در تعمیر اینگونه سازه ها تعیین عمق تخریب است. مسلماً" عمق تخریب تا پشت میلگردها خواهد بود. نمیتوان تخریب را تا رسیدن به سطح میلگردها انجام داد زیرا لازمست میلگردها را تمیز و اصلاح نمود بنابراین باید تخریب را تا پشت میلگردها ادامه داد. عمق تخریب باید تا حدی انجام شود که به منطقه ای با یون کلر کم برسیم. رسیدن به یون کلر کمتر از حد آستانه خوردگی قطعی است اما حد قابل قبول تابع سیاست های تعمیرات اگر حد آستانه خوردگی را ۰/۳۵ درصد و حداقل

یون کلر بتن اولیه تازه را ۰/۱۵ درصد در نظر بگیریم بهر حال حد قابل قبول در بین این دو عدد قرار دارد و هر چند به ۰/۱۵ درصد نزدیک شود عمر تعمیر و میلگرد بیشتر خواهد شد اما ممکنست هزینه ها را به مقدار قابل توجهی افزایش دهد و یا عمر بخش های تعمیر نشده بمراتب کمتر از عمر مناطق تعمیر شده باشد که منطقی بنظر نمیرسد. بهترین راه تهیه نمونه از عمق های مختلف و تعیین یون کلر می باشد تا تصمیم گیری در مورد عمق تخریب میسر گردد. وقتی تا پشت میلگرد تخریب را ادامه می دهیم بایستی امکان قرار گیری بتن در اطراف میلگرد را فراهم کنیم. به این منظور حداقل فاصله میلگرد تا بتن بایستی از حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی بزرگتر باشد. برخی توصیه می کنند در این مورد بهتر است این فاصله بمراتب بزرگتر از حداکثر اندازه سنگدانه مصرفی و در حدود ۳ سانتی متر باشد.

q بررسی میلگردها و اتخاذ تصمیم در مورد گسترش تخریب :

پس از تخریب و رسیدن به میلگردها باید کارشناس خبره ، میزان خوردگی را بررسی کند وقتی در محدوده تخریب زنگ زدگی زیادی مشاهده می شود و این زنگ زدگی در منطقه سالم نیز تداوم دارد بایستی منطقه تخریب را گسترش داد تا به میلگرد سالم و تقریباً بدون زنگ زدگی رسید. وقتی زنگ زدگی با ناخن پاک نشود به میلگرد سالم نرسد باید آنرا تمیز کرد و لازمست که بتن روی آن برداشته شود.

q زنگ زدائی ، اصلاح میلگردها ، تقویت و جایگزینی :

میلگردها معمولاً در محل با سند پلاست یا گریت پلاست باید تمیز شود. در این حالت باید پشت میلگردها تمیز شود زنگ زدائی با برس سیمی دستی یا برقی معمولاً کارآمد نیست و فقط در مناطق بسیار محدود و برای زنگ کم کاربرد دارد. اگر لازم باشد باید میلگردها تقویت شود. بکارگیری میلگردهای تقویتی امری رایج و معمول است. این کار با توجه به کاهش ضخامت میلگردها عملی میشود. معمولاً اگر کاهش سطح میلگردها بیش از ۱۵ درصد باشد تقویت توصیه میشود (برخی کاهش قطر ۱۵ درصد را نیازمند تقویت می دانند). گاه میلگردها به شدت زنگ زده اند و در این حالت توصیه میشود با میلگردهای جدید جایگزین شوند. تامین پوشش طولی میلگردها (Overlap) مشکل است و اغلب از وصله های جوشی یا مکانیکی میتواند استفاده شود.

وقتی از زنگ زدائی میلگرد بهره می گیریم بهتر است هیچگونه رنگی بر روی میلگرد باقی نماند و کاملاً تمیز شوند .

q آماده سازی سطح بتن و پوشش میلگردها :

مقصود از آماده سازی سطح بتن و پوشش میلگردها آنست که بتوانند اتصال بتن با بتن و بتن با میلگرد را تامین نمایند و مانع نفوذ بیشتر و خوردگی شوند.

آماده سازی سطح بتن معمولاً با زبر کردن آن و رسانیدن به حالت اشباع با سطح خشک حاصل میگردد. اغلب اوقات تخریب ، سطح زبر و خشنی را فراهم می کند بهر حال این سطح نباید پستی و بلندی خیلی زیادی داشته باشد اما ضمن اینکه ضخامت تعمیر نسبتاً ثابتی را فراهم می نماید باید کاملاً زبر و خشن باشد و ترجیحاً "شن ها از سطح بر واحد اضافه شوند .

بتن قدیمی (پایه) نباید آب بتن جدید (ماده تعمیر) را بکند زیرا باعث جمع شدگی شدیدتر شده و پیوند دو بتن ضعیف می گردد. بنابراین لازمست بتن پایه بصورت SSD درآید. آب اضافی در روی سطح بتن به نحوی که دست را خیس و مرطوب کند نامطلوب است و باعث ضعف اتصال و پیوستگی دو بتن می شود.

برای ایجاد پیوستگی و چسبندگی بهتر دو بتن جدید و قدیم گاه از برخی پلیمرها و لاتکس ها بر روی بتن پایه (قدیمی) استفاده می شود. یک لایه نازک از این مواد قبل از ریختن بتن تعمیری جدید بر روی بتن قدیمی مالیده یا پاشیده می شود. از جمله مواد رایج لاتکس آکریلیکی (Acrylic Latex) می باشد و قبل از خشک شدن کامل آن بتن جدید باید ریخته شود.

سطح میلگردها پس از تمیز کاری و زنگ زدائی ، گاه لازمست با آب شیرین شسته شده و سریعاً با هوای فشرده خشک گردد و در صورت لزوم با پوشش های خاصی نظیر اپوکسی پوشیده شود. بهر حال توصیه میشود در تعمیر سازه از اپوکسی معمولی

مخصوص میلگردها استفاده نشود و اپوکسی غنی شده با روی بکار رود تا سطح میلگرد عایق الکتریکی نشود ، زیرا در غیر اینصورت میلگردهای بخش تعمیر نشده دچار خوردگی بسیار سریعتر می گردد .

q مواد ترمیم کننده بتن :

اصل مهم در انتخاب مواد تعمیری شباهت آن از نظر خواص با بتن اصلی است معمولاً این اصل به نوعی برآورده میشود اما باید سعی کرد حتی الامکان رعایت گردد. مشکل بزرگ در رعایت این مورد آن است که اگر بتن اصلی قدیمی مناسب و مطلوب بود ممکن بود این خرابی ها حاصل نشود. ضعف مقاومت ، ضعف دوام و بالا بودن نفوذ پذیری باعث این خرابی شده است پس چگونه میتوان بتن مشابه را بکار برد. بنابراین دچار یک پارادوکس هستیم که با تدبیر مناسب آن را حل کنیم. شباهت در سنگدانه ، شباهت در سیمان میتواند کمک موثری باشد. نزدیک بودن مدول الاستیسیته و ضریب انبساط حرارتی از جمله نکات مهم است ، گاه دیده می شود نفوذ پذیری بسیار کم در منطقه تعمیر شده ، باعث خوردگی سریع میلگردهای منطقه مجاور میشود و این نکته مهم کار تعمیر را با مشکل مواجه می کند و اجتناب ناپذیر بنظر می رسد .

انواع مواد ترمیم کننده بتن بصورت جایگزین بتن تخریب شده عبارتند از :

الف - بتن یا ملات سیمانی

ب- بتن یا ملات سیمانی اصلاح شده با پلیمر

ج - مواد پلیمری ( که در این حالت اقتصادی و فنی نیست )

بنظر میرسد معمولاً بتن یا ملات سیمانی ارجحیت داشته باشد و از نظر خواص مشابهت بیشتری با بتن اصل پایه را فراهم نماید .

بکار گیری سیمان در حد متوسط (معمولاً ۳۷۵ تا ۴۰۰ کیلو) از نظر جمع شدگی کاملاً مناسب بنظر میرسد. نسبت آب به سیمان با توجه به موقعیت قطع و محل از نظر خوردگی به حداکثر ۰/۴ یا ۰/۴۵ محدود شود. معمولاً اگر از روش بتن ریزی جایگزین استفاده شود سعی میگردد از اسلامپ بالائی برخوردار باشیم (بیش از ۱۰ سانتی متر). اسلامپ زیاد جمع شدگی نشست خمیری را بوجود می آورد لذا ضمن اینکه تامین نسبت آب به سیمان فوق الذکر مشکل بوده و اسلامپ زیاد نیز با آب قابل تامین نیست همواره نیاز به مواد روان کننده یا فوق روان کننده داریم .

معمولاً هنگامیکه ترمیم در محدوده بسته ای انجام میشود بتن باید از جمع شدگی ناچیز و یا انبساط جزئی برخوردار باشد. به این دلیل لازمست از مواد منبسط کننده (انبساط زا) در مواردی که حساسیت وجود دارد استفاده نمائیم تا درگیری بهتری بین لبه های کناری بتن تعمیری و بتن پایه قدیمی ایجاد شود.

برای سهولت در ریختن و تراکم بتن و کاهش نفوذ پذیری آن از حداکثر اندازه سنگدانه نسبتاً کم و بافت دانه بندی ریزتری نسبت به بتن اصلی بهره می گیریم که به ابعاد و حجم منطقه تعمیری و وضعیت میلگردها بستگی دارد .

اگر بخواهیم ملات یا بتن را با مواد پلیمری اصلاح کنیم معمولاً از لاتکس آکریلیکی به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد وزن سیمان استفاده می نمائیم .

گاه بجای ریختن معمولی بتن از روش دستی تعمیر استفاده می نمایند در این حالت ملات سفت بکار میرود و با فشار در محل مورد نظر قرار می گیرد . بهر حال این روش محدودیتهای خاص خود را دارد و تامین روانی مورد نظر با نسبت آب به سیمان مطلوب و سیمان کمتر ممکن می باشد .

ترمیم بتن

عملیات ترمیم بتن بدلیل مختلفی نظیر وجود علائمی مبنی بر آسیب دیدن بتن مثل وجود ترک در بتن ، کرم شدن بتن ، شن زدگی و .... اجرا می گردد . در واقع ترمیم بتن یا ترمیم آن به معنای اصلاح بخش های آسیب دیده از سازه و جایگزینی اجزاء تخریب شده است . ترمیم بتن موجب افزایش طول عمر مفید سازه و بهبود عملکرد آن می گردد . بتن به عنوان یکی از پرکاربردترین مصالح ساختمانی در بیشتر ساختمان های موجود بکار رفته است با این حال تجربه ثابت کرده است که عمر و

دوام بتن علاوه بر وابستگی به کیفیت مصالح مصرفی تحت تاثیر شرایط محیطی نیز قرار دارند و چنانچه بتن بر اساس شرایط محیطی ساختمان مربوطه طراحی و اجرا نگردد، با گذشت زمان از عمر مفید آن کاسته می شود و ساختار فیزیکی بتن دستخوش تغییرات نامطلوبی می گردد که می تواند منجر به خرابی سازه ی بتنی گردد. در صورت عدم رعایت شرایط محیطی در مرحله ی طراحی و اجرا و عدم بکارگیری مصالح با کیفیت، بتن نیازمند اجرای عملیات ترمیم بتن میگردد و تقویت سازه ی بتنی جهت حفظ بقای ساختمان از ضرورت بسیاری برخوردار خواهد شد. همانطور که گفته شد بتن بدلائل مختلفی مثل ایرادهای ساخت و طراحی، عوامل تاثیر گذار محیطی و نحوه ی بهره برداری نیازمند تعمیر و ترمیم بتن و در نهایت مقاوم سازی بتن می شوند. ترمیم بتن و تعمیر آن روش های مختلفی را شامل می شود که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. اجرای هر یک از روش های ترمیم بتن نیازمند در دست داشتن اطلاعات دقیقی از ایرادهای وارد بر بتن، معایب و مزایای هر روش، علل نیازمندی به ترمیم بتن، ابعاد و اندازه ی بتن، نحوه ی بهره برداری، محدودیت های موجود نظیر محدودیت های اقتصادی، محدودیت های زمانی و اجرایی تاثیر گذار در انتخاب روش ترمیم بتن است. بتن بدلائل مشکلات سازه ای و غیر سازه ای نیازمند ترمیم و تقویت بتن می باشد. مشکلات سازه ای موجود که مستلزم ترمیم و تقویت بتن می باشند ناشی از اختلال در ظرفیت باربری سازه می باشد که نحوه ی ترمیم و تقویت بتن جهت رفع عیوب سازه ای باید به نحوی باشد که بتن قادر به افزایش ظرفیت باربری و تحمل مقداری از بار وارد شده به سازه باشد. منظور از مشکلات غیر سازه ای در ترمیم و تقویت بتن نیز انجام اقداماتی به منظور پیشگیری از بروز مشکل در بهره برداری، تقویت سازه ی بتنی، افزایش پایداری و زیبایی ظاهر آن است.

از مشکلات غیر سازه ای که نیازمند ترمیم بتن ضعیف می باشند نیز می توان به مواردی مثل: وجود ترک های عریض و پرمعمق که ناشی از بروز حوادث می باشند، خوردگی و شکستگی بتن با ابعاد زیاد، درز های اجرایی ناشی از قطع بتن و ... اشاره کرد

نحوه ی ترمیم بتن

عموما هنگامی که با بتنی که ظاهر خشن، متخلخل و پوسته پوسته دارد که به اصطلاح به آن بتن کرمو گفته می شود، مواجه می شویم نیازمند ترمیم و تعمیر بتن آن هستیم.

در صورت عدم ترمیم عضو بتنی، ساختمان مورد نظر به شدت مقاومت خود را از دست می دهد و به مرور سست می گردد. برای ترمیم بتن آسیب دیده ابتدا باید بتن کرمو تخریب شود سپس ملات ریزی مجدد صورت گیرد و با استفاده از مواد ترمیم بتن و ملات های ترمیمی بتن با روش مناسب اقدام به ترمیم بتن کرد سپس می توان میزان مقاومت فشاری بتن را با آزمایش بتن اندازه گیری کرد و در صورت نیاز اقدام به مقاوم سازی ساختمان کرد.

فرآیند ترمیم و تعمیر بتن کرمو یا شن نما شده به شرح زیر می باشد:

۱- در ابتدای ترمیم بتن با کمک تجهیزات مخصوص نظیر واتر جت صنعتی، چکش برقی یا برس سیمی قسمت های شن نما شده و ذرات سست، برداشت شده و از بین می روند.

۲- سطح بتن برای ترمیم بتن باید کاملا از سنگدانه های ریز و سایر اجزای سست پاکسازی شود، سپس کاملا شسته و تمیز شود.

(در صورتی که هنگام تخریب بتن از واتر جت استفاده کنند، نیازی به این مرحله وجود ندارد)

۳- در ترمیم بتن پس از خشک شدن کامل سطح بتن، در محل مربوطه از چسب بتن استفاده گردد.

(در صورت استفاده از واتر جت در مرحله ی تخریب بتن، بتن به نحوی آماده می شود که گروت به خوبی با بتن تخریب شده اتصال برقرار کرده و در این شرایط دیگر نیازی به استفاده از چسب بتن وجود نخواهد داشت)

۴- عملیات بتن ریزی در ترمیم بتن با آماده سازی گروت و یا قالب گذاری انجام می پذیرد.



۵- قالب های آماده شده در ترمیم بتن بعد از چند ساعت (حدود ۱۲ ساعت) برداشته می شوند .

ترمیم بتن کرمو

کرمو شدن بتن به معنای پدیدار شدن ظاهر خشن ، زبر و حفره دار در بتن کرمو است که از دیده بیننده نامطلوب است . کرمو شدن بتن یکی از اتفاقات رایج در ساختمان است . در ظاهر بتن کرمو شده ذرات دانه درشت شن در کنار یکدیگر قرار دارند و فاصله بین آنها خالی و فاقد ملات یا به اصطلاح شیره ی کافی است که این مسئله بدلیل تراکم نامناسب یا پر شدن ناقص قسمتی از بتن بوجود می آید . در صورت عدم توجه به آن و عدم اجرای ترمیم بتن کرمو مقاومت بتن به شدت کاهش می یابد و پیامدهایی را به دنبال دارد .

علل های کرمو شدن بتن به دو دسته ی عوامل داخلی و عوامل خارجی تقسیم می شوند .

عوامل داخلی کرمو شدن بتن :

۱- کیفیت نامناسب میزان اختلاط بتن

۲- روان شدن بیش از حد بتن

۳- استفاده بیش از حد از ماسه با دانه های درشت در مخلوط بتن

۴- بالا بودن نسبت آب به سیمان ( نسبت آب به سیمان بطور معمول بین ۰/۴ تا ۰/۶ است )

۵- از بین رفتن دانه ها ریز در ماسه در اثر شسته شدن بیش از حد

۶- ویبره زدن نامناسب بتن

۷- استفاده از مخلوط بتنی که از آماده شدن آن زمان زیادی گذشته و بتن سفت شده .

عوامل خارجی کرمو شدن بتن :

۱- عدم رعایت شرایط دمایی محیط اجرا بتن ( اجرا در دمای خیلی سرد که موجب یخ زدگی می شود یا دمای خیلی گرم که آنرا بیش از حد روان می کند )

۲- ریختن بتن به درون ستون یا دیوار به روش غلط

۳- عدم رعایت ارتفاع مجاز هنگام ریختن بتن

۴- طراحی و اجرای غیر صحیح آرماتور بندی اجزا

۵- عدم رعایت شرایط مطلوب جهت عمل آوری بتن .

۶- عدم تکمیل بتن در قالب

۷- قالب بندی و درز بندی نامناسب که سبب گریز شیره بتن از مخلوط و باقی ماندن سنگ دانه در بتن می شود .

ترمیم بتن کرمو شده

۱- ترمیم بتن بدلیل کاهش مقاومت فشاری ، خمشی ، برشی و کشش بتن ناشی از کرمو شدن بتن

۲- ترمیم بتن بعلت کاهش ظرفیت باربری قطعه بدلیل کاهش اتصال بین بتن و میلگرد ناشی از شن زدگی

۳- ترمیم بتن به علت افزایش نفوذ پذیری بتن در منطقه آسیب دیده (کرمو)

۴- ترمیم بتن نفوذ عوامل زیان آور به درون بتن و آسیب به آن ( مواد اسیدی ، سولفاتها و ... ) از طریق آسیب ناشی از کرمو

شدگی بتن

۵- ترمیم بتن به خاطر کاهش دوام بتن در محل هایی که دچار یخ بندان و آبشستگی می شوند .

۶- ترمیم بتن بعلت افزایش شدت زنگ زدگی و خوردگی میلگرد در بتن

۷- ترمیم بتن به علت اصلاح منظره ی نامطلوب در سطح بتن کرمو شده

۸- ترمیم بتن به علت کاهش مقاومت الکتریکی بتن در منطقه اطراف میلگرد

۹- ترمیم بتن به علت نشت شدید آب در سازه های نگهدارنده مایعات در داخل حفرات بتن .

نحوه ی ترمیم بتن کرمو

در هنگام تخریب بتن کرمو در ترمیم بتن لازم است تمام قسمت های مشکل دار و شن نما شده تخریب شده و از بتن جدا شوند برای اینکار از ابزارهای مختلف تخریب بتن استفاده می شود .

دقت شود که قسمت های کرمو شده تا زیر میلگردها تخریب شوند. یکی از ابزار های سریع و با کیفیت در تخریب بتن طی ترمیم بتن ، واتر جت است که عملیات تخریب بتن را به بهترین و کامل ترین روش انجام می دهد ضمن اینکه سطوح را کاملا تمیز می کند. همانطور که قبلا به آن اشاره شد بتن کرمو ممکن است دارای مشکل در تمام ملات بتن بوده باشد به همین دلیل استفاده از ابزارهایی نظیر چکش برقی و ضربه های شدید به بتن سبب ایجاد ترک های ریز و عمیق در داخل بتن می شوند و یکی از مزیت های مهم واتر جت در تخریب بتن طی عملیات ترمیم بتن نسبت به سایر روش ها ، عدم ایجاد میکرو ترکها در بتن است. در صورتی که اتصال بین سنگدانه های بتن به خوبی برقرار نشده باشند احتمالا ناشی از مقدار آب نامناسب در ملات بتن است و در صورت وارد شدن ضربه های شدید به بتن این ترک ها گسترش می یابند و در کل سازه پخش می شوند. در چنین شرایطی تخریب با واتر جت بهترین گزینه است. در واتر جت ، آب فشار قوی در بین قسمتهای بتن کرمو نفوذ می کند و سنگدانه ها و تیکه های سست را از آن جدا می کند ضمن اینکه عملیات پاکسازی ، تمیزکاری و زنگ زدایی از میلگردها را انجام می دهد و آنها را آماده بتن ریزی می کند. پس از اتمام کار با واتر جت در عملیات ترمیم بتن سطح باقی مانده سالم و عاری از قسمتهای آسیب دیده خواهد بود .

حد مجاز کرمو شدن بتن

- 1- بهتر است که در اجزای سازه شن های بادامی حذف گردند و بیشترین ابعاد سنگدانه از ۲۰ میلی متر تجاوز نکنند .
- 2- جهت پیشگیری از کرمو شدگی بتن توصیه می گردد در اختلاط بتن به میزان بیشتری از ماسه استفاده شود .
- 3- می توان در ترکیب بتن برای پیشگیری از کرمو شدگی بتن از شن شکسته ، شن نیمه شکسته یا ماسه های گوشه گرد استفاده کرد .
- 4- بهتر است برای روان سازی بتن نسبت آب و سیمان در طرح اختلاط ثابت بماند و در عوض روان کننده ها و مواد کاهنده ی آب به ترکیب افزوده شود .
- 5- توصیه می گردد برای افزایش انسجام و مقاوم سازی بتن از مواد روان ساز بتن در طرح اختلاط آن استفاده گردد .
- 6- استفاده ی بیش از حد و خارج از محدوده ی مجاز از مواد روان ساز مانع گیرش به موقع در بتن و مسبب گسیختگی آن پیش از بتن ریزی می گردد لذا پیشنهاد می گردد از استفاده ی بی رویه ی آن جلوگیری کرد .
- 7- لازم است نسبت آب به سیمان در ترکیب بتن از ۵۵/۰ بیشتر نگردد .
- 8- برای پیشگیری از گسیختگی بتن می توان در ترکیب بتن ، پودر سنگ یا ماسه ریز بکار برد .

#### آیین نامه های ترمیم بتن کرمو

ترمیم بتن کرمو براساس آبا (آیین نامه بتن ایران) دارای ضوابطی می باشد که در این بخش آیین نامه ی ترمیم بتن کرمو را به اختصار توضیح می دهیم . اگر عمق آسیب در بتن کرمو بیش از ۱۰ میلی متر باشد ، ترمیم بتن باید به صورت وصله صورت گیرد . براساس آیین نامه ی ترمیم بتن کرمو لازم است نواحی کرمو تا رسیدن به نقاط سالم بتن تخریب کنیم سپس باید نواحی اطراف تخریب شده را بوسیله ی قلم ضربدر بزنیم تا لبه های تیز و راست گوشه به عمق ۱۰ میلی متر ایجاد گردد . توجه کنید که به عمق لبه حداقل امکان باید یکنواخت باشد ضمنا نیازی نیست که تخریب نواحی کرمو تا پشت میلگرد ها انجام گردد مگر در صورتیکه کرمو شدگی تا پشت میلگرد ها گسترش یافته باشد. طبق آیین نامه های ترمیم بتن کرمو برای اصلاح بخش های آسیب دیده ی کم

عمق (کمتر از ۵۰ میلی متر) استفاده از ملات پیشنهاد می گردد ضمناً نوع ملات مورد استفاده برای ترمیم بتن کرمو به پرداخت مورد نظر بستگی دارد . جهت ترمیم لکه های عمیق پیش از لکه گیری در بتن های قدیمی لازم است برای تقویت لکه میلگرد هایی قرار گیرد .

#### ترمیم بتن ترک خورده

برای ترمیم بتن ترک خورده و اصلاح ترک در بتن باید به علت بوجود آمدن ترک ها دقت کرد و با توجه به آن بهترین راه حل را انتخاب کرد. برخی تعمیرات بتن ممکن است بصورت موقت باشد لذا پس از اقدام برای ترمیم بتن ترک خورده باید نسبت به از بین بردن عوامل ایجاد ترک در بتن اقدام کرد تا عملیات ترمیم بتن ترک خورده بصورت دائمی باشد. تمام روش های اصلاح بتن برای ترمیم بتن ترک خورده نیز قایب استفاده است.

ترمیم ترک های بتن با تزریق اپوکسی

ترک های باریک را می توان با استفاده از تزریق اپوکسی پر کرد. برای اینکار نقاط تزریق در فاصله های کوتاهی از یکدیگر در طول ترک تعبیه می شوند. عملیات ترمیم ترک ها با تزریق اپوکسی از یک ناحیه آغاز می شود و در طی مسیر باید از صحت انجام عملیات و پر شدن تمام خلل ها و فرج های موجود اطمینان حاصل کرد.

#### روش ترمیم بتن

پس از تخریب بخش های مورد نظر پیش از اقدام به ترمیم و تعمیر بتن ، با توجه به شرایط موجود در بتن سست و نظر کارشناس یکی از روش های ترمیم و تعمیر بتن اعمال می شود :

ترمیم بتن با روش ماله زدن :

اگر عمق سطحی که نیاز به ترمیم و تعمیر بتن دارد کم باشد می توان با روش ماله زدن ، ملات جدید را به سطح بتن اضافه کرد ، اگر تخریب بتن تا زیر میلگرد ها انجام نشده باشد ، می توان از این روش استفاده کرد .

ترمیم بتن با روش پک خشک :

در این روش مواد ترمیم به حالت یکنواخت با یکدیگر مخلوط می شوند و پس از مخلوط شدن هنگامی که حالت منسجم پیدا کرد در فضای مورد نظر استفاده می شود . این روش ترمیم و تعمیر بتن در فضاهای محدود و کم کاربرد دارد .

ترمیم بتن با روش قالب گیری و ریختن مواد :

این روش ترمیم و تعمیر بتن زمانی استفاده می شود که بتن ریزی باید به فرم و شکل خاصی انجام بگیرد . در این روش ترمیم و تعمیر بتن پس از تخریب بتن اطراف آنرا قالب می گذارند و سپس ملات جدید در آن قالب ریخته می شود . این روش مناسب دیوارها و ستون ها است که دارای شیوه های متفاوتی می باشد که با نظر کارشناس و موقعیت پروژه انتخاب می شود .

ترمیم بتن کرمو با سنگدانه های پیش آکنده :

در این روش ترمیم و تعمیر بتن اطراف فضای مورد نظر را می بندند و داخل آن سنگدانه می ریزند سپس گروت یا ملات جدید به داخل سنگدانه ها تزریق می شود .

#### طراحی و روشهای ترمیم سازه های بتنی بر اساس آسیب وارد شده به بتن

سازه های بتنی اصولاً تحت تاثیر فرسایش ، شرایط بهره برداری و محیط ساخت و حتی نوع ساخت به مرور دارای آسیب هایی خواهند شد ، که عمر سازه بتنی را به مخاطره خواهد انداخت. اهمیت حفظ بتن در این شرایط ، تمرکز بر مقاومت فشاری و کششی بتن است.

بطور کلی شاخص مقاومت فشاری که از آزمایش بر روی بتن سازه، گاه مخرب (مغزه گیری) و غیر مخرب بتن (مجموعه اسکن آرماتور، تست مقاومت سنجی پانیدید و چکش اشमित، تست التراسونیک و هافسل، بارگذاری و ...) بدست می آید، در انتخاب متد های ترمیم یا مقاوم سازی یک سازه ی بتنی موثر است.

✓ **ترمیم بتن یا ترمیم سازه های بتنی**، مجموعه ی انتخاب مواد و روشهایی است که حفظ قابلیت و کارایی بتن موجود در دامنه ی ۸۵ تا ۱۰۰ درصد «مقاومت فشاری بتن طراحی شده» برای بتن سازه را تضمین می کند.

**مقاوم سازی سازه بتنی** با دو هدف، بازگرداندن توان و مقاومت بتن برای منظور طراحی شده و نیز افزایش و ارتقا توان سازه ی طراحی شده برای تغییر کاربری یا طرح های توسعه ای است. این وقتی اتفاق می افتد که تاب بتن طراحی شده زیر ۸۵ درصد مقاومت فشاری (که طبیعتاً مقاومت کششی و سایر خواص بتن را تحت تاثیر قرار می دهد) بوده و لازم است علاوه بر تعمیر بتن، خواص مکانیکی بتن سازه افزایش یابد.

استاندارد ها و دستور العمل های مورد استفاده، شامل مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان، نشریه ۳۵۴ (بهسازی لرزه ای سازه ها، ACI 2800 و ACI 546) خواهد بود.

### علل شایع تخریب بتن و پیشنهاد مواد مناسب تعمیری

#### × ۱- آب اضافه در مخلوط بتن

استفاده از آب بیش از حد در مخلوط های بتن شایع ترین علت آسیب به بتن است. نسبت آب به سیمان بالا مقاومت بتن را کاهش می دهد، مدت زمان کیورینگ و انقباض خشک را افزایش داده، موجب افزایش تخلخل و خزش شده و مقاومت بتن در برابر سایش را کاهش می دهد. خسارت ناشی از آب اضافی می تواند به سختی قابل تشخیص باشد زیرا که معمولاً این آسیب بوسیله خرابی های علت های دیگر پوشانده شده است.

✳️ به عنوان مثال، ترک خوردگی ناشی از **انجماد و ذوب، رشد فرسودگی در اثر سایش و یا ترکهای جمع شدگی**

**ناشی از خشک شدن**، اغلب به عنوان آسیبهای بتن شناخته می شوند، اما در واقعیت، آب اضافی باعث پایین آمدن دوام بتن شده که این خود به علل دیگر اجازه ی حمله به بتن را خواهد داد.

✓ استفاده پیوسته از **ملات های ترمیمی الیاف دار (مثل ملات تعمیری MTOBOND 2200)** به همراه **چسب بتن**

**بر پایه لاتکس (MTOBOND 2200)** در ضخامت های کم که بیشتر تعمیر آبنندی را باعث شده تا در مجاورت

رطوبت، سازه بتنی آسیب کمتری ببیند مناسب است. همچنین در ضخامت های بالا بهتر است به عنوان لایه اتصال از **چسب اپوکسی MTOBOND 1800** است، برای افزایش مقاومت کششی استفاده نمود.

#### × ۲- طراحی نادرست سازه بتنی

عیوب در طراحی می تواند انواع بیشماری از آسیبهای بتن را ایجاد کند. قرار گرفتن قطعات فلزی - جاسازی شده - مانند خط لوله برق یا جعبه تقسیم در نزدیکی سطوح بیرونی سازه های بتنی است. ترک در بتن و در اطراف چنین محل هایی تشکیل شده و اجازه می دهد سرعت تخریب و فرایند انجماد و ذوب سریعتر رخ می دهد. بیس های فلزی راه آهن ها و گارد ریل ها که بیش از حد در نزدیکی لبه ی بیرونی دیوارهای قرار داده شده اند، پیاده رو ها و نرده های جان پناه نیز نتایج مشابهی را رقم می زنند.

این قطعات فلزی و گسترش نفوذپذیری درون بتن با تغییرات دما متناسب است. با انبساط فلز تنش کششی در بتن ایجاد شده، و در نتیجه باعث ایجاد ترک خوردگی و پس از آن سبب آسیب ذوب و انجماد می گردد

پوشش و کاور ناکافی بتن بر روی شبکه آرماتور یک علت شایع آسیب به سازه های پل و بزرگراه است. این مشکل در سازه های آبی و آبیاری هم وجود دارد. برای احیا و تعمیر معمولاً نیاز به حداقل ۷/۵ سانتیمتر پوشش بتن بر روی شبکه آرماتور

سازه هست، اما در محیط های خورنده که بتن در معرض اثرات مخرب سولفات ها، اسیدها، یا کلریدها قرار دارد این میزان باید حداقل ۱۰ سانتیمتر باشد.

پوشش ناکافی اجازه می دهد تا خوردگی در آرماتورها آغاز گردد، ایجاد اکسید آهن و محصولات جانبی ناشی از این خوردگی نیاز به فضای بیشتر در بتن داشته و در نتیجه ترک خوردگی و متورق شدن بتن را باعث می گردند. عدم استفاده از مفاصل انقباضی کافی و یا عدم رعایت فواصل درزهای انبساطی به منظور توزیع یکنواخت دما در اسلب بتنی به آن آسیب میزند و بتن با مفاصل انقباض ناکافی ترک خواهد خورد و این ترک ها در نقاطی که نیاز به درز انبساط بوده اما تعبیه نشده مشهود است. متاسفانه، دیدن چنین ترکهایی به عنوان درز انقطاع های شکل گرفته یا بریده شده چندان جذاب نیست اما ساختار این ترک ها تنش های کششی را کنترل می کند و علی رغم ظاهر هر چند ناخوشایندشان، به ندرت نیاز به تعمیر دارند.

✓ برای ترمیم، ابتدا قطعات فلزی جاسازی شده می تواند برداشته شود، و بیس پلیت های گارد ریل را می توان به محل هایی که بتن در آنجا مقاومت کافی در برابر نیروهای کششی را دارد جابجا کرد. جبران کمی کاور بتن روی شبکه آرماتور بندی بسیار دشوار است، (نشریه بهسازی لرزه ای سازه ها، نشریه ی ۳۴۵، در فصل دوم به روش های دوخت ۲ سلب بتنی پرداخته است.) اما می توان مواد مناسبی برای تعمیر و مقاومت در برابر انواع خاصی از خوردگی را انتخاب نمود. همینطور عملیات تعمیر می تواند با استفاده از مواد آب بندی بتن (نگاه کنید به MTOTOP 107 یا پوشش الاستومری ۲ جزئی آبیند) محافظت شده و با استفاده از پوشش های آب بند از نفوذ آب به بتن جلوگیری نمود و آنرا کاهش داد. می توان در دال های بتنی با تعداد کم درزهای انبساطی را به وسیله کاتر برش داده و درز انبساطی ایجاد کرد. درون درزها با درزگیر های پایه قیری مثل MTOFLEX 707 یا ماستیک های تک جز پلی یورتان (بیشتر در جاهایی که آبیندی اهمیت دارد یا خطر نشن مواد نفتی یا شیمیایی خورنده وجود دارد) نظیر MTO FLEX 360 یا MTO FLEX FR و AK-FLEX استفاده نمود. ترک ها و بخش های قلوه کن شده با استفاده از چسب اپوکسی MTOBOND P1800 و ملات های تعمیری پایه سیمانی MTOSIVE 1020 و پایه اپوکسی MTOFLOW650 R ترمیم می گردد.

### ✗ ۳- مشکلات بتن پس از اجرا

آسیب های وارد بر بتن در اثر اجرای نادرست شامل کرمو و متخلخل شدن بتن، در رفتن قالب، اشتباهات محاسباتی و اندازه گیری در ارتفاع تیر ها و طول ستون ها و کنسول ها است. کرمو شدن و متخلخل شدن بتن بر اثر ناتوانی فیلم سیمان (دوغاب سیمان) در پر کردن فضاهای موجود اطراف سنگدانه ها و در نتیجه خالی ماندن آنها ایجاد می گردند. ✓ در صورت کم بودن، به شرط اینکه از باز کردن قالبها بیش از ۲۴ ساعت نگذشته باشد می توان از ملات سیمان استفاده نمود.

✓ اگر مدت زیادی از بتن ریزی گذشته یا سطح کرمو شده ی بتن گسترده است، باید ابتدا بتن های معیوب برداشته شده، سپس با استفاده از ملات ترمیمی آماده پایه سیمانی MTOSIVE 1020، به همراه چسب پیوند دهنده اپوکسی MTO BOND P1800، تعمیر و ترمیم یتن صورت گیرد.

باید توجه داشت، در بخش هایی که آرماتور ها نمایان نیستند و هدف تنها بازگرداندن پوشش و کاور رویه ی بتن است و البته جابجایی در بتن در اثر نیروهای وارده وجود نخواهد داشت. استفاده از ملات ترمیم پایه سیمانی به تنهایی کافی خواهد بود. از طرفی اگر آرماتور ها نمایان باشد و یا حفرات در ناحیه اتصال تیر و ستون باشد، حتما چسب بتن پیوندی باید استفاده شود.

### ✗ ۴- تخریب سولفاتی سازه بتنی

سولفات سدیم، منیزیم و کلسیم، از جمله نمک‌هایی هستند که معمولاً در مناطق ساحلی جنوب و همچنین غرب ایران یافت می‌شوند. این گروه از سولفات‌ها با آهک موجود در خمیر سیمان واکنش شیمیایی داده و تشکیل سولفات کلسیم می‌دهند. شکستن آهک از حجم خمیر سیمان بیشتر است، بنابراین با توجه به ضعف بتن در کشش، امکان شکستن بتن در اثر انبساط وجود دارد.

✓ استفاده از یک پوشش نازک بتن پلیمری ( ضخامت ۲ سانتیمتر ) ملات ترمیمی الیاف دار پایه سیمانی **MTOSIVE** 1020 می‌تواند برای بتنی که دستخوش فرسایش و آسیب مدام به علت قرار گرفتن در معرض سولفات‌هاست، مفید باشد و استفاده از مواد و ترکیبات آب بندی بتن مانند **MTOPTROOF P92** که یک پرایمر امولوسیونی پایه قیری ( با دو نوع حلال آب و بنزین است ) از آنجا که خشک و تر شدن دائم سازه به تخریب سولفاتی سرعت می‌بخشد، مناسب است .

#### ✗ ۵- خوردگی شبکه فولادی سازه بتنی ( اکسید شدن شبکه میلگرد )

خوردگی شبکه آرماتور معمولاً نشانه‌ای بر تخریب بتن به علت دیگریست، در این مورد، علل مخرب دیگر بتن را ضعیف کرده و اجازه می‌دهند تا خوردگی شبکه آرماتور رخ بدهد. به هر صورت، شبکه‌های آرماتور دارای خوردگی به صورت متداول در هر بتن آسیب دیده‌ای یافت می‌شوند. زمانی که بتن دچار ترک خوردگی شود و یا تورق به اندازه کافی اجازه می‌دهد تا آب بدون مزاحمت وارد بتن شود، خوردگی بتن رخ می‌دهد. اکسیدهای آهن تشکیل شده در طول خوردگی فولاد نیاز به فضای بیشتری نسبت به سازه اصلی شبکه آرماتور در بتن دارند. این مسأله باعث بوجود آمدن تنش کششی در بتن و در نتیجه ایجاد ترک‌های اضافی و (یا) لایه لایه شدن کاور بتن و در نتیجه سرعت بخشیدن به روند خوردگی خواهد شد. می‌توان با اندازه گیری پتانسیل خوردگی هافسل از بتن آسیب دیده، زنگ زدگی را شناسایی نمود. زمانی که زنگ زدگی شبکه آرماتور تایید شد، بسیار مهم است که آنچه واقعاً باعث خوردگی بتن شده شناسایی شود، چون معمولاً علل خوردگی تعیین خواهد کرد که چه روش تعمیراتی را باید مد نظر و مورد استفاده قرار داد.

✓ هنگامی که علت آسیب شناسایی شد و مسئله ساده تر گردید، در صورت لزوم، حفاظت و آماده سازی شبکه آرماتور تحت اثر خوردگی در هنگام برداشتن بتن فرسوده اهمیت می‌یابد. بر این اساس فلزی که توسط فرآیند خوردگی به کمتر از نصف سطح مقطع اصلی آن کاهش یافته باید حذف شده و جایگزین گردد. فولاد باقی مانده نیز برای حذف تمام شل زنگ‌ها، خورده زنگ‌ها و محصولات جانبی خوردگی که با اتصال به مواد تعمیراتی ( در روند ترمیم ) دخالت می‌کنند، باید تمیز گردد. شبکه آرماتور بندی تحت خوردگی ممکن است از مناطق دارای بتن آسیب دیده به سوی بتن به ظاهر خوب گسترش یافته باشد. بنابراین در هنگام برداشتن بتن باید دقت کرد تمامی شبکه آرماتور دارای خوردگی شناسایی شوند.

#### ✗ ۶- قرار گرفتن بتن در معرض اسید

تشخیص بتن آسیب دیده با اسید آسان است. اسید با سیمان پرتلند و ملات بتن واکنش می‌دهد و سیمان به نمک‌های کلسیم تبدیل شده که بوسیله آب جاری ریزش کرده و شسته می‌شوند. سنگدانه‌های درشت تر معمولاً سالم می‌مانند، اما نمایان می‌گردند. ظاهر بتن آسیب دیده توسط اسید تا حدودی مانند تخریب سایشی است، اما سنگدانه‌هایی که در معرض اسید قرار می‌گیرند نمایانتر و بدون صیقل هستند. تخریب اسیدی در سطح آغاز می‌شود و تحت تاثیر اسید گسترش می‌یابد و هرچه به هسته بتن نزدیک می‌شود میزان تخریب کاهش می‌یابد.

✓ در تعمیرات تخریب اسیدی می‌توان از ترمیم کننده اپوکسی **MTOFLOW 650R** و یا چسب اپوکسی بتن و ملات ترمیم بتن پلیمری و در بعضی موارد از چسب اپوکسی به همراه ملات اپوکسی استفاده نمود.

#### ۷- ترک در بتن ( سازه ای )

در ترک‌های سازه ای مرده ( ترک‌های زنده ی دینامیکی نشان از ضعف سازه در بخش‌های مهمی مانند اتصالات تکیه گاهی و عدم لختی سازه دارد )، می‌توان از روش زیر استفاده نمود.

✓ **تزریق رزین اپوکسی** می تواند برای یکپارچه ساختن سازه ی بتن ( افزایش لختی ) استفاده شود و اگر هدف از ترمیم سازه بتنی، آب بند ساختن نشتی سازه است پیشنهاد می شود که ترمیم به صورت کامل با **تزریق رزین پلی یورتان** انجام پذیرد.

✓ تزریق رزین اپوکسی در برخی موارد که حجم نشت آب سازه کم باشد، برای آب بندی استفاده شده و یا جهت چسباندن مجدد ترک های اعضای سازه ی بتنی بکار می رود.

✳️ رزین اپوکسی پس از تزریق به ماده ای سخت اما شکننده و ترد که نسبت به حرکت احتمالی ترک ها مقاومتی ندارد بدل می شود، در عوض رزین پلی یورتان انعطاف پذیر بوده و مقاومت کششی پایینی داشته و به فومی بدون منفذ بدل شده که برای رفع نشت و آبندی مناسب است.

اگر عمق برداشت بتن آسیب دیده و فرسوده به اندازه ی مورد لازم زیر عمق و دامنه ی گسترش ترکهای موجود نباشد، باید انتظار داشت سرانجام ترک جدیدی از میان مواد تعمیری استفاده شده نمایان شود.

✓✓ به طور خلاصه می توان گفت هر سازه بتنی در طول مراحل ساخت و بهره برداری می تواند به علل مختلف مانند خوردگی آرماتور ها ، نفوذ آب ، حمله سولفات و کلر ها ، کربناتاسیون ، قلیایی بتن ، اشتباهات طراحی و بارگذاری ، حوادث ، ترک های ناشی از جمع شدگی و عدم کیورینگ و نگهداری مناسب ، عدم اجرای نامناسب بتن ، عدم کیفیت لازم طرح اختلاط ، عدم فراهم بودن شرایط مناسب بتن ریزی و ... دچار نقص کیفی در بتن گردد که باعث تحلیل عضو بتنی کاهش شدید دوام و مقاومت بتن و حتی از بین رفتن دائمی عضو می گردد.

✓✓ از سوی دیگر بدیهیست که هر گونه ترمیم و تعمیر اصولی و کارآمد بتن نیازمند تشخیص کارشناسی عوامل ایجاد کننده نقص و تشریح نیاز های مورد نظر از ترمیم می باشد که این امر به نوبه خود نیازمند احاطه کامل کارشناسان به مصالح متنوع ترمیمی چه از نظر ساختار و چه از منظر کاربرد و اجرا می باشد . چراکه عدم رعایت اصول و مراحل ترمیم بتن می تواند باعث تشدید آسیب ها ، تحمیل هزینه های مضاعف و کاهش بیش از پیش کیفیت عضو و کاربری آن می شود . از این رو پر واضح است که یک عملیات ترمیم اصولی ، با کیفیت و با دوام ، در تعامل با مجموعه ای از دانش های فنی و تجربه اجرایی مورد نیاز انجام پذیر است . هنگامی که سطح بتن ظاهری خشن، حفره دار و پوسته پوسته پیدا می کند به این پدیده کرمو شدن بتن می گویند. برای رفع این مشکل باید عملیات ترمیم بتن انجام شود که اغلب پس از تخریب بتن کرمو از ملات ریزی مجدد استفاده می شود. همچنین برای چسبیدن بهتر ملات به سطح تخریب شده، از واتر جت صنعتی استفاده می شود.

#### عوامل ایجاد بتن کرمو

بتن کرمو در سازه های بتنی زیادی مشاهده می شود. دلیل به وجود آمدن کرمو شدگی و حفره ها را می توان علل زیر دانست:

بتن سفت یا بی استفاده

ارتعاش بیش از اندازه

استفاده از آب زیاد

شیوه بتن ریزی نامناسب

کامل پر نشدن ملات بتن در قالب

نسبت نادرست آب به سیمان ( نسبت صحیح به طور معمول بین ۴/۰ تا ۶/۰ )

خارج شدن گروت یا دوغاب از حفره های ریز یا حفره های پایین قالب

تغییر ابعاد و مساحت مقاطع و تورم تخته های قالب به علت آب بیش از حد



ترمیم بتن کرمو در ساختمان ها

فرایند ترمیم بتن کرمو به شرح زیر می باشد:

برداشتن ذرات و سنگدانه‌ها سیست شده با استفاده از واترجت صنعتی ، چکش برقی یا برس سیمی

تمیز کردن کامل سطح حاصل با برس سیمی و در نهایت شستن آن

زمان دهی برای خشک شدن سطح و استفاده از چسب بتن

۴ (عملیات بتن ریزی مجدد با آماده کردن گروت یا با قالب گذاری

برداشتن قالب ها بعد از ۱۲ ساعت

**نکته** (با استفاده از واترجت صنعتی در مرحله تخریب بتن ، نیاز به اجرای مرحله دوم حذف میشود و بعلت فراهم شدن سطح

بسیار مناسب دیگر نیازی به استفاده از چسب نمی‌باشد.



**الف (تخریب بتن کرمو**

برای تخریب بتن لازم است ابتدا محدوده ای حول ناحیه مشکل دار انتخاب شده و این محدوده تحت شکل هندسی منظمی با

استفاده از ابزارهای تخریب بتن ، تا زیر میلگردها کاملا برداشته شود. با توجه به آنکه بتن کرمو می تواند دارای مشکل در کل

مالات بتن باشد، توصیه می شود از روش های ضربه ای مثل چکش برقی یا پیکور استفاده نگردد. زیرا این تجهیزات به علت وارد

نمودن ضربه موجب ایجاد میکرو ترک و ترک های عمیق در داخل بتون می شوند. حال اگر به علت کم یا زیاد بودن ملات آب

پیوند بین سنگدانه ها به خوبی برقرار نشده باشد این ترک ها عمیق تر شده و بیشتر در سازه پخش می شوند. در مقابل استفاده

از واترجت صنعتی می تواند با سرعت بیشتر و کیفیت بهتری کندن بتن و تمیز کاری سطوح را انجام دهد. همچنین واترجت

صنعتی میکرو ترک در سازه ایجاد نمی کند.



برای تخریب بتن کرمو با استفاده از واترجت فوق فشار قوی نیازی با آماده کردن سطح نیست. واترجت تا ۲۵۰۰ بار با استفاده از نازل Hy Jet فالش یا نازل های تخصصی دیگر موجود، می تواند به راحتی کندن بتن را انجام دهد. با توجه به نیروی لگد آب که در فشار ۲۵۰۰ بار مقدار کمی نیست، لازم است یک نفر نیروی ماهر و آموزش دیده با این دستگاه کار کند. شرکت های تولید کننده واترجت صنعتی فوق فشار قوی به منظور افزایش سرعت انجام پروژه ها و نیز سهولت انجام کارها، ربات های خودکار و نیمه خودکار نیز تولید کرده اند. اگر حجم کار تخریب بتن زیاد باشد، عمدتاً از این ربات ها نیز استفاده می شود. نازل با فاصله ای از سطح که بتواند بیشترین قدرت تخریب را داشته باشد قرار می گیرد. آب فشار قوی با نفوذ در خلل و فرج بتن و ایجاد فشار از زیر تکه های کوچک، موجب کندن ماتریس بتن و سنگدانه ها می شود. واترجت همچنین می تواند سطح میلگردها را زنگ زدایی، تمیز و آماده بتن ریزی مجدد نماید. سطح باقی مانده، سطحی تمیز و دانه دانه بوده و سنگدانه ها سالم و بدون آسیب نمایان خواهند بود.

### ب) ترمیم بتن

بعد از تخریب بخش های مورد نظر، با توجه به هندسه و دسترسی ناحیه، یکی از روش های مختلف ترمیم بتن پیاده سازی می شود.

#### ۱) روش ماله زدن

اضافه نمودن ملات جدید به سطح با استفاده از ماله، قابل استفاده برای عمق ترمیمی کم در صورت عدم تخریب بتن تا زیر میلگردها

#### ۲) روش پک خشک

قرار دادن مواد ترمیمی در فضای مشخص پس از مخلوط کردن یکنواخت آنها و ایجاد حالت پلاستیکی منسجم، قابل استفاده برای محدود

#### ۳) روش قالب گیری و ریختن مواد

قالب گذاری در اطراف منطقه تخریب شده و ریختن ملات جدید در آن، بهترین روش برای کاربردهای نیازمند بتن ریزی به فرم خاصی، مناسب برای ستون ها و دیوارها

#### ۴) روش بتن ریزی با سنگدانه های پیش آکنده

بستن فضای مورد نظر و ریختن سنگدانه داخل آن و سپس تزریق گروت یا ملات به داخل فضای بسته با استفاده از پمپ

#### ۵) روش شاتکریت

پاشش بتون یا گروت تحت فشار و سرعت بالا بر روی سطح، قابل انجام به صورت تر و خشک

#### ترمیم کننده بتن

بر اساس استاندارد EN1504 موضوعات مرتبط با مرمت سازه های بتنی به چند بخش تقسیم شده اند که از مهمترین آنها می توان به مرمت های ادواری، دستورالعمل های نگهداری سازه و احیای قسمت های صدمه دیده بتنی ناشی از شرایط بهره برداری اشاره نمود. اما ذکر این نکته الزامی است که علی رغم افزایش سطح استانداردهای طراحی، اجرا و نظارتی در پروژه های عمرانی و بهبود شرایط کیفیتی ساخت، اجرا و عمل آوری بتن همچنان برخی از سازه ها در حین ساخت یا پس از آن نیازمند عملیات ترمیم می باشند. مطابق با این استاندارد، استفاده از مواد در رده غیرسازه ای (R1) و معمولاً به از بین بردن عیوب سطحی، آماده سازی سطح و همچنین موارد مرتبط به ظاهر کار محدود می شود. با توجه به کاربردهای اشاره شده در طراحی این رده از مواد تعمیراتی، ویژگی هایی از قبیل چسبندگی، ظاهر و دوام آن به مواردی همچون مقاومت های مکانیکی ارجحیت دارد.

در این نوع مرمت ها به صورت معمول استفاده از ترمیم کننده های سیمانی توصیه می شوند. زیرا مواد تعمیراتی با بنیان اپوکسی بر خلاف مواد سیمانی، به دلیل تفاوت در ضریب انبساط حرارتی با بتن در صورت به کارگیری در حجم

یا ضخامت زیاد با بروز ترک و یا جداسدگی مواجه خواهند شد. بنابراین در صورتی که مواد ترمیم‌کننده پایه سیمانی، الزامات مقاومت‌های مکانیکی و چسبندگی را در سازه فراهم نمایند، از اولویت بیشتری برای تعمیر مقاطع بتنی برخوردار خواهند بود. در این راستا محصولات ترمیم‌کننده متنوعی در شرکت دانش بنیان شیمی ساختمان آبادگران طراحی و به بازار ارائه گردیده است.

**E.M.REPAIR** از جمله مواد ترمیم‌کننده سیمانی است که به عنوان یکی از مقرون به صرفه ترین مواد سیمانی در این دسته شناخته می‌شود. این ملات آماده با بافت نرم و قابلیت شکل‌پذیری خود امکان ماله‌خوری مناسب و قابلیت پرداخت آسان را فراهم نموده و با توجه به پلیمرهای متعددی که در ساخت آن به کار رفته، از چسبندگی قابل توجهی به مقاطع زیر کار برخوردار است. ماده ترمیمی **E.M.REPAIR** با توجه به مزیت‌هایی همچون چسبندگی زیاد به انواع مصالح، عدم انقباض، مقاومت در مقابل سیکل‌های ذوب و یخبندان، هم رنگ بودن با بتن و همچنین سهولت اجرا قابل استفاده در تمامی پروژه‌ها است. ضمن این‌که استفاده از این ماده برای مصارف عمومی منجر به کاهش هزینه‌های ترمیم در پروژه می‌شود.

این ماده به طور عمده برای مصارف عمومی و داخل ساختمان یا فضای بسته همچون زیرسازی کف و دیوارها قبل از نصب انواع مصالح دکوراتیو توصیه می‌شود. از دیگر موارد مصرف این محصول می‌توان به پر کردن درزها و ترک‌های غیرسازه‌ای، حفره‌های میان بولت، ماهیچه‌کشی اشاره نمود. این ماده به منظور تسطیح و ترمیم سطوح متخلخل، ترمیم شکستگی‌های مقاطع بتنی یا سیمانکاری شده، پر نمودن ناهمواری‌های بتن و تسطیح ناهمواری‌های ناشی از خطا در قالب‌بندی استفاده می‌شود. در مقایسه با سایر ملات‌ها و مواد ترمیمی، محصول **E.M.REPAIR** از منظر هزینه تمام شده کار، کیفیت و سهولت اجرا در شرایط مطلوبی قرار دارد.



روش مصرف ترمیم‌کننده بتن **E.M.REPAIR**

#### روش مصرف

سطح زیر کار باید تمیز، محکم و عاری از هرگونه چربی، گرد و غبار، رنگ، روغن و ذرات سست باشد. بسته به کارایی مورد نیاز و ضخامت اجرا پیشنهاد می‌شود به هر کیسه ۲۵ کیلوگرمی حدود ۵ تا ۵/۵ لیتر آب اضافه شود. اختلاط پودر با آب باید با استفاده از همزن برقی (دریل+پره) صورت پذیرد. سطل یا ظرفی که پودر و آب در آن مخلوط می‌شوند باید متناسب با سرعت کار و حجم اختلاط باشد. همیشه پودر را به آرامی به آب اضافه نمایید و توجه داشته باشید در زمان اضافه شدن پودر به آب همزن برقی روشن باشد و عمل اختلاط تا حصول مخلوطی یکنواخت و همگن ادامه پیدا نماید. حتماً پیش از اجرای مخلوط آماده شده **E. M. REPAIR** سطوح زیر کار را مرطوب نمایید. ملات آماده شده را به وسیله ماله یا کاردک روی سطوح مرطوب شده اجرا نمایید.

### مقدار مصرف

بسته به مقدار تخلخل و ناهمواری سطوح مورد اجرا، برای پوشش یک متر مربع به ضخامت ۱ میلی متر حدود ۱/۵ تا ۲/۵ کیلوگرم E. M. REPAIR مورد نیاز می باشد.

### توجه

همیشه آن مقدار پودر را با آب مخلوط نمایید که حداکثر در مدت زمان کمتر از ۲۰ دقیقه مورد استفاده قرار گیرد. پس از نیمه خشک شدن ملات اجرا شده، تمامی سطوح را حداقل ۲۴ ساعت با اسپری نمودن آب مرطوب نگه دارید.

خواص و اثرات ترمیم کننده بتن E.M.REPAIR

چسبندگی زیاد به انواع مصالح

بدون انقباض

مقاوم در مقابل سیکل‌های ذوب و یخبندان

همرنگ با بتن

سهولت اختلاط و اجرا

موارد کاربرد ترمیم کننده بتن E.M.REPAIR

تسطیح و ترمیم سطوح متخلخل

ترمیم ترک خوردگی ها و شکستگی های مقاطع بتنی یا سیمانکاری شده

پر نمودن ناهمواری های بتن و حفره های باقی مانده از میان بولت ها

تسطیح ناهمواری های ناشی از خطا در قالب بندی

زیرسازی کف و دیوارها قبل از نصب انواع مصالح دکوراتیو

مشخصات فیزیکی و شیمیایی ترمیم کننده بتن E.M.REPAIR

حالت فیزیکی: پودر

رنگ: خاکستری

وزن مخصوص ملات آماده:  $1.90 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$

یون کلر: ندارد

ملاحظات ترمیم کننده بتن E.M.REPAIR

مدت نگهداری: یک سال در بسته بندی اولیه

شرایط نگهداری: دور از رطوبت و تابش مستقیم نور خورشید

بهترین دمای نگهداری: ۱۰+ تا ۳۰+ درجه سانتیگراد

نوع بسته بندی: کیسه ۲۵ کیلوگرمی

حفاظت و ایمنی ترمیم کننده بتن E.M.REPAIR

این ماده در محدوده مواد خطرناک و مضر برای سلامتی و محیط زیست قرار ندارد با این وجود به هیچ عنوان نباید بلعیده شود یا با چشم تماس داشته باشد.

توصیه میگردد در هنگام کار نمودن با هرگونه ماده شیمیایی از ماسک، دستکش و عینک ایمنی استفاده گردد.

در صورت برخورد اتفاقی با پوست یا چشم باید فوراً با آب شیرین فراوان شسته شود.

در صورت بلعیده شدن فوراً به پزشک مراجعه شود.

لطفاً به برگه اطلاعات ایمنی (MSDS) مراجعه شود.

این ماده آتش زا نیست.

سایر محصولات این گروه

ABADUR-P1 ملات اپوکسی چند منظوره

ABABOND EP-20 چسب بتن اپوکسی

ABABOND RA-500 چسب کاشت میلگرد

E.M.REPAIR ترمیم کننده بتن

E.M.SUPER REPAIR ترمیم کننده بتن ویژه

SMOOTHER اسموزر

ABAREPAIR-ECO ترمیم کننده بتن ویژه

ABAREPAIR-F ترمیم کننده بتن پر مقاومت

E.M.BOND چسب بتن

ABADUR MP-25-45 ملات اپوکسی

### روش های اصلاح و ترمیم بتن کرمو

امروزه بنا به دلایل مختلفی سازه های بتنی نیازمند تعمیر و ترمیم می باشند. روش های مختلفی در دنیا جهت تعمیر سازه های بتنی وجود دارد که هر یک بسته به شرایط می تواند مناسب و کارآمد باشند. البته هرگز نباید فراموش کرد که موفقیت در فرآیند تعمیر نیازمند به کارگیری تیم و شرکت های تخصصی و با تجربه می باشد.

#### ترمیم و تعمیر بتن چیست ؟

تعمیر، جایگزینی یا اصلاح مصالح، اجزاء یا اعضای خراب شده، آسیب دیده، یا معیوب یک سازه است. به عبارت دیگر، تعمیر در واقع شیوه‌ای است که به طولانی‌تر شدن عمر مفید واقعی سازه و رسیدن به عمر مفید طراحی آن کمک می‌کند. در واقع ما در ترمیم بتن می‌خواهیم شرایط را به نحوی فراهم سازیم تا سازه مشخصات خود را در دوره بهره برداری حفظ نماید.

انواع سازه های بتنی بنا به مشکلات بهره برداری ، شرایط محیطی و اشکالات ساخت نیازمند ترمیم و بازسازی می باشند. امروزه روش های استاندارد متنوعی برای ترمیم و بازسازی سازه های بتنی وجود دارد که هر یک دارای مزایا ، معایب و محدودیت هایی می باشند. به کارگیری هر یک از این روش های ترمیم و بازسازی نیازمند شناخت دقیق پتانسیل هر یک از این روش های ، معایب آنها ، علت ایجاد عیب و تخریب ، ابعاد ، اکسپوز یا غیر اکسپوز بودن ، شرایط بهره برداری ، محدودیت های اقتصادی و زمانی ، محدودیت های اجرایی ، توقعات از عملیات می باشد. انواع عیوب سازه های بتنی را می توان به عیوب و تخریب سازه های سازه ای و غیر سازه ای تقسیم بندی کرد. عیوب و تخریب های سازه ای به مشکلاتی اطلاق می شود که بر ظرفیت باربری سازه تاثیر داشته و باعث اختلال در باربری سازه می گردد. این تعمیرات و ترمیم ها باید به نحوی باشد که بتواند بخشی از بار وارده به خود و سازه را بدون مشکل تحمل نماید. از جمله منشا و عوامل تخریب بتن می توان به این موارد اشاره کرد : خوردگی میلگردها ، سولفات شدن ، کرناتاسیون ، فرآیند ذوب و یخ ، تبلور نمک ، تماس اسیدی ، حوادث طبیعی مانند زلزله و آتش سوزی ، واکنش قلیایی سنگ دانه ها ، سایش و پدیده کاویتاسیون ، مشکلات اجرایی و عمل آوری و ... در ترمیم بتن و تعمیرات غیر سازه ای ، عملیات انجامی برابر نبوده و صرفا به منظور زیباسازی ، جلوگیری از معضلات بهره برداری مانند نشست آب ، حفظ دوام دارای اهمیت می باشد. از جمله انواع روش های تعمیرات و ترمیم سازه های بتنی می توان به : قالب بندی و بتن ریزی با بتن حاوی افزودنی های بتن ، بتن پیش آکنده ، بتن پاشی یا شاتکریت ، ترمیم دستی ، تزریق رزین اپوکسی و پلی یورتان ، بتن اصلاح شده با پلیمر و چسب اپوکسی یا لاتکس ، بتن های پلیمری و ... اشاره کرد. از جمله عوامل موثر در انتخاب روش و مواد ترمیم می توان به موارد ذیل اشاره کرد :

ابعاد منطقه تخریب شده ، اکسپوز یا غیر اکسپوز بودن ، محدودیت زمان اجرا ، محدودیت بهره برداری ، شرایط دمایی بهره برداری ، شرایط شیمیایی بهره برداری ، شرایط اقتصادی ، دوام مورد نظر ، اکیپ تخصصی در دسترس ، تجهیزات در اختیار ، شرایط دمایی و فصلی ، مشخصات مکانیکی مورد نیاز اشاره کرد. بنابراین برای گزینش روش و مواد ترمیمی سازه های بتنی پس ارزیابی آزمایشگاهی غیرمخرب سازه بتنی و کارشناسی شرایط محیطی و بهره برداری ، با توجه به موارد ذکر شده ، محدودیت ها و مزایا نسبت به انتخاب روش پاسخگو و کاربردی اقدام می گردد.

از جمله عوامل کلیدی موثر در موفقیت عملیات ترمیم و بازسازی می توان به استفاده از مصالح و روش استاندارد ، شناسایی درست علل تخریب و نوع آسیب ، استفاده از اکیپ تخصصی ، رعایت روش و شرایط اجرایی ، کیورینگ مناسب و کامل فرآیند ترمیم ۱- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم ستون های بتنی :

عمده مشکلات موجود در ستون های بتنی را می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه های تقسیم کرد. مشکلات سازه ای ستون : ترک های با عرض و عمق زیاد بر اثر حوادث ، خوردگی و ... - شکستی بتن با ابعاد زیاد - درزهای اجرایی به علت قطع بتن - کپ موجود در اتصال بتن ستون به تیر یا دال و ...

مشکلات غیر سازه ای ستون : کرمو بودن و تخلخل در بتن ، شکستگی کم عمق ، ترک های سطحی

**روش های ترمیم ستون های بتنی :**

ترمیم ترک های ستون ها با استفاده از تزریق رزین اپوکسی  
 ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی و ملات پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر در شکستی و خوردگی ستون ها  
 ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی اتصال قدیم به جدید و ملات منبسط شونده در کپ های اتصال  
 ترمیم سطحی و دوامی با استفاده از ملات ترمیم کننده پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر  
 پوشش ترک های سطحی با پوشش های محافظتی الاستومری به منظور حفظ دوام  
 استفاده از الیاف های CFRP به صورت ترکیبی با سایر روش ها با توجه به حجم آسیب  
 ترمیم با استفاده از دوخت سازه به وسیله تزریق رزین و کاشت میلگرد

**۲- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم دیوار های بتنی :**

عمده مشکلات موجود در دیوار های بتنی را می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه های تقسیم کرد.  
 مشکلات سازه ای دیوارهای بتنی : ترک های با عرض و عمق زیاد بر اثر حوادثی چون زلزله و آتش سوزی ، خوردگی و ... - شکستی بتن با ابعاد زیاد - درزهای اجرایی به علت قطع بتن - کپ موجود در اتصال بتن دیوار به تیر یا دال و ...  
 مشکلات غیر سازه ای دیوارهای بتنی : کرمو بودن و تخلخل در بتن ، شکستگی کم عمق ، ترک های سطحی

**روش های ترمیم دیوار های بتنی :**

ترمیم ترک های ستون ها با استفاده از تزریق رزین اپوکسی  
 ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی و ملات پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر در شکستی و خوردگی دیوارها  
 ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی اتصال قدیم به جدید و ملات منبسط شونده در کپ های اتصال  
 ترمیم سطحی و دوامی با استفاده از ملات ترمیم کننده پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر  
 پوشش ترک های سطحی با پوشش های محافظتی الاستومری به منظور حفظ دوام  
 استفاده از الیاف های CFRP به صورت ترکیبی با سایر روش ها با توجه به حجم آسیب  
 ترمیم با استفاده از دوخت سازه به وسیله تزریق رزین و کاشت میلگرد

**۳- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم سقف ، تیر و پل های بتنی :**

عمده مشکلات موجود در سقف ، تیر و پل های بتنی می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه های تقسیم کرد.

مشکلات سازه ای سقف ، تیر و پل های بتنی : وجود گرده ماهی ناشی از مشکلات اجرایی ، ترک های عریض و عمق زیاد ، خوردگی ، ضعف در اتصالات و نشیمن تیر به ستون ، تیرچه به تیر و ... ، شکستی بتن به علت ضربه ، زلزله یا خوردگی مشکلات غیر سازه ای سقف ، تیر و پل های بتنی : ناصاف بودن و لبه داشتن قالب در بتن های اکسپوز ، کرمو بودن و تخلخل در بتن ، شکستگی کم عمق ، ترک های سطحی ،

روش های ترمیم سقف ، تیر و پل های بتنی :

ترمیم ترک های سقف ، تیر و پل ها با استفاده از تزریق رزین اپوکسی  
استفاده از بتن های پلیمری برای ترمیم سطح روی پل ها و عرشه عبور با تردد زود هنگام  
ساب زدن سطح بتن در سطوح ناصاف و نما  
ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی و ملات پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر در شکستی و خوردگی تیر ، پل و سقف ها  
ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی اتصال قدیم به جدید و ملات منبسط شونده در کپ های اتصال  
ترمیم سطحی و دوامی با استفاده از ملات ترمیم کننده پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر  
پوشش ترک های سطحی با پوشش های محافظتی الاستومری به منظور حفظ دوام  
استفاده از الیاف های CFRP به صورت ترکیبی با سایر روش ها با توجه به حجم آسیب  
دوخت ترک با استفاده از تزریق رزین و میلگرد

۴- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم فونداسیون های رادیه ( گسترده ) و نواری بتنی :

عمده مشکلات موجود فونداسیون های رادیه ( گسترده ) و نواری بتنی را می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه ای تقسیم کرد.

مشکلات سازه ای سقف ، تیر و پل های بتنی : انواع ترکها ، خوردگی و شکستی بتن  
مشکلات غیر سازه ای سقف ، تیر و پل های بتنی : کرمو شدگی و تخلخل ، ترک های سطحی که می توانند برای دوام فونداسیون با توجه به مدفون بودن و تماس با آب و خاک زیاد بار باشد  
روش های ترمیم فونداسیون های رادیه ( گسترده ) و نواری بتنی :

ترمیم ترک های فونداسیون و پی با استفاده از تزریق رزین اپوکسی  
ترمیم با استفاده از چسب اپوکسی و ملات پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر در شکستی و خوردگی میلگرد فونداسیون  
ترمیم سطحی و دوامی با استفاده از ملات ترمیم کننده پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر  
پوشش ترک های سطحی با پوشش های محافظتی الاستومری به منظور حفظ دوام  
دوخت ترک با استفاده از تزریق رزین و میلگرد

۵- ترمیم سازه های بتنی ، ترمیم کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها بتنی :

عمده مشکلات موجود در کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها بتنی می توان به دو نوع سازه ای و غیر سازه ای تقسیم کرد.

مشکلات سازه ای کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها بتنی : وجود ترک ها و خوردگی  
مشکلات غیر سازه ای کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها بتنی : ناصافی و متخلخل بودن سطح بتن ، عدم تراز سطح بتن ، سایش و از آسیب سطحی ، شکستی لبه درزها ، شستگی ناشی از ریزش اسید  
روش های ترمیم کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها ی بتنی :

ترمیم ترک های کف سازی بتنی و بتن کف کارخانجات ، سوله ها و انبارها بتنی با استفاده از تزریق رزین اپوکسی  
استفاده از بتن پلیمری در ترمیم شکستی بتن ها

استفاده از ملات خود تراز شونده برای لول کردن سطح  
استفاده از کف پوش های صنعتی برای جلوگیری و ترمیم سایش  
اجرای پوشش های آب بند به منظور جلوگیری از خوردگی و تخریب سطحی  
استفاده از پوشش های با ملات شیمیایی بالا  
بی شک ترمیم و بازسازی سازه های بتنی امروزه امری بسیار تخصصی است که با توجه به اهمیت سازه ها از منظر  
دوام و شرایط اقتصادی نیازمند به کارگیری کارشناسان و تیم های تخصصی برای ترمیم و نگهداری می باشند.  
الف : مراحل اجرای ترمیم ترک ها به روش تزریق رزین اپوکسی :

پاکسازی درون ترک با استفاده از فشار هوا و یا آب  
خشک کردن درون ترک در صورت شستشو با آب  
سوراخ کاری محل نصب پکر ها با فواصل معین و عمق لازم به وسط ترک به صورت مورب با زاویه ۴۵ درجه  
بتونه کاری سطح ترک برای جلوگیری از فرار رزین تحت تزریق  
آماده سازی رزین و تزریق آن به درون ترک از پایین به بالا  
خارج کردن پکر ، تمیزکاری سطح بتن  
ب : مراحل اجرای ترمیم بتن های کرمو و سطحی :

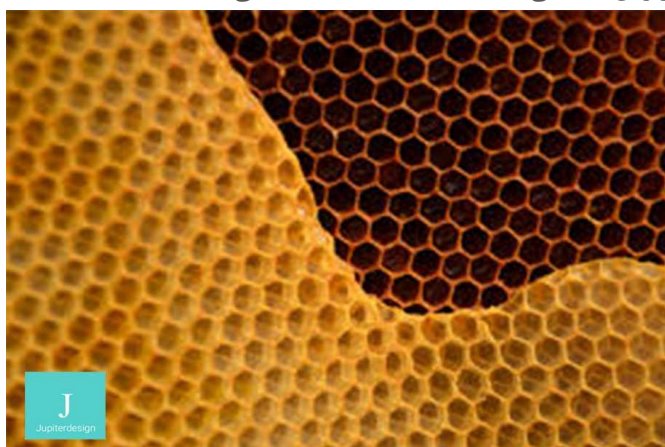
حذف بتن های ضعیف  
مربوط کردن سطح کار  
اختلاط ملات ترمیم ریز دانه اصلاح شده با پلیمر ( یا ملات ترمیمی اپوکسی ) و اجرای آن بر روی سطح  
کیورینگ سطح تا سه روز برای ملات های پایه سیمانی  
در صورتی که بتن اکسپوز باشد ساب سطح بتنی  
توجه : در صورتیکه بتن اکسپوز و نما باشد باید از ملات با حداکثر مطابقت رنگ برای ترمیم استفاده نمود.  
ج : مراحل اجرای بتن طبه شده ، شکسته با تخریب حجیم و عمق زیاد ( بیش از پنج میلیمتر ) :  
تخریب بتن های ضعیف تا عمق حصول بتن سالم ، با پلان هندسی ، عمق یکنواخت و زوایای قائم  
زنگ زادی و تقویت میلگرد ها در صورت خوردگی  
اعمال لایه پیوند زا از چسب لاتکس یا چسب اپوکسی بسته به سازه ای بودن یا غیر سازه ای بودن  
اجرای هر یک از ملات ترمیم کننده بسته به شرایط بهره برداری ، محدودیت مقاومتی و زمانی و شرایط اجرا  
کیورینگ و عمل آوری بسته به نوع ملات اجرا شده

#### بتن کرمو:

بتن کرمو و یا کرمو شدن بتن یکی از موضوعات بسیار مهمی می باشد که مهندسان عمران و معماری که در بخش اجرا کار  
می کنند باید با آن آشنایی کامل داشته باشند.  
بتن کرمو در صورت عدم ترمیم می تواند باعث ایجاد مشکلات جدی در اعضای سازه ای سازه بشود.  
به همین دلیل باید از بروز این مشکل در هنگام بتن ریزی و کیورینگ جلوگیری به عمل آید.  
همچنین اگر این پدیده برای سازه رخ داد بایستی سریعاً قسمت کرمو شده ترمیم شود.



نمایی از یک بتن کرمو شده را در تصویر فوق به خوبی مشاهده می نمایید.  
پدیده بتن کرمو دارای اسامی دیگری نیز می باشد که عبارت اند از:  
شن نما شدن بتن  
لانه زنبوری شدن بتن  
معادل انگلیسی بتن کرمو در زبان انگلیسی Honycomb concrete می باشد.



نمایی از لانه زنبور که بسیار شبیه بتن کرمو شده می باشد.  
لازم به ذکر است که بتن شن نما شده با پدیده عدم تراکم کافی بتن دو مبحث کاملاً جدا می باشند.  
اما متأسفانه بسیاری از مهندسان تفاوت این دو پدیده را نمی دانند.  
بتن شن نما شده دارای حالات زیر می باشد:  
در یک بتن شن نما شده ذرات درشت دانه (شن) در کنار هم دیده می شوند که فضای بین این ذرات فاقد ملات و شیره کافی می باشد.  
اما عدم تراکم کافی بتن دارای خواص ذیل می باشد:  
در یک بتن غیر متراکم ممکن است فضاها و حفرات کوچک و بزرگ قابل رؤیت (از چند دهم میلیمتر تا چندین میلیمتر) مشاهده گردد اما در بخش جامد، ذرات درشت و ریز و شیره بتن در کنارهم بصورت همگن دیده می شود.  
عواقب کرمو شدن بتن:



در ابتدای مقاله اشاره نمودیم که بتن کرمو در صورت عدم ترمیم می تواند باعث ایجاد مشکلات جدی در اعضای سازه ای سازه بشود. در این قسمت شما را با این مشکلات بیشتر آشنا خواهیم نمود.

عوارض شن نما شدن بتن عبارت اند از:

کاهش شدید مدول ارتجاعی بتن که در بخش طراحی سازه دارای اهمیت بسیار زیادی می باشد.

ایجاد منظره نامطلوب و نمای بد در سطح بتن

کاهش چشم گیر مقاومت فشاری، کششی و خمشی و برشی بتن به حدی که امکان دارد نتوان مقاومت بتن بخش شن نما شده را اندازه گیری کرد و حتی گاهاً امکان تهیه مغزه نیز در این قسمت ها وجود ندارد.

عدم امکان اندازه گیری جذب آب کوتاه مدت و بلند مدت به علت وجود حفرات بزرگ.

امکان نفوذ مواد زیان آور (حمله سولفاتی، اسیدی و...) به درون بتن زیاد شده که به بتن آسیب می رساند.

کاهش شدید پیوستگی میان بتن و میلگرد که کاهش چشم گیر ظرفیت باربری قطعه را به همراه دارد و عملاً انتقال نیروها بدرستی صورت نمی پذیرد همچنین روابط شناخته شده در طراحی سازه های بتن آرمه از اعتبار ساقط می شود.

عدم دوام کافی بتن در محیط های که دارای چرخه های یخ بندان و آبشدگی هستند.

افزایش شدت خوردگی میلگردها در اثر کاهش بسیار زیاد مقاومت الکتریکی بتن اطراف آن در منطقه پوشش میلگردها.

عدم تشکیل لایه انفعالی در میلگرد واقع در بخش شن نما شده و شروع خوردگی از ابتدای بتن ریزی یا ادامه دادن خوردگی میلگردهای زنگ زده.

افزایش چشم گیر نفوذپذیری بتن در منطقه کرمو یا شن نما شده و نشت بسیار زیاد آب به درون بتن و از بین رفتن آب بندی در سازه های نگهدارنده مایعات.

شروع زود هنگام خوردگی میلگردها در اثر نفوذ سریع یون کلرید یا

کربناته شدن بتن یا خمیر سیمان ناچیز مجاور میلگردها و از بین رفتن لایه انفعالی (در صورت تشکیل شدن آن)



نمایی از میلگردها که در اثر شن نما شدن بتن در معرض هوا و زنگ زدگی قرار گرفته اند.

#### علل کرمو شدن بتن:

از قدیم می گفتن پیشگیری بهتر از درمان است.

به همین علت بهتر است عوامل ایجاد شن نما شدن بتن شناسایی و از آن ها جلوگیری به عمل آید.

لازم به ذکر است که توجه به نکات ساده پیشگیری می تواند باعث کاهش هزینه های اجرای پروژه شود.

عوامل شن نما شدن بتن عبارت اند از:

۱:مجموعه عوامل درونی

۲:مجموعه عوامل بیرونی

در ادامه موارد فوق را بررسی می کنیم.

### ۱-عوامل درونی:

این عوامل به علت جود استعداد جدادگی مصالح مصرف شده در بتن می باشد.

از جمله عوامل درونی که مسبب کرمو شدن بتن است می توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف)افزایش روانی بتن به ویژه برای پمپ کردن آن.

ب)کمبود ذرات ریزدانه در ماسه بخاطر شستشوی غلط و زیاده از حد.

ج)بالا بودن نسبت آب به سیمان.

د)کمبود ماسه در بتن و یا استفاده از ماسه با بافت درشت

### ۲-عوامل بیرونی:

این عوامل به دلیل عدم به کارگیری روش مناسب در ریختن و جای دادن بتن در قالب حاصل می شود.

از جمله عوامل بیرونی که مسبب کرمو شدن بتن است می توان به موارد زیر اشاره نمود:

الف)بهره گیری از جام های معمولی و ریختن بتن به صورتی که با میلگردهای افقی ستون و دیوار، پی در پی برخورد نماید و ارتفاع زیادی را طی نماید.

ب)طراحی و یا اجرای غیراصولی آرماتوربندی اعضاء.

ج)افقی قرار دادن لوله پمپ به منظور ریختن بتن درون ستون یا دیوار.

د)بهره گیری از شوت مایل

ه)پرتاب نمودن بتن به وسیله بیل به درون ستون یا دیوار.

و)بهره گیری از جام های بغل ریز.

لازم به ذکر است که پرتاب نمودن بتن به وسیله بیل به درون ستون یا دیوار یکی از عمده ترین دلایل بروز جدادگی و بروز پدیده شن نما شدن بتن در کشور می باشد.

این روش عموماً در کارگاه های کوچک علل الخصوص در شرایطی که بتن با دست یا بتونیر در کارگاه میکس می گردد مشاهده می شود.

برای پیشگیری از هر کدام از مطالب فوق الذکر به صورت معمول ۳ دسته بندی موجود است.

این دسته بندی ها عبارت اند از:

۱-طراحی مناسب قطعه و میلگردگذاری مطلوب و قالب بندی بدون درز.

۲-کاهش استعداد درونی جدادگی بتن

۳-استفاده از وسایل و روش های مناسب جهت ریختن و جای دادن بتن در قالب.

### روش های ترمیم بتن کرمو:

همان طور که گفته شد کرمو شدن بتن می تواند برای سازه بسیار خطرناک باشد.

به همین علت در صورت مشاهده بتن شن نما شده باید این قسمت سریعاً ترمیم شود.

در صورت مشاهده بتن کرمو انجام اقدامات زیر الزامی می باشد:

الف) در ابتدا بایستی با استفاده از یک چکش و یک برس سیمی سنگدانه ها و ذرات بتنی را از محل آسیب دیده جدا نمود. کتاب سازه های چوبی

ب)سطح حاصل، باید به طور کامل تمیز شود. برای برداشتن سنگدانه های ریز باید از برس سیمی استفاده شود. نهایتاً لازم است سطح شسته شود.

ج) اجازه داده شود تا سطح خشک شود. پس از آن از چسب بتن می توان استفاده نمود.

د) با آماده کردن گروت یا با قالب گذاری، عملیات بتن ریزی صورت بگیرد.

ه) قالب ها پس از گذشت ۱۲ ساعت بایستی برداشته شوند.

برای ترمیم بتن کرمو می توان از یکی از روش های زیر بهره گرفت:

روش ماله زدن

روش پک خشک

روش شاتکریت

روش بتن ریزی با سنگدانه های پیش آکنده

روش قالب گیری و ریختن مواد

در ادامه به معرفی هر کدام از روش های فوق می پردازیم.

#### ۱- روش ماله زدن:

اگر عمق ترمیمی کم باشد می توان با استفاده از ماله ، ملات جدید را به سطح اضافه کرد.

این متد به شرطی که تخریب بتن تا زیر میلگردها صورت نپذیرفته باشد قابل استفاده است.

#### ۲- روش پک خشک:

از این متد می توان در فضاهای محدود استفاده نمود.

ابتدا مواد ترمیمی به شکل یکنواخت با هم مخلوط شده و زمانی که حالت پلاستیکی منسجمی به خودش می گیرد در فضای

مشخص شده قرار داده می شود.

#### ۳- روش شاتکریت:

در مقاله بتن شاتکریت به تفصیل روش شاتکریت تشریح داده شده است.

در این متد بتن یا گروت با فشار و سرعت بالا بر روی یک سطح پاشیده می شود.

این روش یکی از روش های رایج ترمیم بتن کرمو می باشد.

#### ۴- روش بتن ریزی با سنگدانه های پیش آکنده:

این متد اولین بار در سال ۱۹۳۷ میلادی در کشور ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفت.

در این روش ابتدا فضای مورد نظر بسته شده و سنگدانه ها داخل آن ریخته می شود.

پس از آن با یک پمپ، گروت یا ملات به داخل فضای بسته شده تزریق می شود.

#### ۵- روش قالب گیری و ریختن مواد:

این روش در هنگامی که بتن ریزی باید به نحوی خاص صورت بپذیرد بسیار مناسب است.

اول در اطراف منطقه ای که تخریب بتن صورت گرفته است قالب گذاشته شده.

پس از قالب گذاری ملات جدید در آن ریخته می شود.

لازم به ذکر می باشد که این روش برای ستون ها و دیوارها نیز مناسب می باشد.

#### تخریب بتن و بررسی تکنولوژی های مربوطه

سازه های بتنی به مرور زمان و به دلایل مختلفی ممکن است آسیب ببینند. این امر موجب تضعیف سازه شده و در صورتی که

ترمیم یا مقاوم سازی نشود، خرابی گسترش یافته و هزینه های سنگینی را تحمیل خواهد کرد. به همین جهت نگهداری بتن

یک امر ضروری به حساب می آید. برای اصلاح بتن راهکارهای متفاوتی وجود دارد، یکی از این موارد تخریب بتن در بخشی از

سازه می باشد که دچار خرابی و آسیب شده است. با برداشتن چند لایه می توان عامل خرابی را برطرف نموده و با بتن ریزی

مجدد، آن را ترمیم نمود.

عمل تخریب بتن با سه روش امکان پذیر است:

روش ضربه ای (چکش بادی و برقی)

روش تراش (دستگاه تراش)

روش هیدرولیک (واتر جت)

در ادامه به بررسی این سه روش از جنبه های مختلف خواهیم پرداخت.

تخریب بتن و توانایی های هر تکنولوژی

برای بررسی این سه تکنولوژی، آنها را از ۵ جنبه مورد مطالعه قرار خواهیم داد. این موارد شامل: مشخصات فنی، کارکرد، تولید، هزینه ها و کنترل کیفیت می باشد. در این مقاله دو مورد اول ارائه می گردد.

بررسی مشخصات فنی

روش ضربه ای نیاز به سرمایه گذاری کمی دارد ولی بسیار پرکار است. این ابزار از تجهیزات دستی کوچکی تشکیل شده است که با برق، بنزین یا فشار هوا کار می کند. عمل رفت و برگشتی پیستون نیروی مورد نیاز برای تخریب بتن را تامین می کند. ساختار بادوام و مکانیک ساده این ابزار، موجب شده که نیاز به تعمیر و نگهداری زیادی نداشته باشند. روش تراش و هیدرولیکی (واتر جت) تکنولوژی های گران تر و پر تجهیزتری هستند. ماشین های تراش فرآیند ساده ای دارند که به قدرت و توان دستگاه بزرگی که بتن را جدا می کند وابسته است. کندن مواد با ضربه های پیایی که از طرف دندانه های تعبیه شده بر روی دیسک برش به سطح وارد می شود انجام می گیرد. کاربردهای محدود ماشین تراش و هزینه بالای خرید و همچنین تعمیر و نگهداری آن، موجب شده که برای مصارف خاص تراش سطح و یا لایه برداری از سطحی که روی آن بتن زیادی ریخته شده مورد استفاده قرار گیرد. واتر جت دارای تکنولوژی بالایی برای لایه برداری بتن می باشد که از یک جت آب با فشار بالا که با کامپیوتر کالیبره شده است برای خرابی ماتریس سیمان استفاده می کند و با این عمل لایه ای از بتن را بر می دارد. این سیستم از دو بخش تشکیل شده است:

واحد تامین نیرو

واحد تخریب کننده

بخش اول فشار بالای آب را تامین می کند و عموماً در یک تریلر بزرگ قرار گرفته است.

بخش دوم، ابزاری قابل حمل است که شامل تجهیزات مورد نیاز برای به کار بردن آب فشار بالا می باشد. یک میکروپروسور که روی این دستگاه نصب شده است، عملکرد قسمت های مختلف واتر جت را کنترل می کند. کاربرد این تکنولوژی در تخریب بتن با توجه به مزایایی که دارد علیرغم هزینه های اولیه بالای آن، رو به گسترش است. کارگرانی که با چکش پنوماتیکی کار می کنند تاثیر مستقیم بر عملیات تخریب دارند چنانکه نیروی وارده و نیز موقعیت ابزار را کنترل می کنند. همچنین لرزش هایی که به کاربر وارد می شود، تاثیرات منفی زیادی بر روی سلامتی اپراتور می گذارد. کارگرانی که با ابزار تراش و یا واتر جت کار می کنند نیاز به مهارت های فنی قابل توجهی دارند، ولی تاثیرشان بر بهره وری کار بسیار کم است. این امر به خاطر ساختار بسیار مکانیزه تجهیزات می باشد.

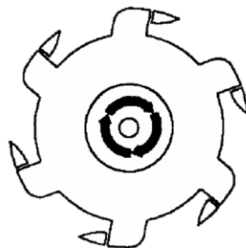
مرور تکنولوژی های تخریب بتن از جنبه فنی

جنبه فنی

کوچک، ارزان و قابل  
حمل می باشد. و می  
تواند برای تخریب بتن  
نیروهای ضربه ای مداوم  
را با ابزار برش خود  
فراهم کند. لرزش هایی  
که به کاربر وارد می  
شود، تاثیرات منفی  
زیادی بر روی سلامتی  
اپراتور می گذارد.



یک ابزار گران قیمت می  
باشد که برای تخریب و  
لایه برداری بتن به  
نیروی وزن و توان  
دستگاه بزرگ آن متکی  
است. این کار با ضربه  
های پی در پی دندان  
های تعبیه شده روی  
دیسک انجام می شود.



تخریب هیدرولیکی یک  
روش با تکنولوژی بالا و  
گران است. واترجت از  
نیروی جت آب فشار  
بالای کالایبره شده  
توسط کامپیوتر استفاده  
می کند و با تخریب  
ماتریس سیمان موجب  
تخریب بتن می شود.



روش  
هیدرولیک

#### بررسی کارکرد

مشخصات کارکرد این تکنولوژی ها معرف نقاط قوت هریک، در شرایطی است که آن تکنولوژی در یک کار به خصوص  
بیشترین بهره وری را دارد. این مهم، عموماً متأثر از طراحی تجهیز و روش استفاده آن برای تخریب بتن می باشد. ابعاد کوچک  
و قدرت مانور چکش پنوماتیکی، آن را برای تخریب بتن در مساحت های کوچک کاری، مثل فضاهای غیرقابل دسترس سازه  
پل ها و دیگر سازه های بتنی مناسب کرده است. در عملیات پرکار در این فضاها از روشهای تراش یا واترجت استفاده می  
شود.

سطح تماس بالای ابزار تراش، آن را برای جداکردن بتن از قسمت فوقانی آرماتورها محدود می کند. انسدادها و آرماتورها ممکن است به سطح برنده ابزار تراش برخورد کند و به آن آسیب برساند.

واترجت می تواند در انواع سازه های بتنی مسلح، با هرگونه سطح دسترسی و در یک منطقه وسیع، عملیات تخریب بتن را انجام دهد. این مساله آن را برای مقاوم سازی سازه های بتنی و به طور کل، مقاوم سازی بتن بسیار پرکاربرد کرده است. در روش تراش و واترجت، به دلیل اینکه تجهیزات زیادی دارند، برای عملیات تخریب بتن نیاز است که در تمام مدت انجام پروژه تجهیزات آنها در محیط حضور داشته باشد. درحالی که در روش ضربه ای حداقل دسترسی به سایت و محل پروژه مورد نیاز است.

برای دستیابی به بهترین بهره وری هنگام استفاده از تراش و واترجت، پیوستگی عملیات ضروری می باشد. میزانی که اپراتورها می توانند آزادانه کار کنند، با چند پارامتر تعیین می شود: سطحی که در آن باید تخریب بتن انجام شود، امکان دسترسی و انسدادهایی که اپراتور در حین کار با آنها مواجه می شود.

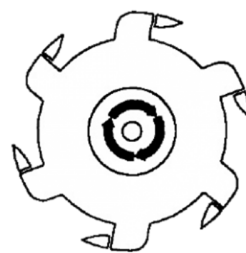
### مرور تکنولوژی های تخریب بتن از جنبه مشخصات کاری

#### جنبه مشخصات کاری

مناسب برای مساحت  
های کوچک. برش  
قسمت های پراکنده از  
ماتریس و کور گیری  
بتن. مناسب برای  
سطوح افقی، عمودی و  
بالاسری بخش های  
مختلف سازه پل ها.



این ابزار محدود به  
سطوح افقی تخت می  
باشد. برای سطوح بزرگ  
مسطح که باید تا عمق  
یکسانی لایه برداری  
شود مناسب می باشند.  
انسدادها و آرماتورها می  
توانند آسیب رسان  
باشند.



برای تخریب بتن از سطوح بزرگ بسیار مناسب می باشد. می تواند هر لایه از بتن را هوشمندانه و با تنظیم قدرت واترجت، جدا کند. برای آماده کردن سطح جهت ترمیم بتن و مقاوم سازی بتن بسیار مناسب است.

روش هیدرولیکی



همچنین نتیجه نهایی کار در هریک از روش ها متفاوت خواهد بود. در جدول زیر کارکرد هریک از روش ها با یکدیگر مقایسه شده است.

#### نتیجه نهایی کار

تکه های بزرگی از سطح جدا می شود.  
در سطح کار و داخل سازه ترک ایجاد می شود.  
به آرماتورها نیز آسیب می رساند.

روش ضربه ای



سطح کاملا صاف خواهد بود.  
در حین عملیات، گرد و خاک زیادی پخش می شود.  
وقتی آرماتور در حجم کاری وجود داشته باشد قابل استفاده نیست.

روش تراش



آرماتورها سالم  
 باقی می مانند.  
 سنگدانه ها سالم  
 باقی می مانند و  
 در سطح کاملا  
 مشخص خواهد  
 بود.  
 در سطح ترک  
 ایجاد نخواهد شد.  
 ایده آل برای  
 عملیات تخریب به  
 منظور ترمیم بتن.

روش  
 هیدرولیکی



مقایسه تخریب بتن توسط واتر جت و روش ضربه ای  
 در تصاویر زیر نمونه هایی از تخریب بتن توسط واتر جت و چکش برقی ارائه شده است:



#### تخریب بتن با واتر جت

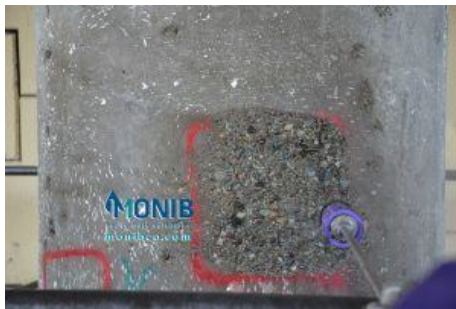
سنگدانه ها سالم باقی مانده اند  
 آرماتورها سالم باقی مانده اند  
 زنگ زدگی آرماتورها زدوده شده است

#### تخریب بتن با چکش برقی

لایه باقی مانده سطح مناسبی ندارد  
 آرماتورها آسیب دیده اند  
 آثار زنگ زدگی آرماتورها همچنان باقیست

یکی از کاربردهای واتر جت مضرس کردن بتن می باشد. مضرس کردن به معنی دندانان دار کردن یا خلل و فرج دار کردن می باشد. مضرس کردن بتن بعد از ساخت آن، فقط با واتر جت امکان پذیر است.





با استفاده از واترجت، یک لایه از سازه بتنی برداشته شده و به خاطر سالم ماندن سنگدانه ها و از بین رفتن ماتریس سیمان، اصطلاحاً مضرس شده است.

از دیگر معایب روش ضربه ای، ایجاد ترک در سازه بتنی می باشد. درحالی که در تخریب بتن با واترجت به دلیل اینکه ضربه ای وارد نمیکند، ترک و آسیبی در سطح بتن به وجود نمی آورد.



در روش ضربه ای به دلیل ضربات پیاپی که به سازه وارد می شود، ترک خوردگی در سطح بتن به وجود می آید.

از روش واترجت می توان برای مقاوم سازی بتن در سدهای بتنی، پل سازی، ستون های بتنی، مقاوم سازی ساختمان و به طورکل به منظور ترمیم بتن به خوبی بهره گرفت. یکی از معدود موادی که کشف آن تغییرات بزرگی در صنایع مختلف ایجاد کرده، اپوکسی است. بخش عظیمی از محبوبیت و کاربرد این ماده به خاصیت چسبندگی و مقاومت بسیار زیاد آن برمی گردد که در این مقاله به بررسی این ویژگی ها و دیگر خواص مثبت و منفی آن می پردازیم.

در این مقاله تمام جنبه های مربوط به اپوکسی را مورد بررسی قرار می دهیم. اپوکسی چگونه و توسط چه کسی کشف شده است؟ این ماده از چه چیزی تشکیل شده و چه کاربردهایی دارد؟ نحوه ترمیم یا حذف این ماده بعد از اعمال آن برروی سطح چگونه است؟ با ما همراه باشید تا جواب تمام این سوال ها را دریافت کنید.

اپوکسی چگونه و توسط چه کسی کشف شد؟

در سال ۱۹۰۹ میلادی، هنگامی که چند دانشمند شیمی در آزمایشگاه مشغول به کار بودند، متوجه ماده لزجی شدند که در اطراف وسایل آزمایشگاه تشکیل شده بود. در ابتدا این ماده خیلی مورد توجه قرار نگرفت و به عنوان زباله دور انداخته میشد. اما آنها با کمی دقت به ساختار این ماده به این نتیجه رسیدند که از آن می توان استفاده های مفیدی داشت.

بعد از اینکه این ماده چسبنده توسط آن دانشمندان به ثبت رسید، دانشمندی به نام پیر کاستان، که در یک شرکت دندان سازی کار می کرد، تحقیقات بیشتری برروی آن انجام داد و در آخر موفق شد که با استفاده از آن رزینی با مقاومت بسیار بالا بسازد.

اما اختراع پیر برای شرکت خودش فایده ای نداشت، چراکه رزین ماده مناسبی برای ساخت دندان نبود. او همچنان به پشتکار خودش ادامه داد و توانست که یک شرکت سوسپسی سازنده رنگ را متقاعد کند که از این ماده مقاوم در تولیدات خود

استفاده کند. در نهایت، بعد از تحقیقات فراوان، در سال ۱۹۴۸ رزین اپوکسی به طور رسمی توسط شرکت سیبا تولید شده و به بازار آمد. این شرکت بعدها به عنوان یکی از سه تولیدکننده بزرگ اپوکسی در سراسر دنیا شناخته شد.

اجزای تشکیل دهنده اپوکسی و نحوه استفاده از آن

اپوکسی که در زبان شیمی به آن پولی پوکساید هم می گویند، از ترکیب دو ماده اصلی رزین و هاردنر به دست می آید. رزین اپوکسی مولکول های واحدی هستند که از به هم پیوستن آنها پلیمر تشکیل میشود و هیچ رنگ و بویی ندارند. برعکس آنها، هاردنرها هستند که رنگی تیره و بوی ملایمی دارند. هاردنر یا ماده سخت کننده مورد استفاده در اپوکسی شامل سیکلو آمین و پلی آمید است که در دو نوع باحلال یا بدون حلال مورد استفاده قرار می گیرد.

در نتیجه مخلوط کردن این مواد فعل و انفعالاتی شیمیایی بین آنها صورت می گیرد که باعث تشکیل ماده ای به نام اپوکسی می شود. این ماده در ابتدا حالت مایع دارد که بعد از مدتی خشک شده و حالت جامد به خود می گیرد.

ماده جامد به دست آمده خاصیت چسبندگی بالایی داشته و به علت مقاومت شیمیایی، گرمایی، رسانایی الکتریکی و دوام بسیار زیاد، به عنوان پوشش در زمینه های مختلف استفاده می شود.

البته باید در نظر داشته باشید که اپوکسی خالص نمی تواند رسانای الکتریکی باشد. تنها با اضافه کردن مواد مختلف به اجزای اصلی اپوکسی می توان کاربردهای این ماده را افزایش داد. برای مثال، با اضافه کردن مقداری نقره به مخلوط رزین و هاردنر می توان اپوکسی با رسانایی الکتریکی ایجاد کرد.

برای استفاده از اپوکسی لازم است که زمان قابل اعمال آن ماده را تشخیص دهید. این زمان به مدت زمانی گفته می شود که مخلوط اپوکسی همچنان به صورت مایع بوده و شکل ظرف را به خود می گیرد.

فرآیند سخت شدن این ماده به صورتی است که در ابتدا چسبناک شده و قابلیت شکل پذیری خود را از دست می دهد، بعد از مدت زمانی معین مخلوط رزین به مقاومت نهایی خود می رسد که پس از گذشت این مرحله می توان مرحله سمباده زنی یا ساب زنی را آغاز کرد. یک نکته مهم در نحوه استفاده از اپوکسی این است که قبل از اعمال آن، سطح مورد نظر باید کاملاً تمیز و بدون هیچ آلودگی، تخلخل یا ترک باشد.

### کاربردهای اپوکسی در صنایع مختلف

اپوکسی ساختار بسیار انعطاف پذیری دارد به طوری که با کمی تغییر در اجزای تشکیل دهنده آن می توان بسپارهای مختلف با خواص متفاوت تولید کرد. بر همین اساس، این ماده در صنایع مختلفی کاربرد دارد که در ادامه برخی از آنها را بررسی می کنیم.

#### کاربرد اپوکسی در ساخت وساز

همانطور که گفتیم، اپوکسی مقاومت بسیار بالایی دارد و این موضوع باعث افزایش کاربرد این ماده در ساخت وساز شده است. یکی از رایج ترین آنها می توان به کفپوش های اپوکسی اشاره کرد. این کفپوش ها عایق های مناسبی به حساب می آیند، در برابر خوردگی مقاوم هستند و تنوع رنگ زیادی دارند. برای دریافت اطلاعات بیشتر در مورد کفپوش های اپوکسی می توانید مقاله انواع کفپوش پارکینگ را مطالعه کنید.



کفپوش اپوکسی میتواند جایگزین مناسبی برای استفاده از سرامیک در کف خانه باشد. همچنین این ماده در راه پله‌ها، کف پارکینگ‌ها و فرودگاه‌ها و بازسازی ستون‌ها و راهروها استفاده می‌شود.

#### کاربرد اپوکسی در صنعت کشتی‌رانی و قایق‌سازی

اپوکسی در پیشرفت صنعت کشتی‌رانی نقش قابل توجهی دارد. این ماده به‌علت خواص مکانیکی‌اش، مانند میزان قدرت و وزن، گزینه بسیار مناسبی برای ساخت کشتی به‌حساب می‌آید. نکته دیگر در مورد کاربرد اپوکسی در این زمینه این است که نسبت به مواد دیگر مانند پلی‌استر، خاصیت چسبندگی بهتری دارد و با استفاده از آن می‌توان شکاف و درزهای متفاوت را پر کرد. استفاده از اپوکسی در ساخت و مونتاژ قایق‌ها هم دیده می‌شود. البته به‌علت نور مستقیم خورشید و وجود اشعه فرابنفش از آن در لایه بیرونی بدنه قایق استفاده نمی‌کنند، اما با ایجاد یک لایه پوشش دهنده بر روی اپوکسی می‌توان آن را به‌راحتی در برابر اشعه‌های مضر حفظ کرد.

#### کاربرد اپوکسی در صنعت هوافضا

طراحان هواپیما با کمی تغییر در ساختار اپوکسی خالص، بهره‌زبادی از این ماده بردند. اولین بار طراحان هواپیماهای کوچک و بدون موتور بودند که از اپوکسی مبنی بر کامپوزیت در ساخت هواپیما استفاده کردند. این هواپیماها امروزه به‌عنوان بهترین هواپیماهای نظامی شناخته می‌شوند.

استفاده از اپوکسی مبنی بر کامپوزیت در ساخت و طراحی هواپیما باعث کاهش سوخت مصرفی هواپیما، کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید و کاهش وزن هواپیما می‌شود.

#### کاربرد رزین اپوکسی در صنعت الکترونیک

رزین‌های اپوکسی، عایق‌های فوق‌العاده‌ای برای محافظت در برابر گرد و غبار، رطوبت، گرما و جریان الکتریکی به‌حساب می‌آیند. از این رو کاربردهای زیادی در مدارهای الکترونیکی، ترانزیستورها، مدارهای هیبریدی و ساخت مدارهای چاپی دارند. این ماده در ساخت قطعات الکترونیکی عایق مناسبی است به‌طوری‌که قابلیت کاهش ولتاژ از ۴۰۰ کیلو ولت به یک کیلو ولت را دارد. در نتیجه برای محافظت یا پوشش محیط یا دستگاه‌هایی که در جریان الکتریکی قرار دارند گزینه مناسبی است.

#### کاربرد اپوکسی در فضای داخلی خانه

سال‌های زیادی است که از اپوکسی به‌عنوان کفپوش استفاده می‌شود، اما امروزه این کفپوش‌ها به مراحل بالاتر و مدرن‌تری رسیده‌اند. به‌طوری‌که طراحان بسیاری با استفاده از اپوکسی طرح‌های ۳ بعدی و جذاب در کف خانه‌ها ایجاد کرده‌اند که حس زندگی را در فضا ایجاد می‌کند. مقاله “کفپوش اپوکسی، معجزه زیبایی در ساختمان” را مطالعه کنید تا تمام اطلاعات مورد نیاز در این زمینه را دریافت کنید.



همینطور از اپوکسی برای ساخت تابلوهای نقاشی یا برخی از لوازم پذیرایی آشپزخانه استفاده می‌شود که ظاهر بسیار زیبایی در خانه و آشپزخانه شما ایجاد می‌کنند.

استفاده از اپوکسی در آثار هنری

از ترکیب اپوکسی با رنگدانه‌های مختلف می‌توان در آثار هنری استفاده کرد. برای مثال، ساخت جواهرات زینتی، تزئینات مختلف، ساخت برجسب، ایجاد کارهای دکوپاژ و ...



کاربرد اپوکسی در صنعت رنگ

یکی از رایج‌ترین مثال‌های رنگ اپوکسی، پوشش‌های سفید رنگی هستند که در بسیاری از کالاهای خانگی مانند اجاق گازها، ظرفشویی و ... دیده می‌شود. رنگ اپوکسی به راحتی با آب تمیز می‌شود و مقاومت بسیار بالایی دارد، به همین دلیل پوشش‌های محافظتی مناسبی برای لوازم مختلف به‌شمار می‌آیند.

بیشترین کاربرد رنگ اپوکسی در زمینه‌های تجاری است. البته تصور نکنید که تنها رنگ به‌دست آمده از آن سفید است، بلکه با اضافه کردن مواد مختلف مانند آلومینوم، چدن یا فلزات دیگر می‌توان رنگ‌های مختلفی از این ماده به‌دست آورد.

کاربرد اپوکسی به‌عنوان چسب

چسب اپوکسی، که به چسب دوقلو معروف است، از دو ماده تشکیل شده که با ترکیب آنها و اعمال ماده نهایی بر روی سطح مورد نظر، فرآیند پخت انجام شده و خاصیت چسبندگی ایجاد می‌شود.

قدرت چسب‌های اپوکسی به‌حدی زیاد است که در برخی مواقع به‌جای پرچ و جوش استفاده می‌شود. این چسب در ساخت دستگاه‌های مختلف صنعتی، پزشکی و ... کاربرد دارد.

ویژگی‌های مفید اپوکسی

احتمالا با خواندن بخش‌های قبلی این مقاله کم و بیش با ویژگی‌های مثبت رزین اپوکسی آشنا شده‌اید. این ماده به‌خاطر ویژگی‌های شیمیایی، مکانیکی و فیزیکی منحصر به‌فردی که دارد خیلی مورد توجه قرار گرفته است. طول عمر بالا، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت شیمیایی بالا، قدرت چسبندگی بالا و خواص الکتریکی مناسب از جمله ویژگی‌هایی هستند که این ماده را از دیگر ماده‌ها متمایز می‌کند. همچنین در ساختار اپوکسی هیچگونه ترکیبات آلی فرار وجود ندارد. این ویژگی باعث می‌شود که اپوکسی بعد از خشک شدن تحت تاثیر هیچگونه اسید، حلال، مواد قلیایی، نمک یا مواد دیگر قرار نگیرد. در نتیجه، این ماده در برابر خوردگی بسیار مقاوم است به‌طوری که از آن می‌توان در مناطق فرآوری شیمیایی بدون بروز هیچگونه مشکل استفاده کرد. به‌طور کلی، اپوکسی یک ماده چسبنده و ترمیم کننده است که اگر به‌صورت هوشمندانه با دیگر مواد ترکیب شود، می‌تواند کاربردهای بسیار مفید و گسترده‌ای داشته باشد. اما مانند خیلی از مواد دیگر، رزین اپوکسی علاوه بر ویژگی‌های مثبت معایبی هم دارد که در ادامه آنها را بررسی می‌کنیم.

#### معایب اپوکسی

##### ایجاد حساسیت

یکی از مهم‌ترین معایب رزین اپوکسی ایجاد حساسیت‌های تنفسی و پوستی برای افرادی است که در معرض مداوم فرآیند پخت آن قرار دارند. در هنگام پخت این ماده، بخارهایی سمی از آن آزاد می‌شود که برای سلامتی انسان ضرر دارند. از این رو همیشه باید فرآیند پخت رزین اپوکسی در فضایی با تهویه مناسب و همراه با ماسک و دستکش انجام شود. جدا از مسئله سمی بودن رزین اپوکسی در هنگام پخت، معایبی هم وجود دارند که مربوط به عملکرد این ماده بعد از سفت شدن هستند.

##### ایجاد ترک و آسیب

اگر می‌خواهید از رزین اپوکسی به‌عنوان پوشش استفاده کنید باید این نکته را در نظر داشته باشید که این ماده با هر ماده یا ساختار دیگر سازگار نیست. برای مثال، رزین اپوکسی را نمی‌توان بر روی چوب استفاده کرد، چون اپوکسی نسبت به چوب انعطاف‌پذیری کمتری دارد.

این موضوع در برخی مواقع باعث ایجاد ترک و آسیب در اپوکسی می‌شود، در نتیجه باید موادی سازگار با اپوکسی را به‌عنوان لایه زیرین آن انتخاب کرد.

##### نیاز به گرما برای عمل‌آوری

یکی دیگر از معایب اپوکسی این است که در محیط‌هایی با دمای کم عملکرد خوبی ندارد. در نتیجه، اگر قصد دارید که از این ماده در خانه خود استفاده کنید، باید تجهیزات گرمایی مناسبی تهیه کنید. همچنین قابلیت اشتعال‌زایی این ماده بسیار بالا است، بنابراین لازم است که در مواقع خطر حتماً از تهویه استفاده کرده و موارد ایمنی را رعایت کنید.

##### خرابی و نحوه ترمیم اپوکسی

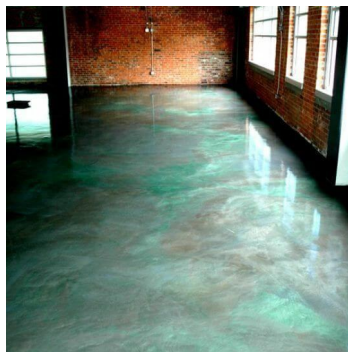
تا اینجا بر روی مقاومت و استحکام بالای اپوکسی تاکید بسیار زیادی داشتیم، در نتیجه ممکن است این سوال برای تان ایجاد شود که آیا اپوکسی هیچوقت خراب نمی‌شود؟ و اگر خراب شود چگونه باید این ماده سخت را ترمیم کرد؟ باید به شما بگوییم که اپوکسی هم مانند خیلی از مواد دیگر در اثر عوامل مختلف دچار خرابی می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل خرابی اپوکسی زیرسازی نامناسب در ابتدای کار است. در صورتی که سطح کار قبل از اعمال اپوکسی دارای آلودگی باشد یا سطح صاف نشده باشد، اپوکسی به‌زودی خراب می‌شود.

البته عوامل دیگری هم در خرابی اپوکسی تاثیرگذار هستند. برای مثال، قبل از اعمال اپوکسی بر روی سطح، حتماً باید سازگاری آن با جنس بستر بررسی شود تا بعدها باعث بروز مشکل نشود.

یکی دیگر از عوامل خرابی اپوکسی، نادیده گرفتن دستورالعمل کارخانه برای میزان اختلاط دو ماده است. برخی افراد به اشتباه فکر می کنند که دو ماده رزین و هاردنر باید به طور مساوی با هم ترکیب شوند، در واقع برای این کار باید طبق دستورالعمل کارخانه عمل کرد. در صورت خرابی رنگ یا کفپوش اپوکسی، می توانید با طی کردن فرآیندی ساده آنها را ترمیم کنید. اما باید در نظر داشته باشید که کار کردن با اپوکسی بسیار خطرناک است، بنابراین باید این کار را به دست افراد متخصص بسپارید. ترمیم اپوکسی، با توجه به نوع خرابی به روش های متفاوت انجام می گیرد و تمام نقاط آسیب دیده اصلاح شده و به حالت اولیه خود برمی گردند. بهتر است که در صورت مشاهده هرگونه اثر ناشی از خرابی اپوکسی، هرچه زودتر برای ترمیم آن اقدام کنید چون این کار باعث جلوگیری از گسترده گی خرابی می شود.

نحوه نگهداری و شستشوی اپوکسی

شما می توانید با رعایت یک سری نکات کلیدی در نگهداری اپوکسی، طول عمر آن را افزایش دهید. اولین نکته برای داشتن سطح اپوکسی سالم، این است که از برخورد آن با هرگونه اشیا نوک تیز جلوگیری کنید. به خاطر داشته باشید که اگر موادی بر روی سطح اپوکسی ریخته شده، حتما به سرعت تمیز شود. اگر این مواد شامل روغن و چربی هستند بهتر است که از شوینده های متفاوت برای پاک کردن آنها استفاده کنید.



سطح اپوکسی، به خصوص سطوحی که بیشتر در معرض گرد و غبار یا باکتری و آلودگی های دیگر هستند، باید به طور مداوم نظافت شوند. نظافت منظم سطح اپوکسی تاثیر مستقیم بر طول عمر آن دارد، چراکه آلودگی ها باعث سایش و خوردگی سطح اپوکسی می شوند. یکی از کاربردی ترین ابزارها برای شستشوی سطح اپوکسی، واترجت ها هستند. این ابزارهای پرکاربرد با استفاده از فشار متناسب، سطوح اپوکسی را به بهترین نحو ممکن تمیز می کنند، به طوری که هیچ آسیبی به لایه زیرین اپوکسی وارد نمی شود. شما می توانید در مقاله "شستشوی سطوح اپوکسی" در مورد مزایای شستشوی اپوکسی با واترجت و مشخصات این ابزار بیشتر بخوانید.

حذف کامل اپوکسی

اپوکسی به داشتن قدرت چسبندگی بسیار بالا معروف است. از این رو، حذف این ماده بعد از به کارگیری آن در سطوح مختلف کار بسیار دشواری است که تکنیک ها و ابزارهای خاص خودش را نیاز دارد.

برای حذف اپوکسی از سطوح کوچک و کم وسعت روش های متفاوتی وجود دارد. برای مثال با استفاده از مواد شیمیایی مانند تینر می توان اپوکسی را از روی سطح پاک کرد به طوری که سطح زیرین آن دچار آسیب نشود.

یا اینکه می توانید سطح اپوکسی را در معرض حرارت بالای ۲۰۰ درجه قرار دهید تا نرم شود. سپس اپوکسی نرم شده را به راحتی جدا کرده و باقی مواد روی سطح را به کمک یک کاردک قوی تمیز کنید. برای استفاده از این روش باید به خاطر داشته باشید که قبل از ایجاد حرارت، سطح اپوکسی را به استون آغشته کنید.

البته موارد گفته شده در بالا روش‌های سنتی حذف کردن اپوکسی از روی سطح هستند که برای سطوح گسترده کاربرد ندارند.

امروزه، به کمک دستگاهی به نام واترجت، حذف اپوکسی از سطوح بسیار آسان‌تر شده است. واترجت فشار بالا بهترین گزینه برای حذف اپوکسی از سطوح مختلف است که معمولاً برای سطوح مختلف و وسیع مانند پارکینگ‌ها یا کشتی استفاده می‌شود.

این دستگاه، انسان‌ها را از انجام روش‌های قدیمی مانند سمباده کشیدن و... که بسیار زمان‌بر بودند، نجات داده، به طوری که دیگر نیازی نیست نگران آسیب رساندن به سطح زیر اپوکسی باشید. با استفاده از دستگاه واترجت، عملیات حذف اپوکسی در کم‌ترین زمان با نازل‌ترین قیمت انجام می‌شود.

این دستگاه همچنین حجم آلودگی به جا مانده ناشی از حذف اپوکسی را به مقدار چشمگیری کاهش می‌دهد. برای دریافت اطلاعات بیشتر در این مورد مقاله “برداشتن اپوکسی” را از دست ندهید.

#### جایگزین‌های اپوکسی

اپوکسی به دلیل خواصی که دارد گزینه خوبی برای ایجاد عایق به حساب می‌آید. همچنین کاربرد این ماده به عنوان کفپوش خانه بسیار رواج پیدا کرده است.

با توجه به معایبی که برای اپوکسی بیان کردیم، ممکن است که استفاده از این ماده در برخی شرایط مناسب نباشد. حالا سوال اصلی این است که اگر نخواهیم از اپوکسی استفاده کنیم، چه جایگزینی برای آن وجود دارد؟

#### عایق نانو

در خصوص ایجاد عایق، عایق‌های نانو گزینه‌های مناسبی به جای اپوکسی به حساب می‌آیند. این عایق‌ها انعطاف پذیری و مقاومت بالایی دارند و به طور همزمان در برابر رطوبت و حرارت مقاوم هستند. از این نوع عایق‌ها، به دلیل افزایش عمر مصالح ساختمانی استقبال زیادی شده است.

#### کفپوش بتومکس

در زمینه کفپوش هم هیچ جایگزینی بهتر از بتومکس برای کفپوش اپوکسی وجود ندارد. از این نوع کفپوش در سطوح مختلف می‌توان استفاده کرد و مانند اپوکسی، برای کف منازل، پارکینگ‌ها و... کاربرد دارد.

به طور کلی، ویژگی‌های مثبت بتومکس درست مانند اپوکسی بوده و حتی می‌توان گفت که از آن مقاوم‌تر و زیباتر هم هست. سطح این ماده بسیار شفاف و درخشان است که این موضوع جذابیت کفپوش را چند برابر می‌کند. بنابراین، اگر به دنبال یک جایگزین مناسب برای اپوکسی هستید، حتماً بتومکس را در نظر داشته باشید.

#### جمع بندی

در ابتدای این مقاله با چگونگی کشف اپوکسی آشنا شدید و خواندید که چگونه پیر کاستان با انگیزه قوی‌اش از ماده‌ای که اختراع کرده بود دفاع کرد. او با کشف این ماده چسبنده تحول بزرگی در صنعت‌های مختلف به وجود آورد، چون همانطور که گفتیم کاربرد اپوکسی امروزه در تمام زمینه‌ها از رنگ و چسب گرفته تا هوافضا و کشتی‌رانی دیده می‌شود.

واحد آزمایشگاهی و فنی کلینیک بتن ایران: عمر مفید سازه‌های بتن مسلح خصوصاً سازه‌های دریایی و پلها معمولاً توسط خوردگی آرماتور محدود می‌شود. خوردگی آرماتور باعث شکل‌گیری محصولات خوردگی در اطراف آرماتور شده و افزایش حجم این محصولات باعث ایجاد فشار انبساطی در بتن اطراف آرماتور می‌گردد. این فشار انبساطی موجب ترک خوردگی و پوکیدن پوشش بتنی شده و از بین رفتن پوشش بتنی باعث کاهش مقطع بتن، کاهش مقاومت پیوستگی بتن و آرماتور و همچنین قرار گرفتن آرماتور در معرض عوامل جوی می‌شود. بنابراین با متلاشی شدن پوشش بتنی، مقاومت پیوستگی به شدت کاهش یافته و خوردگی افزایش می‌یابد و عملاً عمر مفید سازه پایان می‌یابد. 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 می‌شود. جزئیات

در مشخصات میلگردها باید به دقت کنترل شود تا عرض ترک ها از مقادیر بحرانی تجاوز نکنند. ترک ها تا حدودی مشکل ساز هستند که :

۱- از لحاظ زیبایی غیر قابل قبول باشند.

۲- سبب خروج سازه از حالت آب بندی شوند.

۳- بر دوام سازه اثر بگذارند.

۴- از لحاظ سازه ای اهمیت داشته باشند.

به طور کلی، ترک ها در بتن علل زیادی دارند. ترک ها ممکن است فقط ظاهری باشند یا نشانه ای از یک تنش سازه ای مهم و یا فقدان مقاومت و دوام سازه. ترک ها ممکن است وسعت خرابی رانشان دهند یا نشانه حجم بیشتری از مشکلات باشند. اهمیت آنها بستگی به نوع سازه و نوع ترک خوردگی دارد. انواع ترک هایی که برای سازه های ساختمانی قابل قبول می باشند ممکن است برای سازه های دیوار حائل آبی قابل قبول نباشند. تعمیر مناسب ترک ها بستگی به دانستن علت ترک ها و انتخاب مراحل تعمیر متناسب با این علت ها دارد و گرنه ترک ها ممکن است موقت و زودگذر باشند. ترک ها ممکن است در بتن نرم و خمیری روی دهد و یا در بتن سخت. ترک های بتن نرم به دلیل افت بتن و ترک های ناشی از نشست رخ می دهد و بعد از سخت شدن ترک های جمع شدگی بتن خشک روی می دهد. در انتخاب روش تعمیر ترک علاوه بر توجه به علت و وسعت ترک برداری، باید به وضعیت فعلی ترک ها هم توجه کرد. در غیر این صورت چه بسا روش تعمیری نامناسب و در نتیجه نامؤثر انتخاب شود. انتخاب روش تعمیر نه تنها از علت و وسعت ترک، بلکه از محل و شرایط محیطی حضور ترک نیز تاثیر می پذیرد. به عنوان مثال رفع معایب در شرایط خشکی - تری، صنعتی و دریایی به مصالح و روش هایی کاملاً متفاوت با آنها نیاز دارد که در تعمیر، زیبایی ظاهری به کار می آیند. همچنین شیوه هایی که متکی بر روش ثقیلی هستند اغلب در سطوح افقی موفقیت آمیزند ولی به ندرت در سطوح عمودی کارساز و موفق خواهند بود. باید به امکان وجود رطوبت، آب یا مواد آلوده کننده در درون ترک توجه داشت معمولاً روش های تعمیر ترک باعث ناپدید شدن ترک ها نمی شوند و در جایی که زیبایی اهمیت دارد، ظاهر قابل رویت بخش تعمیر شده بایستی ارزیابی شود. استفاده از اندودهای مناسب برای تمام سطح بعد از تمام شدن تعمیر معمولاً ظاهر قابل رویت را مناسب خواهد کرد.

از جمله عواملی که موجب خوردگی بتن و فرسودگی و تخریب سازه های بتنی می شود، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

#### نفوذ نمکها (INGRESS OF SALTS)

نمکهای ته نشین شده که حاصل تبخیر و یا جریان آبهای دارای املاح می باشند و همچنین نمکهایی که توسط باد در خلل و فرج و ترکها جمع می شوند، هنگام کریستالیزه شدن می توانند فشار مخربی به سازه ها وارد کنند که این عمل علاوه بر تسریع و تشدید زنگ زدگی و خوردگی آرماتورها به واسطه وجود نمکهاست. تر و خشک شدن متناوب نیز می تواند تمرکز نمکها را شدت بخشد زیرا آب دارای املاح، پس از تبخیر، املاح خود را به جا می گذارد.

#### اشتباهات طراحی (SPECIFICATION ERRORS)

به کارگیری استانداردهای نامناسب و مشخصات فنی غلط در رابطه با انتخاب مواد، روشهای اجرایی و عملکرد خود سازه، می تواند به خرابی بتن منجر شود. به عنوان مثال استفاده از استانداردهای اروپایی و آمریکایی جهت اجرای پروژه هایی در مناطق خلیج فارس، جایی که آب و هوا و مواد و مصالح ساختمانی و مهارت افراد متفاوت با همه این عوامل در شمال اروپا و آمریکاست، باعث می شود تا دوام و پایداری سازه های بتنی در مناطق یاد شده کاهش یافته و در بهره برداری از سازه نیز با مسائل بسیار جدی مواجه گردیم.

#### اشتباهات اجرایی (CONSTRUCTION ERRORS)



کم کاریها، اشتباهات و نقصهایی که به هنگام اجرای پروژه ها رخ می دهد، ممکن است باعث گردد تا آسیبهایی چون پدیده لانه زنبوری، حفره های آب انداختگی، جداسدگی، ترکهای جمع شدگی، فضاهای خالی اضافی یا بتن آلوده شده، به وجود آید که همگی آنها به مشکلات جدی می انجامند.

این گونه نقصها و اشکالات را می توان زاییده کارآئی، درجه فشردگی، سیستم عمل آوری، آب مخلوط آلوده، سنگدانه های آلوده و استفاده غلط از افزودنیها به صورت فردی و یا گروهی دانست.

#### حملات کلریدی (CHLORIDE ATTACK)

وجود کلرید آزاد در بتن می تواند به لایه حفاظتی غیر فعالی که در اطراف آرماتورها قرار دارد، آسیب وارد نموده و آن را از بین ببرد. خوردگی کلریدی آرماتورهایی که درون بتن قرار دارند، یک عمل الکتروشیمیایی است که بنا به خاصیتش، جهت انجام این فرآیند، غلظت مورد نیاز یون کلرید، نواحی آندی و کاتدی، وجود الکترولیت و رسیدن اکسیژن به مناطق کاتدی در سل (CELL) خوردگی را فراهم می کند. گفته می شود که خوردگی کلریدی وقتی حاصل می شود که مقدار کلرید موجود در بتن بیش از  $0/6$  کیلوگرم در هر متر مکعب بتن باشد. ولی این مقدار به کیفیت بتن نیز بستگی دارد.

خوردگی آبله رویی حاصل از کلرید می تواند موضعی و عمیق باشد که این عمل در صورت وجود یک سطح بسیار کوچک آندی و یک سطح بسیار وسیع کاتدی به وقوع می پیوندد که خوردگی آن نیز با شدت بسیار صورت می گیرد. از جمله مشخصات (FEATURES) خوردگی کلریدی، می توان موارد زیر را نام برد:

الف- هنگامی که کلرید در مراحل میانی ترکیبات (عمل و عکس العمل) شیمیایی مورد استفاده قرار گرفته ولی در انتها کلرید مصرف نشده باشد.

ب- هنگامی که تشکیل همزمان اسید هیدروکلریک، درجه PH مناطق خورده شده را پایین بیاورد. وجود کلریدها هم می تواند به علت استفاده از افزودنیهای کلرید باشد و هم می تواند ناشی از نفوذیابی کلرید از هوای اطراف باشد.

فرض بر این است که مقدار نفوذ یونهای کلریدی تابعیت از قانون نفوذ FICK دارد. ولی علاوه بر انتشار (DIFFUSION) به نفوذ (PENETRATION) کلرید احتمال دارد به خاطر مکش موئینه (CAPILLARY SUCTION) نیز انجام پذیرد.

#### ۵- حملات سولفاتی (SULPHATE ATTACK)

محلول نمکهای سولفاتی از قبیل سولفاتهای سدیم و منیزیم به دو طریق می توانند بتن را مورد حمله و تخریب قرار دهند. در طریق اول یون سولفات ممکن است آلومینات سیمان را مورد حمله قرار داده و ضمن ترکیب، نمکهای دوتایی از قبیل: THAUMASITE و ETTRINGITE تولید نماید که در آب محلول می باشند. وجود این گونه نمکها در حضور هیدروکسید کلسیم، طبیعت کلوئیدی (COLLOIDAL) داشته که می تواند منبسط شده و با ازدیاد حجم، تخریب بتن را باعث گردد. طریق دومی که محلولهای سولفاتی قادر به آسیب رسانی به بتن هستند عبارتست از: تبدیل هیدروکسید کلسیم به نمکهای محلول در آب مانند گچ (GYPSUM) و میرابلیت MIRABILITE که باعث تجزیه و نرم شدن سطوح بتن می شود و عمل LEACHING یا خلل و فرج دار شدن بتن به واسطه یک مایع حلال، به وقوع می پیوندد.

#### حریق (FIRE)

سه عامل اصلی وجود دارد که می توانند مقاومت بتن را در مقابل حرارت بالا تعیین کنند. این عوامل عبارتند از:

الف- توانایی بتن در مقابله با گرما و همچنین عمل آب بندی، بدون اینکه ترک، ریختگی و نزول مقاومت حاصل گردد.

#### ب- رسانایی بتن (CONDUCTIVITY)

#### ج- ظرفیت گرمایی بتن (HEAT CAPACITY)

باید توجه داشت دو مکانیزم کاملاً متضاد انبساط (EXPANSION) و جمع شدگی مسوول خرابی بتن در مقابل حرارت می باشند. در حالی که سیمان خالص به محض قرار گرفتن در مجاورت حرارتهای بالا، انبساط حجم پیدا می کند، بتن در همین شرایط یعنی در معرض حرارتهای (دمای) بالا، تمایل به جمع شدگی و انقباض نشان می دهد. چون حرارت باعث از دست

دادن آب بتن می گردد، نهایتاً اینکه مقدار انقباض در نتیجه عمل خشک شدن از مقدار انبساط فراتر رفته و باعث می شود جمع شدگی حاصل شود و به دنبال آن ترک خوردگی و ریختگی بتن به وجود می آید. به علاوه در درجه حرارت ۴۰۰ درجه سانتی گراد، هیدروکسید کلسیم آزاد بتن که در سیمان پر تلند هیدراته شده موجود است، آب خود را از دست داده و تشکیل اکسید کلسیم می دهد. سپس خنک شدن مجدد و در معرض رطوبت قرار گرفتن باعث می شود، تا از نو عمل هیدراته شدن حاصل شود که این عمل به علت انبساط حجمی موجب بروز تنشهای مخرب می گردد. همچنین انبساط و انقباض نا هماهنگ و متمایز (DIFFERENTIAL EXPANSION AND CONTRACTION) مواد تشکیل دهنده بتن مسلح مانند آرماتور، شن، ماسه و ... می توانند در ازدیاد تنشهای تخریبی نقش موثری داشته باشند.

#### عمل یخ زدگی (FROST ACTION)

برای بتنهای خیس، عمل یخ زدگی یک عامل تخریب می باشد، چون آب به هنگام یخ زدن ازدیاد حجم پیدا کرده و باعث تولید تنشهای مخرب درونی شده و لذا بتن ترک می خورد. ترکها و درزهائی که نتیجه یخ زدگی و ذوب متناوب می باشند، باعث می گردند سطح بتن به صورت پولکی درآمده و بر اثر فرسایش، خرابی عمق بیشتری یابد بنابراین عمل یخ زدگی بتن و میزان تخریب حاصله، بستگی به درجه تخلخل و نفوذپذیری بتن دارد که این موضوع علاوه بر تاثیر ترکها و درزهاست.

#### نمکهای ذوب یخ (DE-ICING SALTS)

اگر برای ذوب نمودن یخ بتن، از نمکهای ذوب یخ استفاده شود، علاوه بر خرابیهای حاصله از یخ زدگی، ممکن است همین نمکها نیز باعث خرابی سطحی بتن گردند. چون باور آن است که خرابیهای حاصل از نمکهای ذوب یخ، در نتیجه یک عمل فیزیکی به وقوع می پیوندد، غلظت نمکها، موجود بودن آبی که قابلیت یخ زدگی داشته باشد و در کل فشارهای هیدرولیکی و غشایی (OSMOTIC) نقش بسیار مهمی در دامنه و وسعت خرابیها ایفا می کنند.

#### عکس العمل قلیایی سنگدانه ها (ALKALI-AGGREGATE REACTION)

در این قسمت می توان از واکنشهای "قلیایی-سیلیکا" و "قلیایی-کربناتها" نام برد. عکس العمل قلیایی - سیلیکا (ALKALI-SILICA) عبارتست از: ژلی که از عکس العمل بین هیدروکسید پتاسیم و سیلیکای واکنش پذیر موجود در سنگدانه حاصل می شود. بر اثر جذب آب، این ژل انبساط پیدا کرده و با ایجاد تنشهایی منجر به تشکیل ترکهای درونی در بتن می شود. واکنش قلیایی - کربنات، بین قلیاهای موجود در سیمان و گروه مشخصی از سنگهای آهکی (DOLOMITIC) که در شرایط مرطوب قرار می گیرند، به وقوع می پیوندد. در اینجا نیز انبساط حاصله باعث می شود تا ترکهایی ایجاد شود یا در مقاطع باریک خمیدگیهایی به وجود آید.

#### کربناسیون (CARBONATION)

گاه لایه حفاظتی که در مجاورت آرماتور داخل بتن موجود است، در صورت کاهش PH بتن اطراف، به کلی آسیب دیده و از بین می رود. بنابراین نفوذ دی اکسید کربن از هوا، عکس العملی را با بتن آکالین ایجاد می نماید که حاصل آن کربنات خواهد بود و در نتیجه درجه PH بتن کاهش می یابد. همچنان که این عمل از سطح بتن شروع شده و به داخل بتن پیشروی می نماید؛ آرماتور بتن تحت تاثیر این عمل دچار خوردگی می گردد. علاوه بر خوردگی، دی اکسید کربن و بعضی اسیدهای موجود در آب دریا می توانند هیدروکسید کلسیم را در خود حل کرده و باعث فرسایش سطح بتن گردند.

#### علل دیگر (OTHER CAUSES)

علل بسیار دیگری نیز باعث آسیب دیدگی و خرابی بتن می شوند که در سالهای اخیر شناسایی شده اند. بعضی از این عوامل دارای مشخصات خاصی بوده و کاربرد بسیار موضعی دارند. مانند تاثیر مخرب چربیها بر کف بتن کشتار گاهها، مواد اولیه در کارخانه ها و کارگاههای تولیدی، آسیب حاصله از عوارض مخرب فاضلابها و مورد استفاده قرار دادن سازه هایی که برای منظورها و مقاصد دیگری ساخته شده باشند، نه آنچه که مورد بهره برداری است. مانند تبدیل ساختمان معمولی به سردخانه، محل شستشو، انباری، آشپزخانه، کتابخانه و غیره. با این همه اکثر آنها را می توان در گروههای ذیل طبقه بندی نمود:

الف- ضربات و بارهه‌های وارده (ناگهانی و غیره) در صورتی که موقع طراحی سازه برای این گونه بارگذاریها پیش بینیهای لازم صورت نگرفته باشد.

ب- اثرات جوی و محیطی

پ- اثرات نامطلوب مواد شیمیایی مخرب

ترک های سازه ای و معایب آن

در این اسلاید به بررسی انواع ترک در سازه های بتنی، آجری و ترک در جوش سازه های فولادی پرداخته می شود. ترک می تواند در اثر عوامل مختلفی از جمله زوال بتن یا خوردگی در اثر ساخت نادرست یا انتخاب نامناسب مصالح اصلی، اثر دما و جمع شدگی، نشست تکیه گاهی، حوادث طبیعی و ... باشد.

ترک های سازه ای در عضوهای مثل تیر، ستون و دال دیده می شود. ترک های موجی در تیر ها در نقاط با ممان ماکزیمم رخ می دهد که توانایی مقطع در تحمل ممان پایین است و آرماتورگذاری کافی وجود ندارد.

انواع ترک ها:

۱- ترک خمشی : هنگامی رخ می دهد که مقاومت خمشی مقطع پایین بوده و تار کششی بیشترین عرض را داشته و به سمت تارهای دیگر همگرا شده و می تواند به تنهایی یا گروهی اتفاق بیفتد. این ترک در سلامت سازه تاثیر گذاشته و سریعاً باید بررسی شود.

۲- ترک برشی : زمانی رخ می دهد که مقاومت برشی مقطع پایین بوده و در ناحیه با برش ماکزیمم که بیشترین عرض در میانه عمق وجود دارد، رخ می دهد و به سمت بالا و پایین گسترش یافته و به تنهایی یا گروهی اتفاق افتاده و تاثیر زیادی در سلامتی سازه داشته و باید رسیدگی شود.

۳- ترک پیچشی : در مقطع با مقاومت پیچشی پایین که عرض یکنواختی دارد اتفاق افتاده و در فرم مارپیچ و به تنهایی رخ می دهد.

۴- ترک های مربوط به لغزش اتصالات میلگردها : به دلیل انقطاع سریع میلگردها زمانی که مرز کافی در اتصالات وجود ندارد، اتفاق می افتد.

۵- گسترش ترک در طول تیر : به دلیل نبود تکنیک کافی حین ساخت و مشکل در قالب بندی اتفاق می افتد.

۶- ترک کششی : به دلیل نبود آرماتوربندی کافی در مقطع تحت کشش و پایین بودن کیفیت بتن اتفاق می افتد.

۷- ترک ستون : ترک های افقی به دلیل خوردگی آرماتورها و عدم طراحی مقطع ستون برای خمش اتفاق می افتد. ترک های اریب به دلیل در نظر نگرفتن نیروهای جانبی و پایین بودن مقاومت در تحمل بار محوری بوجود می آیند.

۸- ترک های خوردگی : به دلیل خوردگی آرماتورها ، عدم پوشش کافی و کیفیت پایین بتن اتفاق می افتد.

۹- ترک های خمشی در دال : به دلیل نقص در طراحی تحت بارگذاری، اضافه بار در مقطع و کیفیت پایین بتن اتفاق می افتد. ترک های بالای خمشی در دال : به دلیل توزیع ناکافی میلگردها و عدم امتداد کامل میلگرد اصلی اتفاق می افتد.

۱۱- ترک های جمع شدگی در دال طره ای : به دلیل نسبت آب به سیمان بالا در بتن ، عمل آوری نامناسب و عدم مهار در گوشه ها اتفاق می افتد.

تست دوره ای ترک ها در بتن

ترک در اثر نشست پی

اصولاً تعمیر صحیح ترک ها به دانستن علت وقوع و همچنین انتخاب روش درخور آن بستگی دارد، در غیر اینصورت تعمیرات ممکن است بصورت موقت باشند. لذا برای یک تعمیر موفق و همیشگی بایستی از عدم پیشروی علل ترک خوردگی کسب اطمینان نمود چراکه ممکن است پس از تعمیری بدون اعمال اصلاحات لازم مجدداً عضو در ناحیه های دیگری از بتن دچار

ترک خوردگی شود. بنابراین رفع علل ترک خوردگی برای مواجه نشدن با ترمیم موقت الزامی است. برخی روش های رایج که برای تعمیر و اصلاح ترک ها در اعضاء بتنی بکار گرفته می شوند عبارتند از :

تزریق رزین اپوکسی.

مسیر یابی و آب بندی ترک.

بخیه زدن.

افزدون میلگرد محاسباتی.

حفاری و اتصال.

خورانش ثقلی.

پر کردن با گروت.

حفاری یا تخریب بتن در حال از بین رفتن آماده سازی سطح بتن با مواد جدید، آماده سازی و ترمیم میلگردها، روش هایی برای مواد ترمیم مهار کننده بتن های موجود و روش های متفاوت که برای جایدهی مواد ترمیمی موجود است. مراقبت در حین عملیات برداشتن و مراحل آماده سازی در پروژه ترمیم می تواند صرفنظر از مواد یا روش های تخصصی که مورد استفاده قرار می گیرند، مهمترین عامل در تعیین طول عمر ترمیم باشد.

لازم است که توجه ویژه به برداشتن بتن از اطراف محل های تحت تنش (میلگردهای پیش تنیده)، چه به صورت چسبیده و چه نچسبیده، بشود. استفاده از ابزار با قدرت ضربه بدن از قبیل چکش های بادی، باید بدون برخورد با میلگردها باشد، زیرا این عمل ظرفیت باربری میلگردها را کاهش می دهد و ممکن است باعث پارگی سیم ها و در نهایت به گسیختگی میلگردها (استرانداها) منجر شود.

### برداشتن بتن

پروژه ترمیم معمولاً با برداشتن خرابی ها، آسیب خوردگی ها با بتن های معیوب همراه است. (جهت اطلاعات بیشتر با واحد فنی کلینیک بتن ایران تماس حاصل فرمایید) در پروژه های مهم ترمیم بتن، ناحیه های آسیب دیده به خوبی تعریف یا مشخص نشده اند. بیشتر مراجع معتقدند که همه مواد خراب شده و آسیب دیده باید برداشته شود. اما به سادگی نمی توان تشخیص داد که همه مواد آسیب دیده برداشته شود یا نه و یا بخشی از مواد غیر آسیب دیده هم برداشته شده است. توصیه کلی این است که برداشتن بتن نمایان تا آنسوی ناحیه لایه لایه شده تعریف شود. در اینجا باید بتن آن طرف نقاط میلگرد فولادی زنگ زده و خورده شده و یا در معرض خوردگی نیز برداشته شود. برداشتن مواد با ابزارهای ضربه ای ممکن است منجر به ترکهای آسیب رسان در مقیاس کوچک (به دلیل ضربه دیدن) در سطح لایه بتن در محل شود، مگر اینکه این لامپ آسیب دیده برداشته شود. منشاء بخش های سست شده ممکن است در پایین بتن ترمیم و خط چسبیدگی باشد. این شرایط می تواند به کاهش مقاومت کششی (چسبندگی) میان بتن اصلی و مواد ترمیمی منجر شود. بنابراین مواد جایگزین قابل قبول و بدون عیب ممکن است به دلیل اجرای سطح نامطلوب مردود شود و عملکرد مناسبی نداشته باشد. تمامی آسیب دیدگی ها و خرابی های بتن، شامل ساییدگی های بتن اصلی در محل ترمیم باید قبل از اجرای مواد ترمیمی برداشته شود. بنابراین مواد جایگزین قابل قبول و بدون عیب ممکن است به دلیل اجرای سطح نامطلوب مردود شود و عملکرد مناسبی نداشته باشد. تمامی آسیب دیدگی ها و خرابی های بتن، شامل ساییدگی های بتن اصلی در محل ترمیم باید قبل از اجرای مواد ترمیمی برداشته شود. این ممکن است یک نوع برداشتن موثر، ضخیم و یا برداشتن سطحی باشد.

در همه حالت ها برداشتن بتن در سازه در مرحله اول با منفجر کردن یا روش های موثر ضربه ای برداشته می شود. لایه بتن در محل باید با روش دیگری مانند تراشه، انفجار سطحی یا واتر جت آماده شود. در واقع به برداشتن باقی مانده آسیب دیدگی های سطح مواد اقدام می شود. بازرسی های دقیق ظاهر برای آماده شدن سطوح، باید قبل از اجرای مواد ترمیمی صورت پذیرد. این نکته بسیار مهم است که مرطوب بودن سطح به شناسایی ترکها کمک می کند. تعیین مقاومت کششی ACI

503R با آزمایش بیرون کشیدن روی سطوح آماده شده برای تعیین مطلوب بودن سطوح برای مواد ترمیمی، توصیه می شود.

محدودیت نواحی برای برداشتن سطوح بتنی در دالها، دیوارها یا ستونها نیاز به اړه کردن اطراف ناحیه برداشته شده دارد. آماده کردن ضخامت حداقل و کافی برای جایدهی مواد ترمیمی در لبه های ناحیه ترمیم شده باعث پیشرفت نامشهود ترکهای اولیه می شود. در هر صورت باید به طور کلی از جدا شدن مواد ترمیمی پرهیز کرد (MTOSIVE1020). آماده سازی با بتن پاشی می تواند در این خصوص موثر باشد. ACI 506R استفاده از بتن پاشی در نواحی باریک لبه ها و اطراف وصله شدگی را توصیه می کند. نکته دیگری که باید مد نظر قرار گیرد این است که شکل کلی نواحی ترمیم باید متقارن باشد ICR 03730 و از گوشه های مقعر پرهیز شود. همچنین از رواداریهای زیاد، در برداشتن ضخامت مخصوصا در فواصل نزدیک به هم، پرهیز شود. در ضمن بافت سطح آماده شده باید برای مواد پیشنهادی مناسب باشد. هر احتیاطی برای عدم برش میلگردهای سطحی ضروری است. مرور و بازنگری نقشه های طراحی و استفاده از پوشش سنج ها یا ابزار مشابه (تست های غیر مخرب بتن، اسکن آرماتور و در صورت نیاز به عمق ترک ها استفاده از تست و آزمایش التراسونیک بتن پیشنهاد می گردد)، تهیه اطلاعات در خصوص محل و عمق میلگردها ضروری است. علاوه بر این برداشتن سطح کوچکی از بتن برای تایید محل و عمق میلگردها، قبل از کندن و برش بتن، ضروری است.

برداشتن بتن آسیب دیده طبق شرایطی که مشخص شده اند، باید صورت گیرد. البته باید توجه داشت که بخشی از بتن های سالم نیز، به هر حال ممکن است برای اطمینان از اینکه مواد ناسالم کاملاً برداشته شده اند، مجاز به برداشتن باشند. روش های برداشتن بتن برای خرابی ها و بتن سالم متفاوت است. برخی روش های تخصصی ممکن است تاثیر بیشتری در بتن های سالم داشته باشد، در حالی که دیگر روش ها برای بتن های آسیب دیده بهتر باشد. انتخاب روش های تخصصی برداشتن بتن باید موثر، ایمن، اقتصادی، و دوستدار محیط زیست باشد و کمترین آسیب را به لایه بتن برساند. روش های تخصصی برداشتن بتن ممکن است دارای تاثیر فراوانی بر روی مدت زمانی که از سازه نمی توان بهره برداری کرد، داشته باشد. برخی روش های تخصصی که برای بخش مهمی از کار مجاز هستند امکان بهره برداری از سازه را می دهند. برخی از روش ها نیز به هر حال ممکن است برای همه بخش های سازه مناسب نباشند. به عنوان مثال ترکیب روش های تخصصی برداشتن بتن با سرعت بیشتری امکان برداشتن بتن را مهیا کند و آسیب رسانی ماندگار را به بتن سالم محدود کند. آزمایش های کارگاهی مختلف برای روش های تخصصی برداشتن بتن می تواند منجر به انتخاب بهترین روش شود. به هر حال مشاور باید پاسخگوی طرح ترمیمی باشد و بتن باید برداشته شود. مشاور ممکن است نیاز به آشنایی روش های تخصصی برداشتن باشند، که البته این مسئله ممنوع شده است. خواص مکانیکی بتن و نوع و اندازه سنگدانه های برداشته شده اطلاعات مهمی را ارائه می دهد که این می تواند روش و هزینه برداشتن بتن را تعیین کند. خواص مکانیکی شامل مقاومت های فشاری و کششی است که این اطلاعات همچنین برای مهندس، به دلیل تهیه شرایط سطح و انتخاب مواد ترمیمی، ضروری است.

### بررسی و شمع زدن در طی عملیات برداشتن بتن

ارزیابی و عملیات برداشتن بتن منجر به کاهش آسیب بتنی که باقی مانده است، می شود. اعضای سازه ای ممکن است احتیاج به شمع بندی، برداشتن بارهای اعمال شده یا هر دو مورد، قبل از برداشتن بتن به جهت جلوگیری کردن از تغییر شکل های سازه ای، امکان گسیختگی، کمانش یا افزایش میلگردها داشته باشد. در طول مدت برداشتن بتن باید مراقب و دقت برای جلوگیری از برش و آسیب رسانی و از دست رفتن میلگردهای فولادی، بشود. ممکن است آسیب های پیش بینی نشده در برش ها، ضربه زدن ها با برداشتن بتن اتفاق بیفتد. بررسی دقیق زمان عملیات برداشتن بتن ضروری است. این عمل می تواند به طور کامل با مشاهدات عینی، صوت و استفاده از پوشش سنج یا دیگر مواد صورت گیرد. به هر حال آنها تنها با این روشها شناسایی می شود. دیگر روش های ارزیابی باید به درستی برای شناسایی صحیح حوزه برداشتن بتن به کار رود، بهره گیری از

صوت، معمولاً ترکها یا ضربه های مویی نزدیک به سطح را نشان می دهد. تنها ارزیابی های میکروسکوپی یا آزمون چسبندگی می تواند باعث مشخص شدن آسیب های نزدیک به سطح را مشخص کند. ارزیابی های زیر سطحی (تخمین زیر لایه) می تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص شرایط بتن بدهد. این اطلاعات ممکن است با روشهای زیر، قبل، در حین یا بعد از برداشتن بتن به دست آید. ACI 228.2R

الف) گرفتن مغزه برای ارزیابی عینی، ارزیابی میکروسکوپی، آزمون های مقاومت فشاری و آزمون های مقاومت شکافتی کششی.

ب) آزمون های Pluse-velocity

ج) آزمون های ضربه-اکو

د) آزمون چسبندگی (آزمون ACI 503R, pull off)

ه) پوشش سنجش یا تجهیزات مشابه برای شناسایی میلگردها و تعیین عمق آن در زیر سطح  
و) دمانگاری فرو سرخ

ت) رادار نفوذ کننده کف (GPR) و بسیاری روش های دیگر که در ACI 228.2R آمده است.  
مقدار بتنی که باید برداشته شود

در اغلب پروژه های ترمیم باید همه آسیب ها یا خرابی های بتن برداشته شود. مقدار بتنی که باید برداشته شود ارتباط مستقیمی با زمان مقتضی بین آماده سازی و برداشتن واقعی و تخمینی دارد. برداشتن اضافی بتن معمولاً قابل توجه است. تخمین و ارزیابی نادرست می تواند، وقتی که به طور کامل شرایط بررسی می شود، به حداقل برسد و امکان اجرای کار ترمیم در زمان مشخص بررسی شود. کیفیت بیش از حد، بر پایه مقادیر اندازه گیری شده کارگاهی، باید محاسبه شود. زمانی که شرایط مزیت های کار ترمیم بررسی می شود باید تخمین مقادیر، در خصوص ادامه یافتن خرابی ها، افزایش یابد. زیرا اکثر پروژه های ترمیم بر پایه قیمت واحد است و قبل از اینکه قالب ها نصب شود، نواحی ترمیم به طور دقیق اندازه گیری می شود. این کار، معمولاً باید با هماهنگی مشاور و پیمانکار باشد. معمولاً در تخمین مقادیر افزایش قابل توجهی بین مقادیر ابتدایی و مقادیر واقعی برداشته شده، وجود دارد ICRI 03735 راهنمایی برای روش های اندازه گیری کار ترمیم بتن، ارائه کرده است.

### طبقه بندی روش های برداشتن بتن

روش های برداشتن و کندن می تواند با توجه به راههای عملی بر روی بتن، طبقه بندی شود. این طبقه بندیها شامل انفجار، برش دادن، ضربه زدن، فرزکاری، تخریب بتن با آب، شکافتن و ساییدن است. روشهای تخصصی در بندهای زیر تشریح شده است.

#### روشهای انفجاری

به طور کلی در روش های انفجار گاز مشخص در گمانه ها (سوراخ ها) که به صورت سری حفر شده است آزاد می شود و منجر به ترک و جدا شدن بتن می شود. روش ماده انفجاری بیشترین هزینه را دارد و برداشتن مقادیر زیادی بتن را منجر می شود. برای مثال، بخش اعظمی از بتن حجیم پی (فونداسیون) را می توان نام برد. این روش در برگیرنده حفر سوراخها (گمانه ها) است و با قرار دادن کمی مواد منفجره (معمولاً دینامیت) درون گمانه ها پر می شود. بالشکتهایی درون هر سوراخ به طور کامل یا در حلقه ای با ماسه مرطوب و مواد منفجره با چاشنی الکتریکی منفجره، همراه است. با توزیع یکنواخت بالشکتهای منفجره و چاشنی الکتریکی مواد منفجره، بطور سری با تاخیر معینی، مورد استفاده قرار می گیرد. تخریب مطلوب و کاهش لرزش زمین با در نظر گرفتن زمان صحیح در مراحل کار کنترل می شود. انفجار در بسیاری از پروژه های ترمیم کنترل می شود. انتخاب صحیح وزن خرج، قطر سوراخ (گمانه) و فضاها برای سوراخ برای پروژه ترمیم به مکان سازه، درجه پذیرفتنی لرزش

و آسیب و کمیت و کیفیت بتن برداشتنی بستگی دارد. باید آزمایش های مقتضی انجام شود و از کارکنان با تجربه با توانایی بالا و دارای گواهینامه استفاده شود.

### روش برش بتن

بطور کلی برای برش بتن از اره های مکانیکی با حرارت بالا یا فشار بالای آب استفاده می شود. اندازه بخش هایی که باید برش داده شود با لایه های موجود و تجهیزات حمل مشخص می شود. روش های برش شامل واتر جت فشار بالا، اره ای، سیم الماسی، مکانیکی، حفاری (Drilling)، و حرارتی است.

الف) واتر جت با فشار بالا (بدون سنباده). معمولاً از واتر جت با فشار با فشار ۶۹ تا ۳۱۰ مگاپاسکال استفاده می شود. ب) برش اره ای. اره های الماس یا کاربید در اندازه های مختلف از کوچک (قابل نگهداشتن با دست) و بزرگ (قابلیت برش به عمق بیش از ۱/۳ متر) استفاده می شود.

ج) برش با سیم الماس. برش با سیم الماسی به برشهایی گفته می شود که برآمدگی الماسی دارند. سیم به دور بتن حجیم پیچیده و برش شروع می شود. جدا شدن در دور مستمر و پیوسته با پاور پک صورت می گیرد. این سیستم برای روش برش و کندن های بزرگ یا سازه های بتنی کوچک مزیت است.

د) برش دادن مکانیکی. روش برش دادن مکانیکی با فکهای هیدرولیکی برای برش بتن و فولاد مسلح کننده است. این روش برای دالها، عرشه ها و اعضای بتنی نازک به صورت خودکار است و کاربردهای ویژه ای دارد. محدودیت این روش این است که برش باید از گوشه یا سوراخ های ایجاد شده به وسیله کارگر یا عوامل دیگر، شروع شود.

### روش کوبیدن بتن

روش کوبیدن معمولاً کاربرد بیشتری دارد. این روش با ضربه های متوالی روش سطح بتن با انرژی زیاد و شکستگی های زیاد جسم و خرد شدن بتن همراه است. در این روش در برداشتن بخشی از بتن ترکهایی مویی بر سطح بتن ایجاد می شود. گسترش این ترکهای مویی منجر به ضعیف شدن بتن در زیر خط چسبندگی می شود. کمیت های تخصصی نتوانستند راهنمایی برای جلوگیری از آسیب های ناشی از روش های کوبیدن ارائه دهند. به هر حال برای کاهش ترکهای مویی باید به شاخص هایی مانند وزن و اندازه تجهیزات توجه شود. تعیین مقاومت کششی با آزمون بیرون کشیدن توصیه می شود تا قابلیت مناسب سطح با مواد ترمیمی تعیین شود. به علاوه بعد از روش های ثانوی کوبیدن، ماسه پاشی، انفجار ساینده و واتر پلاست، ممکن است ترکهای مویی بیشتر شود.

الف) چکشهای که امکان نگهداشتن با دست را دارند، در اندازه های و ترازهای مختلف انرژی و بازدهی موجود است. این ابزارها بطور کلی با وزن و اندازه های مختلف از ۳/۵ تا ۴۱ کیلوگرمی است. (نکته: چکش های بزرگ، از ۱۴ کیلوگرم به بالا، بیشتر پتانسیل ترک خوردگی مویی را دارد. چکش های کوچکتر که با دست نگه داشته می شوند، از قبیل چکش های ۷ کیلوگرمی و کوچکتر می توانند در بخشی از فرایند برداشتن بتن و برداشتن بتن سالم اطراف یا بتن اطراف میلگردها استفاده شوند. زیرا آنها کوچکاند و موب آسیب دیدگی بتن اطراف نمی شوند. چکش های بزرگتر نیز برای بتن های کف و کامل برداشتن یا تخریب بتن در احجام بزرگ استفاده می شوند. در انتخاب اندازه چکش ها باید دقت شود تا شکستگی و آسیب های ثانویه کمتر باشد و از شکستگی طبقات و عرشه ها جلوگیری شود. تعیین مقاومت کششی گسیختگی با بیرون کشیدن و بر روی سطح آماده شده با چکش های دستی نگه داشته می شوند، تا میزان مناسب بودن سطح برای اجرای مواد ترمیمی مشخص شو.

ب) چکش ها با بازوری نصب شده مشابه چکش هایی است که با دست نگه داشته می شوند، بجز اینکه آنها به صورت مکانیکی عمل می کنند و طبیعتاً بزرگترند.

### روش های فرزکاری بتن

روش های فرزکاری برای برداشتن بتن در سطوح عمودی و افقی است. عمق برداشتن از ۳ تا ۱۰۰ میلیمتر است.

## تیغ زننده، شکافنده بتن

شکافنده ها از ابزارهای برش بتن هستند که به صورت گردشی و یا سه مته چرخشی بر روی سطح بتن کار می کنند.

### آماده سازی سطح

یکی از مهمترین مراحل ترمیم سازه های بتنی، آماده سازی سطح ناحیه ترمیم است. این مرحله شامل برداشتن خرابی ها و برآمدگیهای بتن است. علاوه بر در نظر گرفتن حالت طبیعی یا هزینه مواد ترمیمی MTOSIVE1020 یا MTOFLOW650، تنها ترمیمی مطلوب نامیده می شود که سطح آماده ای، داشته باشد. مطمئناً برای دستیابی به رفتار مورد نظر در سازه، در ترمیم بتن مسلح باید همچنین آماده سازی صحیح میلگردهای فولادی، برای افزایش چسبندگی با بتن جایگزین، نیز مد نظر قرار گیرد.

آماده سازی سطح برای اجرای مصالح و مواد ترمیمی گام نهایی است. یک آماده سازی مناسب سطح بتن به عملیات پیشگیرانه برای برداشتن بتن و اجرای انواع ترمیم بستگی دارد.

برای مثال برخی روش های برداشتن بتن سطح بتن را بیش از حد صاف می کند، و یا ناصافی بیش از حد ایجاد می کند. در این حالت، روش های برداشتن یا روش های ویژه ای برای آماده سازی نهایی سطح نیاز است. برخی روش های برداشتن بتن ها آسیب رسان است و باعث ضعیف شدن سطح بتن باقی مانده می شود. البته این مسئله بستگی به چسبندگی سازه ای سطح بعدی ترمیم دارد. برای مثال، ترکهای مویی ناشی از روش کوبیدن می تواند باعث ضعف بتن اصلی پایین تر از خط ترمیم شود. در این حالت ممکن است استفاده از مقدار کمی از روش های مرمت، مانند ماسه با آب، بهتر باشد.

در بسیاری از موارد ترمیم، پیشنهاد شده است که سطحی خشن، ظاهری با ماسه یا شن، برداشتن لایه نازکی از بتن آسیب دیده، یا تمیز کردن سطوح بتنی صورت پذیرد. روش های ارجاع شده ممکن است برای تعداد زیادی از شرایط مختلف سطوح به کار رود، مثلاً پرداخت کاری سطوح متفاوت است و ممکن است سایش ملایمی برای اعمال پوشش مناسب باشد و یا زبری بیشتری برای افزایش مقاومت چسبندگی مورد نیاز در عملکرد سازه ای ترمیم باشد. انتخاب روش مناسب بسیار مهم است، زیرا عملکرد مناسب باعث کاهش هزینه نیز می شود.

روش های آماده سازی سطح

روش های معمول آماده سازی سطح عبارتند از:

الف) تمیز کردن شیمیایی: در اغلب حالت ها، روش های آماده سازی سطوح برای استفاده از مواد ترمیمی بتن که ممکن است از مواد (MTOFLOW650-MTOBOND P 2200-MTOBOND P1800-MTOSIVE1020) باشند در مشخصات فنی محصول روش های ارائه شده در این راهنما مناسب است. با پوشش دادن و ایجاد شرایط معین استفاده از مواد شوینده تری سدیم فسفات و پاک کننده های مخصوص بتن امکانپذیر است. همه اثرات عوامل پاک کننده نیز باید از روی بتن برداشته شود حلالها نباید برای تمیز کردن بتن استفاده شوند، زیرا آنها با مواد آلوده کننده حل می شوند و در عمق بتن نفوذ می کنند. ب) اسیدشویی: جوهر از زمان های قدیم برای از بین بردن حبابهای روی سطح بتن استفاده می شد. اسید به مقدار کافی خمیر سیمان را از بین می برد و سطحی زبر مهیا می کند، که باعث چسبندگی بیشتر می شود. ACI 515.IR توصیه می کند که استفاده از اسید تنها زمانی است که راهکار دیگری برای مهیا کردن سطح وجود ندارد. اما ACI 503R توصیه نمی کند که از اسید استفاده شود. اسیدها ممکن است از محل ترکها به سطوح بتن نفوذ کنند و موجب زنگ زدگی فولاد مسلح کننده در سازه های بتنی شوند. اسیدها موجب ضعف خمیر باقی مانده بر روی سطح بتن می شوند.

ج) آماده سازی مکانیکی: این روش شامل برداشتن مکانیکی لایه نازکی از سطح بتن با استفاده از تجهیزاتی از قبیل ابزارهای ضربه زنی و سمباده زنی است. بهره گیری و انتخاب تجهیزات مورد استفاده به چگونگی مهیا شدن سطوح مختلف بستگی دارد. این روش باید با دقت مورد استفاده قرار گیرند، در غیر این صورت به افزایش ترکهای مویی منجر می شوند.



د) آماده سازی سایشی: این روش برداشتن لایه نازکی از سطح بتن با تجهیزات سایشی از قبیل ماسه پاشی، شات بلاست یا پاشش است. به محض اتمام آماده سازی سطح، همه باقیمانده های این فرآیند باید برداشته شود. این امر ممکن است به آب بیشتری، مکش، و یا روش های دیگری نیاز داشته باشد. ICRI 03732 فهرستی از انواع سیستم ها برای زبری سطح مورد نیاز به منظور اجرای لایه رویی مختلف ارائه می دهد. زبری سطوح معمولاً با سنباده اندازه شن، برای خصوصیات زبری سطوح مختلف، استفاده می شود.

### ترمیم میلگردها

بیشترین عامل و علت متداول آسیب دیدگی میلگردهای فولادی عامل خوردگی است. دیگر عواملی که ممکن است در آسیب به میلگردهای فولادی نقش داشته باشند، آتش، حمله شیمیایی، برش، و قطع شدن آنهاست. در زیر اصول و فرآیند آماده سازی و ترمیم همه حالت ها آورده شده است. بعد از آسیب دیدگی، ارزیابی قسمت بیرونی میلگردها و ارزیابی شرایط و آماده سازی آنها با روش های ترمیم، ضروری است. گامهای صحیح برای اصلاح میلگردها مطابق با الزامات ترمیم، مطمئناً به افزایش عمر روش های ترمیم منجر می شود. روش کم هزینه و دیدگاه کلی (در دوره زمانی کوتاه) برای ترمیم خوردگی میلگردها با جایگزینی بتن تنهادر جاهایی که ورقه ورقه شدن اتفاق افتاده است، صورت می گیرد. بطور کلی، بتن آلوده به کلراید اطراف ناحیه ترمیم، برای ادامه خوردگی بسیار مساعد است. این ترمیم ها ممکن است خوردگی زیادی به وجود آورد. حلقه یا تاثیر آندیک می تواند شناخت خوبی در این خصوص به ما بدهد.

### برداشتن بتن اطراف میلگرد

اولین گام آماده سازی میلگردها یا فولاد پیش تنیده، در ترمیم یا تمیز کردن، برداشتن بتن خراب شده، اطراف میلگردهاست. باید مراقب باشیم که خرابی بیشتری برای میلگردها به وجود نیاید. ضربه کارگرها (چکش ها) می تواند آسیب فرآینی بر میلگردها یا فولادهای پیش تنیده وارد کند. البته اگر کارگرها از وجود میلگردها به درستی آگاه نباشند. به همین منظور پوشش سنج ها (دستگاه میلگرد شناس ها-تست و آزمایش اسکن آرماتور یا بتن)، منطبق با نقشه های سازه ای باید برای تعیین عمق (ضخامت و کاور بتن) مقدار و مکان تقریبی میلگردها در بتن به کار رود. اگر لازم باشد ناحیه بزرگتری از بتن آلوده برداشته شود، برای برداشتن بتن باید از چکش کوچکتری در حول و حوش میلگردها استفاده کرد. باید مراقب بود که برداشتن بتن با لرزاندن میلگردها همراه نباشد، در غیر این صورت باعث آسیب به چسبندگی بتن مجاور ناحیه ترمیم می شود. نقشه ها و مشخصات فنی باید راهنمایی برای شناخت طول و محل اتصالات باشد. برای احتیاط و جلوگیری از آسیب یا قطعه شدن میلگردها در طول عملیات برداشتن بتن باید زبان مشخصی در اسناد وجود داشته باشد. علاوه بر این بدون تأیید و ثبت مشاوره هیچ میلگردی نباید قطع یا برداشته شود مشاوری باید آگاه باشد که میلگردها دچار تنش بعد از ترمیم نشده اند و در اجزای سازه ای قبل از ترمیم بارهای زنده و مرده آن در حین و قبل از ترمیم برداشته شده است. در همه حالتها شمع بندی مورد نیاز باید قبل از برداشتن بتن یا قطع میلگردها، محقق شود. پیمانکار معمولاً مسئولیت شمع بندی را به عهده دارد. اسناد قرارداد باید حاوی اطلاعات دقیق پیمانکار، شامل تأییدیه های پیمانکار مبنی بر اینکه او باید اصول مهاربندی و شمع بندی را به درستی رعایت کند، در برداشته باشد.

الف) مقدار برداشتن. همه ضعف ها، آسیب دیدگی ها و بتن های سست برداشته شده باید تراشیده و دور انداخته شود. اگر میلگردها تنهابعده از برداشتن بتن آلوده در معرض دید باشند، ممکن است احتیاج به برداشتن بیشتر بتن محیطی میلگردها نباشد. وقتی میلگردها حاوی زنگ زدگی، خوردگی یا عدم چسبندگی مناسب با بتن است، برداشتن بتن باید تا رسیدن به محل تمیز (باید به اندازه ۶ میلیمتر به علاوه حداکثر اندازه سنگدانه) پشت میلگردها، برداشته شود. ICRI 03730  
ب) بازرسی از میلگردهای مسلح کننده فولادی. بعد از اینکه خرابی ها و مقداری بتن سالم برداشته شد، میلگردها باید تمیز و به دقت، بازرسی شوند. بازرسی باید برای تعیین اینکه میلگرد قابلیت تامین نظرات طراح را دارد، صورت پذیرد. میلگردهای آسیب دیده با مشورت مشاور، جایگزین یا تکمیل می شوند. مشخصات فنی پروژه باید شامل معیارهای تصمیم گیری در

خصوصاً ترمیم یا جایگزینی میلگردهای خارجی در طول پروژه باشد. این معیارها شامل مقدار طول مهاری، خصوصیات مکانیکی مهاری یا هر دو بر روی نقشه‌های پروژه باشد.

ج) پاک کردن میلگردهای فولادی. تمام سطوح میلگردها که در معرض هوا قرار دارد باید کاملاً از تمام ملاتهای سست، گردوغبار، روغن و دیگر آلودگی‌ها تمیز شود. میزان تمیزی میلگردها به روش‌های ترمیم و مواد انتخاب شده بستگی دارد. برای نواحی محدود، برس و یا ابزار سیمی و یا روش‌های دستی قابل قبول است. بطور کلی برای این کار روش ماسه پاشی ترجیح داده می‌شود. وقتی فولاد تمیز و ذرات سست باد کرده از محل ترمیم دور شد، نباید هیچیک از میلگردها به بتن و روغن کمپرسور هوا آلوده باشد. بعد از تمیز کردن میلگردها باید توجه کرد که بین زمان تمیز کردن و جایدگی بتن زمان زیادی نگذرد که باعث زنگ زدگی فولاد بشود. همچنین اگر زنگ زدگی‌ها محکم به فولاد چسبیده باشد نمی‌توان آن را با برس سیمی برداشت. حتی اگر زنگ زدگی‌ها چسبندگی کمی داشته باشند باز هم می‌توانند از چسبیدن مناسب فولاد و بتن جلوگیری نمایند و لذا باید ابتدا این زنگ زدگی‌ها از بتن برود. میلگردها باید قبل از اجرای مواد ترمیمی به دقت تمیز شوند. لازم است بدانیم که بعد از اتمام تمیز کردن اولیه، پوشش محافظ بر روی میلگردها اجرا می‌شود.

#### ترمیم میلگردها (سطح کننده‌ها)

ترمیم میلگردهای فولادی متوسط و میلگردهای فولادی پیش تنیده مورد استفاده در سازه‌های بتنی، دو فرآیند متفاوت نیاز دارند. این مسئله به شرایط بیرونی میلگردها بستگی دارد.

#### میلگردهای فولادی معمولی

برای میلگردهای فولادی، یک یا دو روش ترمیم ضروری است، جایگزینی میلگردهای آلوده یا جایگزینی بخشی از میلگردها، راهکارهای پیشنهادی است. این جایگزینی مطمئناً وظیفه مشاور بر اساس عملکرد میلگردها و ظرفیت سازه‌ای عضو مسلح شده است. الف) جایگزینی، یک روش جایگزینی قطع ناحیه آسیب دیده و اتصال میلگردهای جایگزین است. طول مهاری باید مطابق ملزومات آئین نامه بتن ایران و یا ACI 318 باشد. اگر اتصال با جوش مورد استفاده قرار گیرد، جوشکاری باید مطابق با AWS 1.4, ACI 318 باشد. از جوش سر به سر باید جلوگیری شود، زیرا پشت میلگردها معمولاً قابل دسترسی نیستند و مهارت بسیار بالایی برای نفوذ جوش مورد نیاز است. اتصال جوش برای میلگردهای بزرگتر از ۲۵ میلیمتر با مشکلاتی همراه است. زیرا گرمای زیاد باعث انبساط و ترک در بتن اطراف می‌شود. وقتی جوشکاری یا پیش تنیدگی نیاز است، احتیاطات ویژه‌ای باید در نظر گرفته شود. اتصالات میلگردهای فولادی با استفاده از مسلح کننده‌های سر به سر صورت می‌پذیرد. روش دیگر برای اتصالات میلگردها، اتصالات مکانیکی است. ACI 349.3R ابزارهای اتصالات مکانیکی اختصاصی موجود را تشریح می‌کند. اتصالات مکانیکی باید با ملزومات ACI 318 منطبق باشد.

ب) میلگردهای تکمیلی (مکمل). این گزینه وقتی انتخاب می‌شود که میلگردها در مقطع کم شده باشد و نیاز به مقاوم سازی باشد. از بین رفتن میلگردهای فولادی موجود در مقطع و تصمیم اضافه کردن میلگردهای تکمیلی باید با ارزیابی بر روی شبکه میلگردها و با مسئولیت مشاور باشد. بتن باید در زمان جایدگی میلگردهای اضافه شده در کنار میلگرد قدیمی کنده نشود. طول میلگردهای مکمل باید معادل طول میلگرد خراب شده باشد. بعلاوه طول مهاری قطر میلگرد کوچکتر مطابق با الزامات آئین نامه بتن ایران و یا ACI 318 باشد. میلگرد مکمل مطابق با AWS 1.4 به میلگرد اصلی جوش داده می‌شود. اگر چسبندگی میلگردها گسیخته باشد، ممکن است در برخی موقعیت‌ها میلگردها با مواد ترمیمی بتن به وسیله مهار مکانیکی، مهار بشوند. این مهارهای مکانیکی در ترمیم سردر و بالای سر ساختمان‌ها مورد توجه است.

ج) پوشش دادن میلگردها. میلگردهای جدید که تمیز شده‌اند ممکن است با پوششی از اپوکسی MTOBOND P1800، دوغاب پلیمری MTOTOP107-سیمانی یا پوشش با روی زیاد (گالوانیزه) برای محافظت در برابر خوردگی پوشش داده شوند. پوشش دادن باید در ضخامت کمتر از ۰/۳ میلیمتر که حداقل چسبندگی در تغییر شکل‌ها را دارد، صورت پذیرد. میلگردهای مسلح کننده‌ای که دارای تیبر شکل‌های اصلی در اثر خوردگی و تمیز کردن هستند، دارای بیشترین کمبود

چسبندی با مواد ترمیمی اند. پوشش دادن این میلگردها کاهش چسبندگی با مواد ترمیمی را دربردارد. باید مراقب بود که در انجام فرآیند پوشش دادن از ریزش بتن اصلی جلوگیری شود. برخی مواد از قبیل چسب پیوندی اپوکسی MTOBOND یا پوشش غلیظ روی، می تواند باعث شکستگی چسبندگی بین مواد ترمیمی جدید و بتن اصلی شود. پوشش دیگر از قبیل پوشش سیمانی- پلیمری (لاتکسدار، لاتکس)، ممکن است حاوی موادی باشد که از خوردگی میلگردهای فولادی جلوگیری کند و عامل چسبندگی بتن بتن های قدیمی و جدید باشد.

### فولاد پیش تنیده

پیش تنیدگی فولاد در اعضای سازه ای بر دو نوع است. چسبیده شده و چسبیده نشده. خراب شدن رشته ها و میلگردها ناشی از ضربه، طراحی اشتباه، بارگذاری بیش از حد، خوردگی، و آتش است. آتش با گرم و سرد کردن باعث مقاومت بالای پیش تنیدگی در فولاد می شود.

انعطاف پذیری در ترمیم روش محدود دیگری است و میلگردهای مسلح کننده فولادی (معمولی)، با رشته های پر مقاومت چسبیده نشده، ممکن است احتیاج به کشش قبل از ترمیم و کشش دوباره بعد از ترمیم به منظور نگهداری- یکپارچگی سازه ای اولیه عضو داشته باشد. گزینه های ترمیم برای رشته های چسبیده شده متفاوت از رشته های چسبیده نشده است. الف) رشته های چسبیده شده. به علت اینکه رشته های پیش تنیده چسبیده هستند، تنها مقطع آسیب دیده در معرض دید آنها تحت تنش مجدد قرار می گیرد. فرآیند ترمیم احتیاج به جایگزینی مقطع آسیب دیده با مقطع جدیدی از رشته های به هم چسبیده به انتهای رشته های آسیب نخورده دارد. رشته ها و طول در معرض دید رشته های موجود باید به صورت جفت مطابق با میزان تنش قبلی، پیش تنیده شده باشند.

ب) رشته های چسبیده نشده. رشته های چسبیده نشده وارد غلاف محاط می شود و در عضو بتنی نصب می گردد. رشته ها به وسیله غلاف و مواد جلوگیری کننده از خوردگی (به ویژه گریس) محافظت می شوند. به علت اینکه رشته ها تا بعد از جایدگی تحت تنش قرار نمی گیرند، فضای حلقه ای تشکیل شده در بین غلاف، در بتن ایجاد تنش می کند. خوردگی در انتهای محل اتصال و رشته های اصلی باعث گسیختگی رشته های چسبیده نشده می شود. گسیختگی رشته ها که ناشی از خوردگی در انتهای مهاربندی هاست، به مرور زمان با مشکلات بیشتری روبرو می شود.

اعضای چسبیده نشده برای بررسی قابلیت تحمل بار طراحی، آزمایش می شون. این مورد می تواند با ایجاد شوک و بلند کردن متصل کننده انتهایی رشته ها، انجام شود. این آزمون معمولاً به ۲۰ میلیمتر رشته آزاد از دیواره داخلی نیاز دارد. اگر خوردگی بیش از حد در رشته ها ایجاد شود، گسیختگی اتفاق می افتد و رشته ها باید جایگزین یا روی هم گذاشته شوند. شمع بندی دهانه ترمیم شده و چندین دهانه کناری قبل از برداشتن یا کشش مجدد رشته های غیر چسبیده پیش تنیده لازم است. ICRI 03736 راهنمایی برای ارزیابی سازه های بتنی پیش تنیده چسبیده نشده، ارائه میدهد.

بخش آسیب دیده رشته ها با کندن بتن و برش دادن غلاف قابل مشاهده است. با این عمل وجه های مختلف خرابی های برداشته شده از رشته ها با مقطع جدیدی که با رشته های موجود همپوشانی دارد، در محل برش ها، جایگزین شوند. رشته های تعمیر شده سپس مجدداً در تنش قرار می گیرند.

برداشتن رشته های چسبیده نشده از غلاف، برخی اوقات با مشکلاتی همراه می شود. این موضوع نیز مشکل است که رشته های جایگزین با قطرهای مشابه نصب شوند. وقتی قصد جایگزین کردن رشته ها مد نظر باشد، ممکن است رشته های با قطر کمتر و با مصالح با مقاومت بالاتر که توانایی تحمل نیروهای تحت تنش مشابه با رشته های اصلی را دارند، ترجیح داده شوند. فیبرهای کربنی یا سیستم های معادل آن برای تکمیل کردن مسلح کننده ها در پیش تنیدگی فولاد مسلح کننده معمولی و پس تنیده به کار می روند. این سیستم ها به طور معمول به سطح خارجی می چسبند، بجز مواردی که اجزای مسلح کننده بارگذاری نشوند. به هر حال این بتن ها راهکاری برای بارگذاریهای آینده است. الیاف های بسته بندی شده معمولاً برای مسلح کردن ستون ها، در نواحی تحت خطر زیاد زلزله، استفاده می شوند.

معمولاً مواد حافظ خشک و رشته های چسبیده نشده محافظت نشده در معرض خوردگی قرار دارند. سیستم‌هایی وجود دارد که مجدداً محافظ و حصاری در غلاف‌بندی‌ها ایجاد می‌کند. یک سیستم محافظ با حباب هوای پر شده با یورتان دو جزئی است. سیستم دیگر پر کردن غلاف با حباب هوا و گریس است. این روش‌ها محافظت مطلوبی در برابر خوردگی رشته‌ها ایجاد می‌کند.

مواد و روش‌های مهاربندی

مهارها اغلب در اتصال با مسلح‌کننده‌های تکمیلی برای جلوگیری از بیرون زدگی از بتن اصلی در زمان گسیختگی در محل چسبندگی، به کار می‌روند. آنها معمولاً در تعمیرات سطح عمودی از قبیل نماها به کار می‌روند. مطمئناً در ترمیم نماها این مهارها از سازه‌ها بیرون نمی‌زنند. مهارهای ضد خوردگی، از قبیل فولاد ضد زنگ، معمولاً برای ترمیم‌های بالای سر (قائم) که ممکن است باعث صدمه در محل و گسیختگی رویه ترمیم شوند و همچنین برای خوردگی در جایی که پوشش کافی مهیاست، در نظر گرفته شوند. دو دسته بندی کلی از سیستم‌های مهار (نصب بعد از اجرای مهارها و سیستم اجرا در محل) در آئین نامه ACR355.1 اشاره شده است.

مقاومت مهار

مقاومت مهار و عملکرد دراز مدت آن به عوامل مختلفی بستگی دارد که برای مهارهای مورد نظر ارزیابی می‌شود. عواملی که در ارزیابی مقاومت مد نظرست عبارتند از قطر سوراخ و جنس مته دریل مورد استفاده، طول مهار، فاصله حلقه‌ای بین مهارها، مقاومت بتن، نوع و جهت اعمال بار (استاتیکی، دینامیکی، شیمیایی)، روانداری سوراخ‌ها، شیوه گسیختگی سیستم مهار (شکست بتن، شکست فولاد، لغزش، بیرون کشیدگی) شرایط محیطی و میزان رطوبت، و مقاومت در برابر خوردگی و خیز است.

آزمایشهای کارگاهی برای ارزیابی عملکرد تعیین‌کننده آنها، باید ثبت شود. برای مهارهای شیمیایی، آزمون‌هایی که ترجیح داده می‌شود، در خصوص تعیین عملکرد خزش در دراز مدت، پیش‌بینی بیشترین بار و حرارت در طول بهره‌برداری، است. برای همه سیستم‌های مهار، نصب ابزار باید مطابق با عملکرد مناسب و صحیح مهارها باشد.

#### جایدهی مواد در روشهای مختلف ترمیم

روش‌های تخصصی فراوانی برای جایدهی مواد ترمیمی وجود دارد که به قیود و محدودیت‌های پروژه بستگی دارد. بعلاوه تجربه قبلی پیمانکار برای موفقیت در اجرا بسیار مهم است. راهنمایی برای انتخاب نحوه روشهای اجرای ترمیم با واحد فنی کلینیک بتن ایران تماس حاصل فرمایید.

#### جایدهی بتن در محل، بتن اصلاح شده و بتن‌ها یا ملاتهای خاص

ترمیم با جایدهی بتن معمولی جایگزینی بتن معیوب با بتن جدید با روش‌های معمول جایدهی انجام می‌شود. این روش در بیشتر مواقع با جایدهی‌های خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد و معمولاً مقرون به صرفه‌تر است.

ترمیم با بتن معمولی در بسیاری از حالت‌ها شامل ترمیم‌خرابی‌های به علت عملکرد ضعیف اجرا است. جایگزینی با بتن معمولی نباید در شرایط محیطی شدید استفاده شود. بجز سیستم محافظتی که می‌تواند باعث خفیف شدن عوامل مخرب شود. برای مثال، اگر سبب خرابی‌ها حمله اسیدها، حمله شدید آب، یعنی هر دو مورد سایدگی و فرسایش باشد، ترمیم با بتن معمولی ممکن است به دلایل مشابهی موجب خرابی شود. بتن یا سیمان پرتلندی اصلاح شده یا میکروسلیس، آکرلیک لاتکس استایرن (ترمیم‌کننده الیاف دار- MTOSIVE1020)، بوتادین، یا چسب‌های اپوکسی MTOBOND 1800 یا ترمیم‌کننده‌های اپوکسی ۳ جزئی مانند MTOFLOW650 افزایش طول عمر بهره‌برداری، می‌شود.

#### بتن پاششی - شات کرایت

بتن پاششی، بتن یا ملاتی است که با نیروی باد از داخل لوله این با سرعت بالا بر روی سطح قرار می‌گیرد. سرعت بالای مواد در برخورد با سطح، تراکم مورد نیاز برای تحکیم مواد و افزایش چسبندگی بالا و پایین را مهیا می‌سازد. فرآیند بتن پاششی

قابلیت جایدگی مواد ترمیمی MTOSIVE1020 در سطوح عمودی و کاربری‌های بالای سر را بدون استفاده از قالب مهیا می‌کند و می‌تواند مصالح را چندین قدم از نقطه تحویل جایدگی نماید. دو روش اصلی مخلوط تر و مخلوط خشک برای بتن پاششی وجود دارد. روش مخلوط تر، مخلوطی از سیمان، سنگدانه، و آب است و با پمپ و لوله مواد را به جلو رانده و بر روی سطح می‌پاشند. در بتن پاششی در روش مخلوط خشک سیمان و سنگدانه از پیش مخلوط می‌شود، سپس آب در محل نازل به مصالح اضافه و با سرعت بسیار بالا بر روی سطح پاشیده می‌شود. برای اجراهای معمولی هر دو روش برای مواد ترمیمی ACI 506R اطلاعات جزئیات هر دو روش و کاربرد صحیح آن را تشریح می‌کند. علاوه بر جایدگی بتن معمولی سیمان پرتلندی و ملات با بتن پاشی، می‌توان از جایدگی بتن سیمان پلیمری، بتن مسلح شده با الیاف فولادی و مصنوعی، و بتن حاوی میکروسیلیس و دیگر پوزولان‌ها استفاده کرد. مواد ترمیمی با فرآیند بتن پاششی می‌تواند در هر کجا که دسترسی به محل کارگاه مشکل است، و یا محدودیت‌های اقتصادی در خصوص قالب داریم و نواحی و بخش‌های بالای سر یا تعمیرات عمودی، صورت گیرد. بتن پاششی به تناوب در تعمیرات بتن یا مصالح شیمیایی خراب شده، روی سازه‌های فرعی پل‌ها، سدها، اسکله‌ها، فاضلاب و دیگر سازه‌ها استفاده می‌شود. همچنین برای سازه‌های مسلح، در پوشش مسلح‌کننده‌های تکمیلی فولادی روی تیرها، روی پوشش بنایی دیوارها، و روی سازه‌های خروجی استفاده می‌شود. کاربری‌های نازل بتن پاششی باید توانایی تعیین کیفیت مصالح ترمیمی در محل را داشته باشد. ACI 506.3R اصول تعیین شایستگی کاربر نازل را تعیین می‌کند. کاربر نازل باید دارای گواهی‌نامه ACI 506.2 برای اجرا و بازرسی بتن پاششی باشد.

#### بتن با سنگدانه های پیش‌انگنه

این نوع بتن به وسیله پر کردن نواحی ترمیمی با درشت دانه‌هایی که دانه بندی نامناسب دارند و سپس پر کردن فضاهای خالی سنگدانه‌ها با پمپ کردن مواد سیمانی یا گروت - MTOFLOW2500 - چسبناک صورت می‌گیرد. این روش برای ترمیم با عمق جزئی یا برای جایگزینی اعضای سالم استفاده می‌شود و باعث کاهش جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن می‌شود، زیرا ذرات سنگدانه قبل و بعد از گروت زدن در تماس با گروت است. به طور کلی، برخی الزامات که برای بتن با سنگدانه‌های پیش‌انگنه در ساخت سازه‌های جدید استفاده می‌شود برای ترمیم نیز استفاده می‌گردد. جزئیات بتن با سنگدانه‌های پیش‌انگنه در ACI 304.1 , ACI304R است.

**قالب بندی و پمپ روشی** برای جایگزینی بتن آسیب دیده با پر کردن فضاهای خالی ایجاد شده است و قالب بندی با ملات ترمیمی یا بتنی تحت فشار پمپ صورت می‌گیرد. این روش امکان استفاده ترمیم در حال عمودی و بالاسری را دارد. قالب بندی باید دارای سازه‌ای با مقاومت کافی برای تحمل فشار اعمال شده باشد، زیرا با فشار هیدروستاتیکی و فشار اضافی پمپ تراکم مواد ترمیمی را بالا می‌برد. فضاهای خالی و طرحی قالب بندی باید به گونه‌ای باشد که روزنه‌هایی برای هوا وجود داشته باشد. پمپ کردن فضاهای خالی در پایین‌ترین نقاط عمودی ترمیم می‌شود. پمپ کردن تا جایی ادامه می‌یابد که مواد از مجاور قالب جاری و تا زمانی که فضاهای خالی کاملاً پر شود. در انتهای کار، مواد ترمیمی در مجاور میلگردهای فولادی متراکم می‌شود و هدایت مواد ترمیمی به داخل شکافها برای بهبود چسبندگی به لایه زیرین صورت می‌پذیرد.

#### ماله کشی و استفاده از بسته های خشک ترمیم

الف) ماله کشی. مواد ترمیمی با ماله کشی دستی می‌تواند برای موارد کم عمق یا نواحی ترمیمی کوچک و محدود، استفاده شود. این ترمیم‌ها با استفاده از ملات ماسه سیمان پرتلندی، محصولات اختصاصی از قبیل مواد بسته بندی شده سیمان، گروت‌های سیمانی، پلیمری، اپوکسی و ملات‌ها باشد. سیستم‌های اجرایی با ماله کشیدن برای مواقعی که میلگردها بیرونی هستند و برش از زیر ناشی از تراکم اطراف مواد ترمیمی و پشت سر میلگردها وجود دارد، توصیه نمی‌شود. خمیر مواد ترمیمی باید با چسبندگی متوسط مورد استفاده قرار گیرد. مواد ترمیمی باید بر روی سطح گروت شده قبل از اینکه گروت یا خمیر بگیرد، اعمال شود. در جایی که چندین لایه (کل ضخامت) احتیاج دارد که ترمیم شود، سطح آن باید برای کمک به چسبندگی لایه‌های زیرین زبر شود، در اکثر موارد، سطوح کرمو شده باید اشباع و در زمان کار خشک باشد.

مالاتهای ترمیمی و بتن‌هایی خاصی که با عوامل شیمیایی اصلاح شده اند، گستره زیادی دارد. روش‌های جدید توصیه شده به وسیله کارخانه تولید کننده نمی‌تواند همواره مورد قبول برای روش‌های جایدهی ملات سیمان پرتلندی و بتن باشد. این مواد برای مقطع نازک در حدود ۳ میلیمتر (MTOSIVE1020-MTOSIVE1010) و کارهای عمودی و کاربردهای بالای سر به کار می‌رود. عناصر شیمیایی و روش‌های جایدهی ممکن است با برخی خصوصیات عملکردی، سازش داشته باشند. به عنوان نمونه برخی از خصوصیات ممکن است تحت تاثیر جمع شدگی، مقاومت چسبندگی و ضریب انبساط حرارتی باشند، مشخص کننده مشخصات (مشاور) و پیمانکار باید با مشورت با کارخانه سازنده و با اطمینان از اینکه عملکرد مواد مناسب است و محدودیت‌های پروژه را رعایت می‌کند. استفاده موفق از اعمال ترمیم با ماله کشی، بستگی به آماده سازی سطح و مهارت بنا، دارد. بناها باید با تجربه باشند و براساس مشاهدات کارگاهی کار کنند. روش ماله کشی باید صحیح باشد تا از بوجود آمدن هوای محبوس در محل اتصال سطح جلوگیری کند. حباب‌های هوای محبوس می‌تواند باعث کاهش قدرت چسبندگی شود. عمل آوری صحیح ملات سیمان پرتلندی برای اتصال مواد به گونه ای است که نباید قبل از اتمام هیدراسیون خشک شود. عمل آوری ویژه برای برخی مواد ترمیمی خاص مشکل توصیه شود.

ب) بسته‌های خشک. بسته‌های خشک با دست جایدهی و با مقدار کمی آب و ملات سیمان پرتلندی و در مرحله بعد کوبیدن و سنبه زدن ملات در محل اجرا می‌شوند. به علت نسبت آب به مواد سیمانی کم، این مواد ترمیمی، وقتی بطور صحیح متراکم می‌شوند، دارای مقاومت، دوام مطلوب و ضد آب می‌شوند. مواد ترمیمی در بسته‌های خشک می‌توانند برای ترمیم منافذ ناشی از بست قالبها، بولت‌های مخروطی و دیگر سوراخ‌ها و نواحی کوچک که نسبت عمیق به سطح زیادی است، استفاده شود. به دلیل حجم کار زیاد در این روش، کمتر سبب در ترمیم‌های بزرگ از آن استفاده شود.

### تزریق گروت

گروت کردن روش متداولی برای پر کردن ترکها، بازشوهای اتصالات، لانه زنبوری‌ها و فضاهای خالی درونی با گروت سیمان (MTOFLOW2500) یا دیگر موادی که در محل عمل آوری (MTOCURE D550) می‌شوند، می‌باشد و نتایج مورد نظر را در این خصوص تامین می‌کنند. دیگر موادی که علاوه بر گروت سیمانی می‌توان به آن اشاره کرد، دوغاب سیمان- پلیمری، اپوکسی، یورتان و متاکریلیک با وزن ملکولی بالاست (HMWM). گروت کردن می‌تواند باعث مقاوم سازی سازه و ممانعت از جابجایی آب یا هر دو این موارد شود. قبل از طراحی عملیات گروت ترمیمی، باید فرو رفتگی‌های گروت کردن تعریف شود و مواد مناسب برای تامین این موارد انتخاب شود. کنترل کیفیت باید شامل گرفتن مغزه باشد تا بتوان مقدار نفوذ چسبندگی را به دست آورد و میزان صحیح آن را بررسی کرد.

### گروت سیمانی

گروت مخلوطی از مواد سیمانی، سیمان پرتلند معمولی یا سیمان بسیار ریز (بلین بالا) و آب با یا بدون ماسه یا افزودنی‌هاست. این مخلوط در ترکیبی با قوام و پمپ پذیر بدون جداسدگی زیاد اجزای تشکیل دهنده آن نسبت بندی می‌شود. گروت از داخل بازشدگی‌ها سطح سازه یا از سوراخ‌های دریل شده بازشوها به داخل، تزریق می‌شود.

الف) گروت کردن از سطح. وقتی گروت از سطح تزریق می‌شود، سوراخ‌های کوتاه، حداقل با قطر ۲۵ میلیمتر و عمق ۵۰ میلیمتر، در بازشوها دریل می‌شوند. سطح بازشوها بین فضاهای خالی با سیمان پرتلندی یا ملات رزینی پر عایق می‌شود. بهره‌گیری از لوله‌های کوتاه یا بلند تزریق سیمان به داخل سوراخ‌ها با لوله‌های خرطومی، بستگی زیادی به پیش بینی روش گروت کردن دارد. اگر گمانه‌های دریل شده بعد از عایق کردن بازشدگی با دست نگه داشته و مخروطی شکل شود و بر روی لوله خرطومی گروت نصب گردد، ممکن است دقت معادل فشاری زیر ۵۰ psi (kpa 350) داشته باشند. در جایی که ترکها یا بازشوها در سازه گسترده شده باشد، از قبیل دیوارها، بازشوها معمولاً عایق شده و قرارگیری مجراها روی وجه دورتری مطلوب خواهد بود.

در جایی که شاخص‌ها شفاف نباشد، بازشوها ممکن است اغلب با بتونه کاری با پارچه یا الیافی که از عبور آب یا هوا، محافظت می‌کنند، صورت پذیرد. کاغذ و مواد پلاستیکی، برای این کار مناسب نیستند. فاصله گذاری مجراها به قضاوت و جنس ماده بر پایه روند کار بستگی دارد. طبق قاعده عمق مجراها باید بیشتر از عمق نفوذ گروت باشد. قبل از گروت کردن، بازشوها باید با آب تمیز، در روشی که مناسب گروت کردن است، شسته شوند. شستن چندین دلیل دارد: مرطوب کردن سطح داخلی برای جریان و نفوذ بهتر گروت، بررسی موثر بودن عایق بندی سطوح و سیستم مجرا، مهیا کردن اطلاعاتی در خصوص اتصالات داخلی و جریان گروت و یا برخی موارد غیر قابل پیش بینی و آشنا ساختن کارکنان گروت کردن با امکان انجام کار، می‌باشد.

گروت کردن از انتهای باز شو افقی یا در پایین باز شو عمودی شروع می‌شود و تا جایی که گروت در گمانه دوم بدون پمپ کردن دیده شود، ادامه می‌یابد. وقتی این اتفاق افتاد، عملیات گروت کردن به گمانه بعدی منتقل می‌شود و ادامه می‌یابد تا اینکه در گمانه های دومی نیز مشاهده شود. در هر گمانه قبل از انتقال تزریق به مکان بعدی شیر فلکه باید بسته یا قطع شود. برای پیشرفت کار باید قسمت دورتری از سازه نیز مشاهده شود و گمانه یا شیر فلکه در صورت نیاز بسته شود. گروت کردن معمولاً با گروت نسبتاً کم عیار شروع می‌شود و تا جای ممکن سریع و با قوام بالایی که بتواند به راحتی و بدون گرفتگی پمپ شود، صورت می‌گیرد. گروت داخلی. گروت کردن ترکها، درزها و فضاهای خالی داخلی با قطر تقریبی در حدود ۲۵ میلیمتر یا بزرگتر با حفره های حفاری شده با زاویه و عمق خواسته شده نسبت به سطح و فضاهای زیر آنهاست. دریل کردن با مته الماسی، مته چرخشی کاربیدی یا مته ضربه ای صورت می‌گیرد. دریل کردن با مته چرخشی یا الماسی ترجیح داده می‌شود. مخصوصاً وقتی که بازشوها برای تزریق گروت نسبتاً کم است، با کمترین گرد و خاک ترکها بسته می‌شود، اعمال مکش بیشتر باعث کاهش ذرات برش خورده در داخل ترکها می‌شود. برای بازشوهایی با عرض زیاد، مثلاً mm12 یا بیشتر مته کردن مشکل کمتری ایجاد می‌کند، اما در هر بار، همه سوراخ‌ها باید به طور کامل شسته شود و قبل از گروت کردن آب در داخل آنها بچرخد.

### گروت شیمیایی

گروت شیمیایی هر ماده مایعی است که بستگی به مواد جامد محلول برای واکنش ندارند. گروت باید سفت بشود، بدون اینکه هیچ فلزی بر آن اثر بگذارد و یا بتن اطراف بازشوها یا فضاهای خالی در داخل آن تزریق شود. از نقطه نظر کاربر، گروت شیمیایی معمولاً شامل دو سیستم مرکب برای چسبندگی است، یکی تزریق و دیگری چسبندگی. گروت‌های شیمیایی ممکن است حاوی فیلرهای بی‌اثر مختلفی با خاصیت‌های اصلاح شده فیزیکی، از قبیل قوام و تولید حرارت و افزایش حجم شوند. گروت شیمیایی باید از سطح یا از منافذ داخلی، مشابه روش معمول در تزریق گروت‌های سیمانی باشد. قطر گمانه ممکن است ۳ تا ۶ میلیمتر و ابزار گمانه زنی و تزریق اتوماتیکی باشد (به ACI 503.6R , ACI 503.4 , ACI 224.1R) مراجعه شود.

### پارامترهای سیمانی و شیمیایی گروتها

الف) گروت های سیمانی. سیمان و دیگر گروت ها حاوی جامدات معلق اند که تنها در جاهایی که عمق بازشوها برای ذرات جامد مناسب باشد، استفاده می‌شود. برای افزایش قابلیت اعتماد به نفوذ دوغاب گروت (سیمان هیدرولیکی مخلوط شده با لاتکس با یا بدون پوزولانها و دیگر افزودنی‌ها) تقریباً با ۸۳ لیتر آب در ۱۰۰ کیلوگرم با مواد جامد مخلوط می‌شوند (نسبت آب به مواد جامد تقریباً ۰/۸). حداقل ترکها با عرض ۳ میلیمتر، با جریان شروع شده در بازشدگی‌ها از قبیل رسوخ گروت در ترکهای ۰/۲۵ میلیمتر عرضی ترکهای با عمق بیشتر تا mm6 یا بیشتر با مخلوط کردن آب کمتر تا ۴۲ تا ۵۰ لیتر در هر kg100 مواد جامد صورت می‌گیرد (نسبت آب به مواد جامد تقریباً ۰/۴ تا ۰/۵ است). مخصوصاً وقتی که افزودنی های کاهنده آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای بازشوهایی mm12 یا بیشتر و برای فضاهای خالی داخلی، گروت ماسه یا ملات ماسه در محدوده یک تا دو برابر جرم یا حجم مواد سیمانی را شامل می‌شود. ماسه باید مطابق با ASTM C 33 باشد، همچنین وقتی پر کردن فضاهای خالی مدنظر باشد. سیمان های مخصوص بسیار ریز و میکروسیلیس به داخل بازشوهایی

کوچک منتقل می‌شود، اما اطلاعات قطعی سیمان‌های هیدرولیکی نرمال، در خصوص قابلیت نفوذ این مواد در داخل ترکها و درزها محدود است.

گروتهای سیمان هیدرولیکی برای ترمیم و تحکیم ترکهای سازه ای از قبیل پایه پل ها، پوشش تونل ها، یا دیوارها، برقراری مجدد مقاومت برشی، گزینه اصلی اند و از عملکرد بسیار عالی برخوردارند. گروت های سیمانی همچنین مقداری چسبندگی کشش را مهیا می کنند، اما پیش بینی مقاومت کششی آن مشکل است. گروتهای سیمانی انبساطی به طور گسترده ای برای جلوگیری جابجایی آب استفاده می شوند. به ACI 223 مراجعه شود.ب) گروت شیمیایی. گروت شیمیایی باید در دو دسته بندی مطابق با چگونگی سخت شدگی آنها یکی به صورت سخت و دیگری ژلهای انعطاف پذیر بررسی شوند. نمونه های این دو دسته بندی اپوکسی ها و اکریلیتها برای انواع سخت و پلی یورتان برای انواع ژل مانند است. گروتهای شیمیایی صلب در حالی که لایه زیرین خشک باشد، در حد بالایی مطلوب اند و کم و بیش در حالتی که بتن مرطوب باشد نیز مفید خواهند بود. این گروتها از تمام جابجایی ها در بازشوها جلوگیری می کنند و کل مقاومت در عضو بتنی ترک خورده را به حالت اول برمی گردانند. اگر تنش های کششی یا برشی دوباره از ظرفیت بتن بعد از گروت کردن بیشتر شود، ترکهای جدیدی در نزدیکی بتن رخ می دهد، اما نزدیک ترکها گروت شده نیستند. گروتهای سخت تا حدی در ترکهای کوچکتر از mm05/0 نفوذ می کنند. این نفوذ به گرانی، فشار تزریق، دما و زمان گیرش گروت بستگی دارد. دلیل استفاده از گروت های شیمیایی ژل مانند این است که جابجایی آب را قطع و یا به مقدار زیادی کاهش می دهند. گروت های ژلی نمی توانند مقاومت سازه ها را مجدداً به حالت اول برگردانند، اما می توانند در سرتاسر ترک جابجایی آب را کاهش دهند. اکثر گروتهای ژلی محلولهای آبی اند، بنابراین اگر در حالت خشک اعمال شوند، جمع می شوند و با مرطوب شدن مجدد بهبود می یابند. برخی دیگر قوامی در حد آب دارند که در آن صورت می توانند به داخل هر بازشویی، مانند جریان آب تزریق شوند. برخی دیگر در بازشوهای کف تقریباً با عرض mm 100 استفاده می شون.

#### جایدهی در زیر آب

جایدهی بتن در زیر آب با پمپ یا لوله نرمی به تناوب در روشهای ترمیمی استفاده می شود. برخی الزامات جدید نیز برای مواد و روند اجرا اعمال می شوند. در جایدهی ملات، بتن از پایین تا بالا ادامه می یابد. استفاده از بتن پیش آکنده (بتن با سنگدانه های آماده شده) در ACI 304.1R , ACI 456.2R آورده شده است.

#### روش های چسبیدن (پیوند و اتصال)

مواد ترمیمی بتن گاهش به عامل چسبیدن مجزا نیاز دارند. در هر حالت موفقیت ترمیم به اتصال خوب و پیوستگی اتصال بین مواد ترمیمی MTOSIVE1020 و لایه زیرین بستگی دارد. اتصال خوب می تواند به وسیله ویبره، عملیات با فشار هوا و فشار در ماله کشی و پیوستگی با بهینه ترین مقدار سطحی عضو، صورت گیرد.

در مواردی که از عامل مجزا برای چسبندگی استفاده می شود، اعمال عامل چسبندگی بر روی لایه زیرین باید با دقت صورت گیرد و رعایت زمان جایدهی مواد ترمیمی نیز مد نظر باشد. عامل چسبیدن به لایه زیرین ممکن است باعث شروع گیرش یا عمل آوری ناپهنگام، گسیختگی اتصال با مواد ترمیمی MTOSIVE 1020 جدید شود. عامل چسبندگی بر پایه سیمانی اسپری یا مالیده می شود، در حالی که در سیستم های بر پایه چسب های اپوکسی MTOBOND1800 لاتکس MTOBOND2200 علاوه بر مالیده یا اسپری کردن می توان از پخش کردن به وسیله غلتک نیز استفاده کرد.

#### ترمیم بتن های ترک خورد به روش تزریق رزین اپوکسی

تزریق رزین : تزریق رزین برای ترمیم بتنهای دارای ترک و یا نقاط ، درزها و ترکهای آب دار استفاده می شود. دو روش اصلی برای ترمیم بتن با استفاده از تکنیک تزریق رزین به کار گرفته می شود : الف - رزین اپوکسی : رزین های اپوکسی عمل آوری شده به صورت جامد با مقاومت بالا و مدول الاستیسیته نسبتاً بالا می باشند. چسبندگی رزینهای اپوکسی به بتن در حدی می باشد که با اجرای مناسب قابلیت بازگرداندن استحکام سازه ای اولیه بتن ترک خورده را دارند. مدول الاستیسیته بالای رزین



اپوکسی باعث شده که برای چسباندن بتنهای ترک خورده که در آینده دارای احتمال جابجایی هستند مناسب نباشند. از رزین اپوکسی برای آب بند نمودن ترکهای آبدار استفاده می شود. اما با این حال به علت سرعت پایین عمل آوری رزین های اپوکسی به خصوص در دماهای پایین و نیز در صورت وجود جریان زیاد آب ، استفاده از آن برای آب بندی ممکن نیست. ترک هایی که در آنها رزین اپوکسی تزریق می شود باید دارای عرضی بین ۰,۰۰۵ تا ۰,۲۵ اینچ باشند. تزریق رزین اپوکسی در ترکهای با عرض ۰,۰۰۵، سخت و ناممکن است و همچنین نگهداری از رزین تزریق شده در ترک های عریض تر از ۰,۲۵ اینچ کار دشواری است ، اگر چه گاهی این امر با استفاده از رزین های اپوکسی با چگالی بالا با موفقیت قابل انجام است. رزین های اپوکسی عمل آوری شده دارای حالت ترد و شکننده، با استحکام چسبندگی بیش از مقاومت برشی و کششی بتن می باشند. اگر این مواد برای اتصال مجدد بتن ترک خورده ی در معرض بارهای بیش از مقاومت برشی و کششی استفاده گردد ، باید انتظار داشت که ترکهایی مجدداً در کنار خط اتصال اپوکسی نمودار شود. به عبارت دیگر برای ترمیم ترک های فعال نباید از رزین اپوکسی استفاده نمود.

موفقیت در اجرای رزین های اپوکسی برای ترکهای مرطوب متفاوت و متغیر است. تعدادی تکنیک های ویژه و در حال توسعه برای چسبندگی مجدد و آب بندی ترکهای آب دار به وسیله ی رزین اپوکسی وجود دارد. این روش و تکنیک های ویژه بسیار تخصصی و فنی بوده و در جاهای خاصی به کار برده می شوند. این روشها صرفاً زمانی در پروژه های تعمیراتی به کار گرفته می شوند که پس از بررسی و تحلیل به این نتیجه برسیم که سایر روشهای موجود و استاندارد برای تعمیر پاسخگو و مناسب نیستند. ب- رزین های پلی یورتان : از رزین های پلی یورتان برای آب بندی و حذف نشت آب از ترک ها و درزهای بتن استفاده می شود. آنها همچنین می توانند در ترکهایی که امکان جابجایی های کوچک خواهند داشت، تزریق شوند. چنین سیستم هایی، به جز سیستم پلی یورتان دوجزئی جامد، مقاومت کمی داشته و نباید برای چسباندن دوباره ترکها مورد استفاده قرار گیرند. رزین پلی یورتان نباید در ترکهای با عرض کمتر از ۰,۰۰۵ اینچ استفاده و تزریق شود. تا کنون برای تزریق رزین های پلی یورتان، هیچ حدی برای حداکثر اندازه ترک مشخص نشده است. رزین های پلی یورتان با تنوع قابل توجهی از منظر خواص فیزیکی در دسترس می باشند. برخی از رزین های پلی یورتان پس از عمل آوری به شکل فوم منعطف در می آیند. سیستم های دیگر رزین پلی یورتان پس از عمل آوری به صورت جامد با انعطاف پذیری نسبی و چگالی بالا در می آیند که می توانند برای چسباندن مجدد درزهای با امکان جابجایی مورد استفاده قرار گیرند. رزین های پلی یورتان فوم شونده برای شروع عملیات عمل آوری نیازمند آب می باشند به همین دلیل طبیعی است که از آنها برای تعمیر و ترمیم بتنهای در معرض آب یا مرطوب استفاده کرد. تا کنون هیچ استاندارد ی برای رزین های پلی یورتان مانند آنچه در استانداردهای معتبر برای رزین های اپوکسی وجود دارد، ارائه نشده است. با توجه به فقدان استاندارد از یک سو و از سوی دیگر تغییرات گسترده در خواص فیزیکی رزین های پلی یورتان ، لازم است که دقت و مراقبت زیادی در انتخاب این رزین برای تعمیر بتن صورت گیرد. راهنمای کاربردی برای این نوع رزین ها زیاد مفید و موفقیت آمیز نمی باشد. بعضی از مراکز تحقیقاتی و آزمایشگاهی در حال انجام مطالعات و تحقیقات بر روی این نوع ارزشمند از رزین ها می باشند. در صورت نیاز به مشاوره و راهنمایی برای روشهای اجرا می توان از این مراکز کمک گرفت. به علت هزینه بالای روش تزریق، معمولاً از این روشها برای ترمیم ترکهای کم عمق و خشک استفاده نمی شود. مشخصات فنی و اجرایی رزین های تزریقی در بخش پیوست مربوط به استانداردهای تعمیر و مرمت مدرج گردیده است.

الف - آماده سازی : ترک ها ، درزهایی که رزین در آنها تزریق می شود باید از همه ی آلایندها و مواد آلی به خوبی پاک شود. از روشهای مختلف با بازدهی متفاوت برای پاکسازی ترکها استفاده می شود. استفاده مکرر از تزریق هوای فشرده و پس از آن آب ، از محل سوراخ های ایجاد شده برای انجام عملیات تزریق، روش مناسبی برای شستشو و پاکسازی ترکهای در معرض نشت آب می باشد. استفاده ی موفق از صابون ها در شستشو با آب، توسط تعدادی از دست اندرکاران گزارش گردیده است. حذف کامل صابون از درون ترکها مشکل بوده ، لذا ممکن است با توجه به این مشکلات استفاده از آن معقول و راضی کننده نباشد. استفاده از اسیدها برای تمیز کردن ترکها در عملیات بازسازی و ترمیم مجاز نیست. معمولاً نباید در ترکهایی از رزین

اپوکسی برای ترمیم و چسبندگی مجدد آنها استفاده می شود اقدام به تزریق آب نمود. از رزین اپوکسی می تواند برای تزریق در ترکهای مرطوبت نیز استفاده نمود، لذا آنها چسبندگی بالاتری در هنگام اتصال به بتن های خشک خواهند داشت.

ب- مواد : رزین اپوکسی مورد استفاده برای تزریق باید حاوی ۱۰۰ درصد مواد جامد و منطبق با استانداردهای معتبر باشد. اگر هدف از انجام تزریق بازگرداندن به شرایط باربری اصلی و اولیه طراحی باشد باید رزینهای اپوکسی تیپ چهار انتخاب و استفاده شود. اما اگر هدف از تعمیر بازگرداندن قابلیت باربری اولیه نباشد استفاده از رزین های اپوکسی تیپ یک کفایت می کند. استفاده از هر گونه حلال و یا رقیق کننده غیر واکنش زا در رزین پلی یورتان مجاز نمی باشد. رزین پلی یورتان به کار برده شده در تعمیر ترکها سیستمی دو بخشی شامل ۱۰۰ درصد از رزین پلی یورتان به عنوان بخش اول و آب به عنوان بخش دوم می باشد. رزین های پلی یورتان در هنگام اختلاط با آب و عمل آوری به شکل فوم های انعطاف پذیر یا ژل در می آیند که این امر مرتبط و متناسب با نسبت اختلاط رزین با آب می باشد. با این حال در صورتی که اختلاط رزین پلی یورتان با مقدار مناسبی از آب انجام شود فوم رزین عمل آوری و سخت شده دارای حداقل مقاومت کششی  $20 \text{ psi}$  با چسبندگی به بتن  $20 \text{ psi}$  و حداقل ازدیاد طول ۴۰۰ درصد در هنگام گسیختگی کششی می باشد. قبل از استفاده و تزریق رزین های پلی یورتان باید گواهی نامه ای از تولید کننده مبنی بر اینکه محصول مورد نظر حداقل مشخصات مذکور را دارا می باشد، اخذ گردد.

ج - تجهیزات تزریق : رزین ها می توانند با انواع مختلف تجهیزات تزریق شوند. در تعمیرات کوچک با رزین اپوکسی از هر سیستمی که بتواند به شکل مناسب و موفقیت آمیز تزریق مورد نیاز رزین اپوکسی را انجام دهد، می توان استفاده نمود. در این سیستم ها می توان دو جزء رزین اپوکسی را پیش از اجرا در ظرفی مجزا مخلوط نمود. با توجه به عمر کوتاه رزین اپوکسی پس از اختلاط، این روش می تواند از نظر زمانی بحران ساز باشد. معمولاً در کارهای بزرگ تزریق رزین اپوکسی نیاز است از تزریق به روش تک مرحله ای که در آن دو جز اپوکسی از مخزن به طور مجزا به نازل پمپاژ و در آنجا مخلوط می شوند، استفاده صورت گیرد. اپوکسی مورد استفاده در این روش باید در ابتدا ویسکوزیته پایینی داشته و زمان مجموعه عملیات به دقت کنترل شود. کاخانه های مختلف تولید کننده دارای تجهیزات با مشخصات اختصاصی خود می باشند ( شکل ۶۲ - مجموعه اپوکسی ها و روش های مختلف توسعه یافته این امکان را فراهم می سازد که تعمیرات در شرایط نامطلوب با رضایت و موفقیت انجام گردد. در صورت نیاز به تعمیرات عمده به روش تزریق رزین اپوکسی باید با این شرکت ها تماس حاصل کرد. رزین های پلی یورتان پس از انجام اختلاط دارای عمری بسیار کوتاه بوده از این رو باید زمانی که همه مولفه ها آماده می باشد اختلاط صورت گیرد و برای تزریق از تجهیزات اختصاصی تک مرحله ای مانند آنچه برای تزریق رزین اپوکسی در تعمیرات بزرگ به کار گرفته می شود، استفاده نمود. دستورالعملهای تعمیراتی موجود، اجازه ی تزریق رزین ۱۰۰ درصد خالص را نمی دهند. در هر مرحله باید ترکیباتی از مخلوط آب و رزین یا رزین نوع A و نوع B به کار گرفته شود. این تجهیزات اجزای سیستم رزین باعث می گردد تا اختلاط دقیقاً قبل از نقطه تزریق رزین درون ترک صورت پذیرد. اندازه ی تجهیزات تزریق رزین پلی یورتان از انواع کوچک و دستی، تا تجهیزات بزرگ تجاری که قادر به تزریق حجم زیادی از رزین در ساعت می باشند، متفاوت است (شکل ۶۳ و ۶۴). فشار پمپاژ تجهیزات تزریق رزین پلی یورتان ممکن است بیش از  $3000 \text{ psi}$  باشد. تعدادی از تولیدکنندگان وجود دارند که تجهیزاتی با کیفیت مناسب و بالا ارائه می نمایند و به ندرت پیش می آید که نیاز به طراحی نوع خاص دیگری از تجهیزات برای پروژه تعمیراتی باشد.

د - روش اجرا : موفقیت پروژه های تعمیراتی با تزریق رزین به طور مستقیم به تجربه و دانش نیروهای اجرایی بستگی دارد. پیمانکاری که برای تعمیر بوسیله تزریق برگزیده می شود می بایست دارای ۳ سال تجربه در قراردادهای مشابه بوده و یا حداقل در پنج پروژه مشارکت داشته باشد. در پروژه تعمیراتی در صورتی می توان از پیمانکار با تجربه کمتر استفاده نمود که شرکت تولیدکننده قبول کند که به صورت تمام وقت اقدام به نظارت بر روند اجرایی پروژه نماید و تولید کننده مذکور دارای پنج سال سابقه ارائه رزین به پروژه های مشابه باشد.

روش اجرا رزین اپوکسی با تزریق تحت فشار: هدف از تزریق رزین اپوکسی پر کردن کامل ترک و نگهداری از آن تا اتمام مرحله عمل آوری و سفت شدن می باشد. اولین گام در فرایند تزریق رزین، تمیز کردن کامل سطوح بتن مجاور ترک از بتنهای سست، فرسوده و آلودگی ها است. سپس محل و ورودی تزریق بازرسی و بررسی می گردد. انواع مختلفی از روشهای تزریق را می توان به کار گرفت:

اگر ترکها به وضوح قابل مشاهده و نسبتا باز باشند می توان پکر تزریق را با فواصل مناسب با حفاری مستقیم در سطح ترک نصب کرد. در هنگام سوراخ کاری برای نصب پکر باید مراقب بود تا از ایجاد گرد و غبار و بقایای سوراخ کاری و در نتیجه مسدود شدن مسیر و دهانه، جلوگیری شود. دریل هایی با وکیوم مخصوص برای این کار وجود دارد. سطح ترک بین پکر ها باید بوسیله بتونه اپوکسی بسته شود تا امکان سفت شدن رزین در ترک به وجود آید. عملیات تزریق از کم ارتفاع ترین پکر شروع و تا بالاترین پکر ادامه می یابد.

روش بهتر برای نصب پکر سوراخ کاری متناوب از بالا و پایین ترک، با زاویه تا هنگام قطع و عبور از سطح ترک می باشد. این روش تضمین می کنند که سوراخ ایجاد شده، حتی در صورت وجود ترکهای انشعابی و یا شیب در ترک، با آن تلاقی خواهد داشت. سپس باید همانند آنچه در بالا گفته شد، سطح روی ترک به وسیله بتونه یا خمیر اپوکسی بسته شود.

باید تزریق رزین اپوکسی را با فشار نسبتا پایین انجام داده و اجازه داد تا رزین حرکت و همه حفرات را پر نماید. استفاده از فشار بالا در تزریق رزین باعث بسته شدن مسیر تزریق و عدم پر شدن کامل ترک می شود که این امر از علائم بی تجربگی پیمانکار مربوطه می باشد. بهترین روش برای حصول اطمینان از کیفیت عملیات تزریق رزین اپوکسی، اخذ و تصویب برنامه دقیق آماده سازی و اجرای عملیات از پیمانکار و انجام عملیات کرگیری با ابعاد کوچک از محل تزریق رزین در بتن می باشد. اگر بیش از ۹۰ درصد از حفرات خالی در بتن طی عملیات تزریق پر شده باشد می توان آن را به عنوان تزریق کامل در نظر گرفت. اگر تزریق به طور کامل نباشد پیمانکار بدون دریافت هرگونه هزینه ای از کارفرما، ملزم به انجام عملیات تزریق مجدد می باشد.

(۲) روش اجرا رزین پلی یورتان با تزریق تحت فشار: اصول اصلی تزریق رزین پلی یورتان مبتنی بر کنترل نفوذ آب با استفاده از تزریق رزین تحت فشار و بستن ترک می باشد. اکثر مسائل مربوط به تزریق رزین پلی یورتان مشابه روش تزریق دوغاب سیمان می باشد. برای مهار بهتر جریان آب می بایست حتی امکان سوراخ های حفر شده برای تزریق در سطح بتن باشند. می توان بر روی سوراخ ها از پکر شیردار استفاده کرد تا در هنگام تزریق با استفاده از آن فشار آب ترک در سطح بتن را از بین برد (شکل ۶۵). برای جلوگیری از خروج و پرت زیاد رزین در هنگام تزریق، ترک را باید با استفاده گوه چوبی، پشم سنگ، طناب کنافی به همراه رزین و یا بتونه اپوکسی به طور موقت مهر و موم کرد. سوراخ های ایجاد شده برای تزریق رزین می بایست به صورت متناوب در طرفین ترک و با حداکثر فاصله ۲۴ اینچ از هم باشند. سوراخ های مذکور به صورت زاویه دار و با عمق ۸ تا ۲۴ اینچ (سوراخها باید بسته به ضخامت بتن تا عمقی که امکان دارد ادامه یابد - باشند. بسته به روش تزریق و میزان آب، از انواع مختلف پکر ها و یا پکر شیردار استفاده می شود. تزریق رزین پلی یورتان می بایست براساس روند و مراحل از پیش تعیین شده، صورت گیرد. سیستم تزریق از نظر فواصل تزریق همانند فواصل تزریق دوغاب سیمان موفقیت آمیز، می باشد. در این سیستم ابتدا تزریق از سوراخهای ابتدایی و پس از آن از سوراخ های میانی صورت می گیرد. به طور مثال ابتدا تزریق رزین از سوراخ های ابتدایی طرفین انجام و پس از آن سوراخ سوم در وسط آنها حفر و تزریق صورت می گیرد. فشار تزریق باید حداقل فشار مناسب برای حرکت رزین و پر کردن ترک باشد. با این حال معمولا از فشار PSI 1500 تا PSI 2000 برای تزریق استفاده می شود. زمانی تزریق در یک سوراخ باید پایان دهیم که جریان تزریق با فشار ثابت طی یک دوره ۱۰ تا ۱۵ دقیقه ای، متوقف شده باشد. این روش در اتمام و متوقف کردن تزریق باعث می شود تا تضمین لازم برای پر شدن کامل ترک، تراکم و ایجاد ترمیمی مناسب ایجاد گردد. این یک اشتباه است که به محض توقف نشت آب تزریق خاتمه داده

شود. اگر از این روش استفاده شود می توان تا حدودی عملکرد را با استفاده از تزریق رزین با چگالی پایین تر تحت فشار هیدروستاتیک و تزریق مجدد در صورت وقوع نشت ، بهبود داد. همچنین استفاده از تزریق های متناوب به منظور آب بندی ترک ها با شدت آب زیاد رایج است. در این روش یک مرحله تزریق اولیه در تعدادی از پکر های از پیش انتخاب شده انجام می گردد و پس از گذشت ۱۵ دقیقه تا ۲ ساعت مرحله بعد تزریق ها انجام می گردد. برای آب بندی ترکهای با حجم زیاد جریان آب ممکن است چندین مرحله از عملیات تزریق نیاز باشد. از همین رو تعداد قطعی تزریق مورد نیاز نامعین است.

در تزریق رزین پلی یورتان ، با نسبتهای مختلف آب به رزین انجام می گردد. برای جریان های زیاد آب ، نسبت آب به رزین ۰.۵:۱ می تواند مطلوب و مناسب باشد. لازم به ذکر است که رزین و آب گفته شده ممکن است در محدود ۱ اینچ تا ۵ فوت از لوله دستگاه تزریق و پیش از خروجی مخلوط شده و واکنش کف زایی پس از ورود جریان به شبکه ترکها انجام می گردد. از پکر های با طول زیاد می توان برای تزریق رزین در نقاط عمیق سازه استفاده نمود. اگر از رزین مخلوط شده برای تزریق در چنین سوراخهایی استفاده شود واکنش در طول سوراخ و قبل از رسیدن رزین به عمق مورد نظر ترک رخ خواهد داد. این پکرهای مخصوص ( شکل ۶۷)، با حرکت مجزا اجزا رزین تزریقی، امکان حرکت رزین تا سوراخ انتهایی پکر در عمق ترک را مهیا می سازند.

در انجام کارهای اینچنینی، نیاز به استفاده از پیمانکاران با تجربه و مشاوران فنی اهمیت بیشتری می یابد (۳) پاکسازی : در اتمام عملیات تزریق باید سوراخ های تزریق ، رزینهای سر ریز و اضافه و بتونه های موجود در سطح ترک باید از سطوح قابل مشاهده کار حذف و زدوده شود. این امر می تواند به وسیله ساب زدن ، تراشیدن یا واتر جت با فشار بالا صورت گیرد. برای پرسیازی حفرات تزریق باید ملات های آماده یا سایر مواد ترمیم کننده مناسب، پیش بینی و اجرا شود.

#### ترک های عمیق

این ترکها گاهی به طور دائمی به وجود می آید و دلیل آن نشست مرتب پی است که در این صورت، بودن ساکنان در ساختمان خطرناک است.

#### ترک های ثابت

معمولاً پس از نشست پی، تحرک ساختمان کم می شود. این پدیده بر اثر قطع رطوبت و فشرده شدن سطح زیر پیش می آید. در نتیجه، شکست و افت دیوارها و اسکلت بنا نیز متوقف و حالت ترک ثابت می شود.

#### موی ترک های معمولی

این ترکها در اثر افت های کوچک در اسکلت بنا و به واسطه نیروها و در مواردی به علت نوع مصالح اندود به وجود می آیند. رطوبت، انقباض و انبساط حاصله در مقابل خشک شدن سطوح مرطوب، باعث ایجاد ترک های مویی می شود.

#### انواع ترک در ساختمان

انواع ترک های ساختمان به لحاظ جهت به سه بخش افقی - عمودی - مورب دسته بندی می شوند.

#### ترک های افقی

ترک هایی که در راستای افق و در طول دیوار ایجاد می شود معمولاً به دو دلیل عمده بوجود می آیند. به هنگام اجرای دیوار، استاد کار می بایست دیوار را تا ارتفاع نیمه از تراز انتهایی اجرا نماید و پس از خشک شدن و گیرش دیوار در مرحله بعد آنرا تا تراز ارتفاعی نهایی برساند. این ناپیوستگی در اجرا موجب نشست گرد و غبار خاک بر روی محل ناپیوسته دیوار می شود. این گرد و غبار از جنس دانه های رس بوده که حالت چربی دارند و در صورتی که استادکار قبل از اجرای نیمه دوم دیوار محل ناپیوستگی را از گرد و غبار نشوید پس از اجرا احتمال وجود ترک افقی در محل ناپیوستگی بسیار محتمل است.

در صورتی که دیوار در یک مرحله اجرا شود، طبق روش توضیح داده در بند یک نباشد، دیوار کمانش کرده و یا در اصطلاح دیوار شکم می دهد و موجب ایجاد ترک افقی در دیوار می شود.

## ترک‌های عمودی

هنگامی که عمق یا عرض این ترک‌ها زیاد یا در اعضای دیگر سازه همچون سقف، کف و ... و یا اینکه در سنگ قرنیز ادامه داشته باشند به دلیل اینکه ترک سازه‌ایی هستند از اهمیت فراوانی برخوردار است.

## علل ایجاد ترک‌های عمودی

ترک‌های سازه‌ایی عمودی عمدتاً به دلیل نبود شناژ قایم یا کمبود آن و ایجاد فاصله زیاد بین شناژها ایجاد و در اصطلاح عامیانه گویند دیوار کمر می‌شکند.

در صورتی که پی زیر دیوار حرکت کند ترک‌های عمودی ایجاد می‌نماید.

در اثر اجرای نادرست هشتگیر در تقاطع دیوارها ترک‌های عمودی ایجاد می‌شود.

## ترک‌های مورب

ترک‌هایی که معمولاً زاویه ۴۵ درجه نسبت به راستای افق دارند، به ترک‌های مورب معروف هستند. این ترک‌ها اغلب در اثر نشست دیوار ایجاد شده و نشانه شکسته شدن دیوار است. این نوع از ترک بسیار خطرناک است.

جهت تعیین محل نشست دیوار، ابتدا راستای ترک را معین کرده عمود بر راستای ترک به سمت پایین طرف نشست کرده دیوار را مشخص می‌نمایید.

## تعمیر ترک‌های ساختمان

اساساً تعمیرات ساختمان به منظور جلوگیری از به هدر رفتن منابع که هزینه‌ی سنگینی را هم به ما تحمیل می‌کند و از طرفی امنیت جانی و رفاهی ساکنان را هم به خطر می‌اندازد صورت می‌گیرد. عمده علت اصلی خرابی بناها، نشست پی بر اثر عواملی همچون رطوبت و فشارهای وارده از طبقات، بی مقاومتی خاک و عملکردهای آن است. همچنین نوع مصالح مصرفی و اجرای غیرفنی، سبب نشست‌های پی می‌شود. در مجموع، بر اثر حرکات زمین، اسکلت بنا حرکت می‌کند و شکست‌های مختلف که شامل ترک‌های عمیق یا معمولی و در مواردی به شکل مویی است، نمایان می‌شود. در همه‌ی موارد، جهت تعمیر و نگهداری بنا، پس از اطمینان کامل از اینکه نشست و یا حرکت‌های که موجب بروز ترک در ساختمان شده است تثبیت شده است، با لحاظ کردن نکات ایمنی، ترک‌ها را کاملاً باز می‌کنیم، اطراف آنها را عمق بیشتری می‌دهیم، سپس به منظور چسبندگی بیشتر مصالح بکار رفته با محل، محل ترک‌ها را جارو زده و مرطوب می‌کنیم. پس از آن، به منظور جلوگیری از ترک خوردگی دوباره اقدام به مصلح کردن ( توری گالوانیزه و آرماتورگذاری) محل ترک‌ها می‌کنیم.

## تعمیر ترک‌های نیمه عمیق

بر اثر حرکت پذیری سقف توفال که از انقباض و انبساط رطوبت و حرارت حاصل می‌شوند. ترک‌هایی به وجود می‌آید. این ترک‌ها را با نوک کاردک و ماله خالی می‌کنیم، سپس آماده کشی و پرداخت کشته و با پنبه زنی، ترک‌ها را می‌گیریم و آماده نقاشی می‌کنیم.

## تعمیر ترک‌های عمیق

اطراف ترک را با تیشه می‌تراشیم و سپس درز آن را کاملاً خالی می‌کنیم. به کار بردن گچ دستی و کف کش کردن، درون ترک را پر و سطح آنرا با گچ آماده صاف می‌کنیم. سپس با گچ کشته و پنبه آب، سطوح آنرا کاملاً پرداخت و آماده نقاشی می‌کنیم. به منظور جلوگیری از خطر کپ کردن، کشته کشی را در بعد وسیعی انجام می‌دهیم. در این مواقع، باید اصولی را به کار برد تا سطح ترک از اطراف به شکل پخ از گچ کاری و اندود برداشته شود تا عمق ترک در سطحی عریض پیوند شود. به این عمل اصطلاحاً پرداخت کردن، کشته و هم سطح کردن با زمینه در گچ کاری قدیمی می‌گویند.

### تعمیر ترک در تقاطع دیوار

دیوارها بر اثر نداشتن پیوند با هشت گیر ترک می‌خورند. در مواقعی نشست و شکست دیوارها، ترکها کاملاً باز و رویت می‌شوند. در بعضی موارد، این ترکها بسیار عمیق هستند، به طوری که می‌توان دست را در درون آنها حرکت داد. در این حالت، چنین عمل می‌کنیم.

سطح ترک را از دو طرف کاملاً با تیشه می‌تراشیم، و پس از جارو کردن، سطوح آن را کاملاً مرطوب می‌کنیم. چنانچه لازم باشد، کناره‌های ترک را با قلم و چکش چند سانتیمتر بازر می‌کنیم تا نشست گچ با عمق بیشتری انجام شود. ملات گچ تیزون را شلاقی در درون ترک می‌کوبیم تا سطح ترک کاملاً پر شود.

پس از پر کردن ترک به شکل سرتاسری و کف کش کردن گچ تیزون، اندود گچ و خاک را اجرا می‌کنیم.

در صورت نیاز، ترک را شمشه گیری می‌کنیم تا در سطح گچ کاری یکنواختی به وجود آید.

با گچ آماده و سپس گچ کشته، سطح اندود را سفیدکاری می‌کنیم و با پنبه آب زدن برای پرداخت، گچ کاری را خاتمه می‌دهیم.

چنانچه در محل تقاطع دیوار ابزار گرد زده شود، یعنی ماهیچه به وجود آید، ترک مجددی پیش نخواهد آمد.

### تعمیر ترک در نعل درگاه

به علت‌های زیر، نعل درگاهی و سطوح زیر آن می‌شکنند.

در اثر نشست ستون زیر نعل درگاه، به علت اهرم شدن آن، برش افقی به وجود آید.

برش‌های عمودی به خاطر وجود پیوند و اثر نیروهای فشاری در امتداد تیر نعل درگاه و برش‌های طولی بعد از مقدار گیر نعل

درگاه به وجود می‌آید که در هر دو حالت، جداره ترکها را می‌تراشیم، باز می‌کنیم و سپس گرد آن را می‌گیریم. سپس، محل

مرطوب شده را با گچ به اصطلاح تیزون (زودگیر) پر می‌کنیم و زمینه را با کشته کشی آماده می‌سازیم و سپس ترکها را به

ترتیب ترمیم و تعمیر می‌کنیم.

### پیوند در ترک‌های عمیق

چنانچه ترک عمیق باشد، رج‌های بریده شده را از دو طرف به اندازه یک نیمه، خالی می‌کنیم و با به کار بردن ملات مرغوب و

آجرهای راسته مقاوم، سطح ترک را در عرض دیوار با رعایت پیوند، کامل می‌گیریم و سپس مبادرت به اندود کاری می‌کنیم.

در این صورت، اثر ترک به کلی محو می‌شود. در بعضی موارد ترک به حدی است که از بیرون، نور و اشیاء قابل رویت می‌شود.

به طور مسلم، این ترک و شکست و نشست از پی شروع می‌شود و تا بالاترین قسمت ساختمان ادامه می‌یابد که برای تعمیر

آن، به این صورت عمل می‌کنیم.

مسیر ترک را در کف سازی دنبال می‌کنیم و با برداشتن کف سازی به پی می‌رسیم.

تعمیر از پی شروع می‌شود. با کرسی چینی جداره ترک را جهت به وجود آوردن پیوند خالی می‌کنیم.

پس از بنایی ترک مذکور، در عمق دیوار اندود و سفید کاری انجام می‌دهیم.

خطر ترکها در ساختمان

ترکها یک کوتاهی و قصور واقعی و مرئی هستند.

ترکها ظرفیت باربری سازه‌ها را کاهش می‌دهند.

ترکها به رطوبت اجازه می‌دهند تا به درون سازه بتنی نفوذ کرده و قابلیت استفاده عمومی را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

ترکها خطر نفوذ کلروها را که در معرض نم‌های ذوب یخ و یخ زدگی و ذوب شدگی مداوم مهستند افزایش می‌دهند. (مثلاً

پای ستون‌ها، پل‌ها، سطوح پارکینگ‌ها).

ترکها سبب تشدید خوردگی بتن و آرماتورها شده و قابلیت استفاده از سازه بتنی را کاهش می‌دهند.

به طور کلی ترکها سبب تخریب تدریجی سازه‌های بتنی میشوند.

## رطوبت ترک‌ها و لبه‌های ترک

برای مطالعه اثر رطوبت و انتخاب راه حل مناسب برای تعمیر و ترمیم آن و حتی انتخاب مواد پرکننده باید ترک را از نظر رطوبت طبقه بندی کرد.

ترک‌های خشک

ترک‌های مرطوب

ترک‌های با خروج آب بدون فشار هیدرواستاتیک

ترک‌های با خروج آب با فشار هیدرواستاتیک

خطر ترک به چه عواملی بستگی دارد

عرض ترک

ضخامت و دانسیته پوشش بتنی در مجاورت ترک

تغییر عرض ترک ناشی از ناشی از نوسانات دراز مدت و کوتاه مدت

تغییر عرض ترک ناشی از تغییرات سطوح تنشی که سازه در معرض آن است.

## عرض ترک

عرض ترک فاصله بین لبه‌های ترک است که روی سطح المان سازه عمود بر امتداد ترک اندازه گیری می‌شود.

عرض ترک تنها مبنای بررسی ترک نیست بلکه ضخامت و بیشتر از همه دانسیته پوشش بتنی در مجاورت ترک برای حفاظت در برابر خوردگی دراز مدت بتن آرمه ضروری و مهم است.

برای محاسبه عرض واقعی ترک از ترک سنج‌ها استفاده می‌شود. برای چنین کاری تاریخ، ساعت، روز، وضعیت هوا و دمای

محیط و دمای سازه در طول هر اندازه گیری که برای تشخیص انجام می‌شود می‌بایست یادداشت شود.

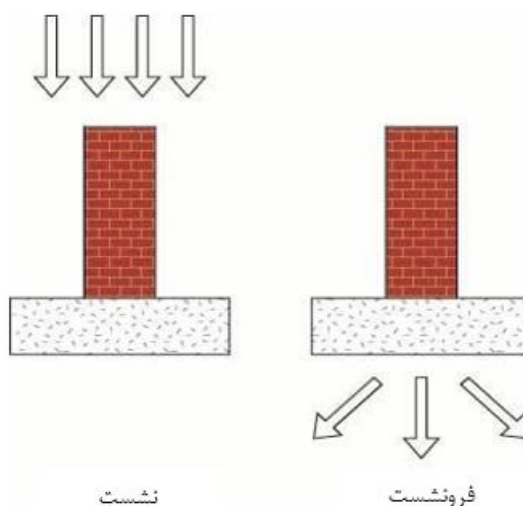
چند نوع ترک ممکن است در دیوارهای بنایی یک ساختمان ایجاد شود. این ترک‌ها می‌توانند کوچک و جزئی باشند. برخی از

ترک‌ها نیازمند تعمیراتی هستند که هزینه زیادی در بردارند و در برخی موارد حادثه، تنها راه حل تخریب کامل دیوار است.

احتمالاً علل ایجاد این ترک‌ها در دیوارهای بنایی حرکت ساختمان است که موجب نشست و فرونشست دیوار می‌شود.

## علل رایج پیدایش ترک‌ها در دیوارهای بنایی

نشست و فرونشست دیوارهای ساختمان در تصویر زیر نمایش داده شده است.

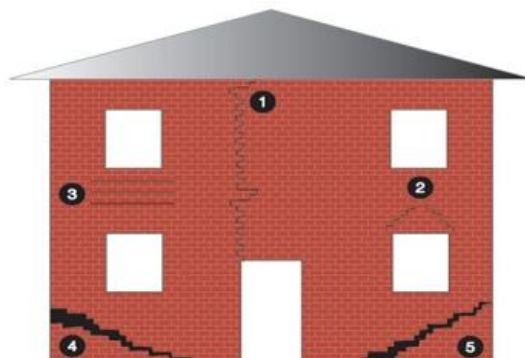


نشست

فرونشست

تصویر ۱. نشست و فرونشست دیوارهای بنایی

نشست دیوار به علت فشار رو به پایین بارها بر دیوار رخ می‌دهد و فرونشست در نتیجه جابجایی خاک زیر فونداسیون‌ها ایجاد می‌شود. مشکل نشست دیوار به آسانی و از طریق مرمت قابل برطرف شدن است؛ اما تعمیر فرونشست می‌تواند مشکل‌ساز و پرهزینه باشد. موقعیت‌هایی وجود دارند که در آن‌ها نشست دیوار می‌تواند موجب فرونشست آن شود. اگر لوله فاضلاب متصل به ساختمان به دلیل نشست دیوار قطع شود یا ترک بردارد، ممکن است نشست آب بعد از این شکستگی باعث شسته شدن لایه زیرین خاک شده و فرونشست ایجاد شود. تمام ساختمان‌ها پس از ساخته شدن دچار نشست می‌شوند. چاره مشکل این است که سعی کنید میزان نشست را در سطحی فوق‌العاده پایین نگاه دارید. دیگر دلایل حرکت و ترک خوردن عبارت‌اند از: طراحی ضعیف، روش‌های ساخت ضعیف یا نگهداری نامناسب.

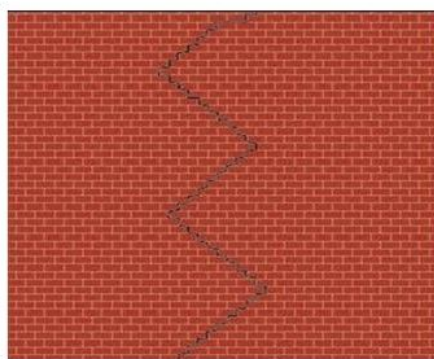


شکل ۲. ترک در دیوار بنایی

### انواع ترک در دیوار بنایی و علل پیدایش آن‌ها

#### ترک‌های گسترشی در دیوارهای بنایی

دیوارها تحت تأثیر تغییرات دما و رطوبت قرار دارند. ممکن است مصالح ساختمان در ابتدا دچار آب‌رفتگی شده و پس از آن دچار انقباض و انبساط می‌شوند. این جابجایی موجب ترک‌های گسترشی در دیوارهای بنایی می‌شود. ترک نشان داده شده در عکس به صورت عمودی است و در غالب موارد نیز ترک گسترشی چنین حالتی دارد. باین وجود، در بعضی مواقع ترک در امتداد خطی که کمترین مقاومت را دارد ایجاد شده و در انتها به شکل پلکانی درمی‌آید.



شکل ۳. ترک‌های گسترشی در دیوار بنایی

ترک‌های گسترشی معمولاً در بالای بازشوهایی همچون در و پنجره دیده می‌شوند. در این مکان‌ها بازشو موجب کاهش ترک می‌شود. این نوع ترک دارای عرض ثابت بوده و همین عرض است که ترک گسترشی را از سایر انواع ترک‌های جدی‌تر متمایز می‌کند. ترک گسترشی هیچ‌گونه اهمیتی به لحاظ سازه‌ای ندارد اما ممکن است باعث نفوذ آب به حفره موجود در خانه‌های اجری شود و بعداً موجب تضعیف بسته‌ای دیوار شود؛ بنابراین توصیه می‌شود این ترک‌ها را با ماستیک پر کنید.



اما توصیه می‌شود برای پر کردن ترک‌های بزرگ‌تر از یک درز انبساط استفاده شود. این درز بر روی دیوار نصب شده و با یک ماده قابل فشرده شدن پر می‌شود و یک ماده ضد آب نیز در بیرون آن قرار داده می‌شود.

در بعضی ساختمان‌های مدرن این ترک‌ها در مرحله ساخت ایجاد می‌شوند و سپس در پشت ناودان‌ها مخفی می‌شوند.

ترک‌های بالای بازشوها در دیوارهای بنایی

چهار دلیل بروز ترک در بالای بازشوها در دیوارهای بنایی عبارت‌اند از:

برداشتن پنجره‌ها یا درها بدون در نظر گرفتن حائل

پیشامدگی‌های نامناسب

بارهایی که مستقیماً بر بالای بازشو اعمال می‌شوند.

عدم وجود نعل درگاه

برداشتن پنجره‌ها یا درها بدون در نظر گرفتن حائل: رایج‌ترین علت پیدایش این نوع شکاف‌ها در دیوار حذف چارچوب پنجره‌های فعلی برای نصب پنجره دوجداره (PVCu) است. بهترین تعمیر نصب مجدد نعل درگاه و تعمیر یا ساخت مجدد آجرکاری بالای بازشو و تعمیر دوباره پنجره است. تعمیر ضعیف فقط شامل تعمیر شکاف‌ها می‌شود. در این حالت آجرکاری بر روی چارچوب جدید قرار می‌گیرد. با این وجود وقتی پنجره جایگزین شود احتمال فروریختن آجرهای در قسمت بالای بازشو وجود دارد.

ترک‌های ناشی از پیشامدگی‌های نامناسب: طول یک پیشامدگی مناسب در نعل درگاهی بالای بازشوها باید ۱۵۰ میلی‌متر (۶ اینچ) در هر طرف باشد. اگر این طول ناکافی باشد نعل درگاه می‌افتاد و به این شکل ترک ایجاد می‌شود. در این وضعیت جایگزینی نعل درگاه توصیه می‌شود.

ترک‌های ناشی از وارد آمدن بار بر بالای درز: این ترک‌ها در بالای نعل‌های درگاهی طبقه اول و در جایی که لایه‌های سقف مستقیماً بر روی درزهای پنجره قرار دارند، ایجاد می‌شود. در این حالت بار وارده بر نعل درگاهی بسیار زیاد بوده و قدرت تحمل آن را نخواهد داشت. از این رو فشار رو به پایین موجب ایجاد ترک می‌شود. یک‌بار دیگر جایگزینی نعل درگاه توصیه می‌شود. شدت و عمر این ترک‌ها تعیین می‌کنند که آیا تا زمان تعویض پنجره تعمیر ساده بندها در قسمت اجر کاری کفایت خواهد کرد یا خیر.

ترک در دیوار بنایی که ناشی از عدم وجود نعل درگاه باشد: در بعضی بناها هیچ نعل درگاهی در چارچوب چوبی پنجره وجود ندارد که از دیوار بنایی پشتیبانی کند. در این حالت با تعویض پنجره ترک پدید می‌آید. در این صورت باید نعل‌های درگاهی جدید نصب و ترک‌ها تعمیر شوند.

ترک ناشی از شکست بست دیوار (اسکوپ)

بست‌های دیوار قطعاتی فلزی هستند که در دیوارهای توپر و حفره‌ای به منظور اتصال و فیکس کردن قسمت آجرکاری به قسمت درونی دیوار استفاده می‌شوند. شکست بست وقتی رخ می‌دهد که دچار زنگ‌زدگی شود. وقتی این بست‌های فلزی زنگ بزنند منبسط و باعث ایجاد ترک می‌شوند.

این ترک‌ها در هر ۶ ردیف اجر چینی و در درزها مشاهده می‌شوند. در چنین شرایطی جایگزینی بست‌ها بسیار ضروری است. ترک خوردن نشانه اولیه‌ای از یک مشکل است. بدون جایگزینی امکان فروریختن دیوار وجود دارد. تعمیر و حذف بسته‌ای فعلی برای رفع این ترک‌ها توصیه می‌شود.

ترک‌های ناشی از فرونشست

این نوع ترک بدترین و جدی‌ترین نوع ترک است که در دیوار بنایی ایجاد می‌شود و از این رو تعمیر آن از تعمیر سایر ترک‌ها دشوارتر است. فرونشست به چند دلیل رخ می‌دهد:

حفاری

نشت فاضلاب در زیرزمین

ریشه درختان

خاک رسی بودن خاک زیرین

تحلیل خاک زیرین

شن روان

این لیست بی‌پایان است اما مشکل اصلی یعنی حرکت فونداسیون مشابه است. ترک‌ها معمولاً اولین نشانه‌های بروز یک مشکل هستند. ترک‌های ناشی از فرونشست غالباً از نوع مورب هستند (عرض آن‌ها در بالای ترک به بیشترین میزان می‌رسد) و در گوشه‌های ساختمان یا از بالا به پایین در دیوارها پدید می‌آیند. تعمیر این نوع ترک معمولاً مستلزم تقویت فونداسیون است. اگرچه انجام آن مستلزم مشورت با مهندسان سازه است.

ترک دیوار ناشی از برآمدگی زمین

الگوی این ترک شبیه به ترک ناشی از فرونشست است اما عرض آن در پایین دیوار بیشترین مقدار را دارد. رایج‌ترین علت برآمدگی زمین انبساط خاک زیرین است که از رس تشکیل شده است.

در ساختمان‌های قدیمی که فونداسیون‌های ضعیف‌تری دارند خاک رس بسته به شرایط آب و هوایی منبسط و منقبض می‌شود. اگر این خاک از آب اشباع گردد ممکن است منبسط و فونداسیون را به سمت بالا هل داده و موجب پیدایش ترک شود.

حذف درختان نیز می‌تواند موجب برآمدگی زمین شود. به همین دلیل حذف درختان واقع در نزدیکی ساختمان باید در چند مرحله و در طول چند سال انجام شود تا زمین حرکت آهسته‌ای داشته باشد. در بعضی موارد حد تقویت پی یا اجرای فونداسیون عمیق‌تر تنها راه‌حل است. البته این کار اقدامی بسیار دشوار به حساب می‌آید.

ترک بتن بطور کلی به دو دسته تقسیم بندی می‌شوند:

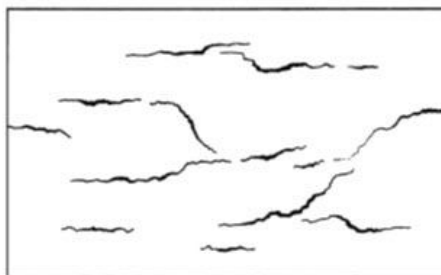
۱- ترک بتن تشکیل شده در زمان گیرش بتن

۲- ترک بتن تشکیل شده در زمان بهره برداری و سرویس دهی بتن

در ادامه به شرح کوتاهی از روند و مکانیزم تشکیل این ترک‌ها می‌پردازیم.

ترک‌های تشکیل شده در زمان گیرش بتن

این ترک‌ها در زمانی رخ می‌دهند که آب‌های سطحی بتن تازه ریخته شده به سرعت تبخیر شوند. مقاومت لایه‌های زیرین سطوح خشک شده سطحی در مقابل انقباض سطح باعث ایجاد یک تنش کششی می‌شود و لایه‌های ضعیف سطوح بتنی دچار ترک خوردگی‌های نامنظم و عمق‌های مختلف می‌شوند شکل (۱).



عرض این ترک‌ها نسبتاً گسترده و نزدیک به ۳ میلیمتر (۳/۸ اینچ) می‌باشد. طول این ترک‌ها از چند میلیمتر تا چندین متر می‌رسد. فاصله این ترک‌ها نسبت به یکدیگر از ۳ میلیمتر تا ۳ متر می‌باشد. ترک‌های خشک شدگی یا پلاستیکی بتن از جمله ترک‌های سطحی بوده که ممکن است در زمان سرویس دهی بتن تا عمق کامل بتن ادامه یابند از این رو ترمیم این

ترک ها الزامی می باشد. علت رخداد این ترک ها عوامل مختلفی می باشد که همگی آنها باعث کاهش و از بین رفتن رطوبت سطحی بتن می شود:

دمای هوا

دمای بتن

رطوبت نسبی و مطلق محیط

وزش بادهای محیطی

و ...

بتن های دارای آب کمتر در مقایسه با بتن های دارای آب بیشتر، کمتر دچار ترک خوردگی می شوند. اما در صورتی که این عامل به درستی کنترل نگردد، بتن دارای مقاومت فشاری، کششی و دوام کمتری در مدت زمان بهره برداری می شود. از این رو با پیش بینی مواردی سعی در بهینه یابی این امر نمودیم که بتوان با مقدار آب کمتر به تامین روانی بتن جهت دستیابی به سطحی مناسب جهت پرداخت دست یافت:

استفاده از روان کننده های بتن ((کاهنده آب))

استفاده از الیاف های ترکیبی

در ادامه با توجه به ضوابط و آیین نامه های مختلف به موارد زیر در جهت کنترل این نوع ترک ها می توان اشاره نمود:

استفاده از نازل های مخصوص (fog nozzle) جهت اشباع هوای محیط (محیط سطحی بتن تازه)

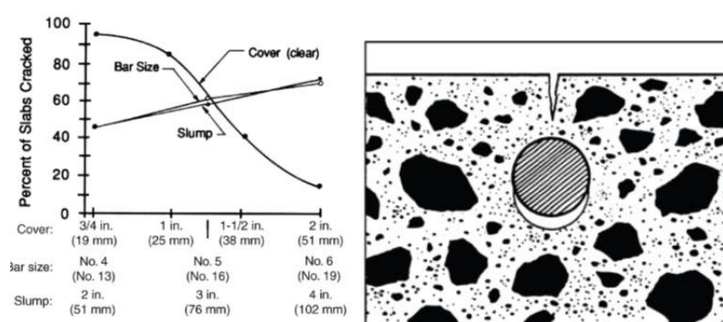
استفاده از روکش های پلاستیکی جهت پوشش سطوح بتنی

استفاده از بادشکن ها جهت کاهش سرعت باد

استفاده از سایبان ها در جهت کنترل دمای سطحی بتن

و ...

از آنجا که بتن تازه سعی در تحکیم لایه های خود بعد از قالب گیری، ویراتور و پرداخت دارد. از این رو در این پروسه بعلا وجود آرماتورها و لبه های داخلی موجب ایجاد حفرات و ترک ها در قسمت های میانی بتن می شود شکل (۲). در ارزیابی های بعمل آمده و آزمایش های متعدد صورت گرفته دریافت شد که این اندازه این ترک ها با افزایش سایز میلگرد، کاهش پوشش بتن، و افزایش اسلامپ، افزایش می یابد در شکل (۳) نموداری از روند اثر این پدیده ها در افزایش سایز ترک پرداخته است.



نرخ و مقدار رشد این نوع ترک ها شدیداً به موارد زیر وابسته می باشد:  
ویرنه ناکافی

استفاده از قالب های انعطاف پذیری

در مقالات بررسی شده توسط آقایان supernant and malisch در سال ۱۹۹۹ صورت گرفت، دریافت شده که استفاده از الیاف باعث کاهش شکل گیری این نوع ترک ها می شود.

از جمله راهکارهای منع ترک های تحکیمی بتن:

استفاده از قالب های استاندارد مطابق با استاندارد های بین المللی

ویبره ناکافی بتن

تنظیم فاصله زمانی بین بتن ریزی ها

کنترل شدید نسبت آب به سیمان پایین

افزایش پوشش های آب بند خارجی

افزودن الیاف

می توان اشاره نمود که زمانی که مواد قلیایی موجود در سیمان با سنگدانه های مستعد واکنش می دهد. در لبه های کناری

سنگدانه ها ژل قلیایی-سیلیکاتی که در اثر برخورد با رطوبت افزایش حجم می دهد که موجب افزایش تنش های داخلی

داخلی و زوال قطعه و در نهایت کل سازه می شود.

از جمله راهکارهای کنترلی می توان به موارد زیر اشاره نمود:

استفاده از سنگدانه های غیر واکنش پذیر

سیمان های با قلیایت پایین

پوزولان

استفاده از ژل میکروسیلیس

و ...

### ترک بر اثر هوازگی

سیکل های ذوب و یخبندان، تر و خشک شدن بتن و سرد و گرم شدن آن از جمله عوامل ترک خوردن بتن در اثر هوازگی

می باشد. در این میان ترک خوردگی بتن در اثر سیکل های ذوب و یخبندان شایع تر می باشد. این امر بعلاوه افزایش حجم

آب در اثر یخ زدن می باشد. بتن می تواند بهترین محافظ در برابر سیکل های ذوب و یخبندان باشد. با شرایطی که بتوان

الزامات زیر را رعایت نمود:

کاهش نسبت آب به سیمان(کاهش مقدار آب)

استفاده از سنگدانه های با دوام

استفاده از مواد حباب ساز

عمل آوری کامل

و ...

### از جمله عوامل ایجاد و انتشار ترک:

خوردگی میلگردها

بارگذاری بیش از اندازه

ساخت و بکارگیری مصالح ضعیف

خطای طراحی ساخت

درز های سرد اجرایی

ساخت و بکارگیری مصالح ضعیف

ترک های بوجود آمده در بتن سخت شده

گسترش ترک های جمع شدگی: در قسمت های قبل بطور کامل توضیح داده شد.

ترک های حرارتی:

تغییرات دمایی در سازه های بتنی باعث از دست رفتن بخشی از آب مورد نیاز جهت هیدراتاسیون سیمان و موجب تسریع در روند هیدراتاسیون می شود. این اختلالات دمایی در بسیاری از نواحی بتنی بسیار مشهود می باشد پس زمانی که تنشهای حرارتی که موجب تنش های کششی می شود. اگر از مقاومت کششی بتن بیشتر گردد، موجب رخداد ترک می شود.

از جمله راهکارهای کمک و بهبود ترک های ناشی از تغییرات دمایی می توان به موارد زیر اشاره نمود:

کاهش دمای داخلی بتن

کنترل نرخ خنک شدن و گیرش بتن

جلوگیری در بوجود آمدن اختلافات دمایی در بتن

افزایش مقاومت کششی بتن

و ..... .

واکنش های شیمیایی

رخداد واکنش های مضر یا آسیب رسان در بتن (از جمله واکنش هایی که موجب افزایش حجم می شود) از عوامل مهم در رخداد ترک می باشد. این واکنش ها ممکن است به دلیل مواد واکنش زا در بتن و یا نفوذ آنها به داخل بتن و واکنش با مواد سیمانی انجام شود. اگرچه راهکارهای جلوگیری از انجام این واکنش ها موجود می باشد اما بهترین و موثرترین راهکار استفاده از مواد مناسب و انجام آزمایشات بر روی مصالح اصلی قبل شروع به انجام کار می باشد. از اثرات این واکنش ها می توان به ترک خوردگی بتن در طول زمان اشاره نمود. بعنوان مثال واکنش سنگدانه های حاوی سیلیکای فعال و قلیایی با سیمان و افزودنی های دیگر یک واکنش افزایش حجم دهنده می باشد. که با افزایش تنش داخلی موجب ایجاد ترک و زوال سازه می شود.

## مراجع

- ۱- رزبایی عملکرد و روشهای مقاوم سازی سازه های بتنی موسسه خدمات فرهنگی فدک ، علیرضا رهایی و سعید نعمتی - سال ۱۳۸۳
- ۲- خواص بتن ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، هرمز فامیلی - ۱۳۷۸
- ۳- آسیب شناسی و بهسازی سازه های بتنی ، شرکت ابزار خاک ، محمود نادری - ۱۳۷۳
- ۴- ترک خوردگی در بتن و پلهای بتنی ، ارکان دانش ، رضا اکبری - مجید صباغ زاده - ۱۳۸۲
- ۵- مصور تعمیر و نگهداری بتن ، ارکان دانش - ترجمه رضا اکبری - ۱۳۸۶
- ۶- فرشاد وزین رام ، انواع ترک و روشهای تعمیر آن- ۱۳۸۳
- ۷- داود مستوفی نژاد، ترک خوردگی در بتن و روش های جلوگیری از آن، سمینار سازمان نظام مهندسی کهکلیویه و بویراحمد

## شناسایی غیر مخرب ترک با بکارگیری آنالیز موجک

### چکیده:

ترکها به این دلیل که بسیاری از شکست های سازه ای بسبب گسیختگی مواد تشکیل دهنده رخ می دهند، به عنوان تهدید جدی برای رفتار سازه محسوب می شوند، بر این اساس روش های نمایان سازی و تشخیص ترک موضوع تحقیقات گسترده ای است که در دهه گذشته انجام شده است. با توجه به تغییرات سختی (موضعی) ناشی از وجود ترک و تاثیر آن روی رفتار سازه، در این مقاله تشخیص ترک درونی (غیر لبه ای) در تیر یک سرگردار، که آنالیز هارمونیک (ارتعاش اجباری) بر روی آن انجام شده است، بر پایه تبدیل موجک (Wavelet Transform) تحقیق شده است. همچنین حساسیت روش مذکور نسبت به موقعیت و عمق ترک و امکان سنجی شناسایی ترک در این شرایط ارایه شده است.

واژگان: تست غیر مخرب، ترک، آنالیز موجک، عرض ترک

مقدمه:

متدهای پایش سلامت سازه‌ها (Structural Health Monitoring) موضوع تحقیقات پر دامنه‌ای می‌باشد که تاکنون انجام شده است، که روش‌های نمایان‌سازی ترک را (بدلیل اهمیت آن در شکست‌های سازه‌ای) می‌توان در زمره این متدها طبقه‌بندی کرد. ترک تغییرات موضعی سختی را سبب می‌شود که در رفتار دینامیکی سازه تاثیر قابل توجهی می‌گذارد. این موضوع در تغییر فرکانس طبیعی و مدشکل‌های لرزه‌ای قابل ملاحظه است، که تحلیل این تغییرات شناسایی ترکها را ممکن می‌سازد. در نیل به هدف شناسایی مشخصات ترک، دیمارگوناتس [۱] به عنوان ایده اولیه، ترک را به صورت نرمیت موضعی مدل کرد و سختی

معادل را توسط آزمایشاتی بدست آورد. چاندراس [۲] این روش را برای مطالعه پاسخ دینامیکی تیر ترک خورده بکار برد. کاوولی و آدامز [۳] روش تجربی را برای محاسبه موقعیت و عمق ترک از تغییرات در فرکانسهای طبیعی ارائه دادند. گودمانسون [۴] روش اختلال (آشفتگی) را برای پیش‌بینی تغییرات در فرکانسهای طبیعی سازه منتج از ترکها مورد استفاده قرار داد. از آن پس کارهای فراوانی برای شناسایی ترک براساس تغییرات فرکانس طبیعی انجام شد. اما در برخی موارد به دلیل کوچک بودن آسیب و وقوع خطا در اندازه‌گیری‌ها توانایی تشخیص مشخصات ترک کاهش می‌یافت. برای چیره شدن بر این مشکل استفاده از مدشکلها مورد توجه قرار گرفت. ریزاس [۵] روشی را پیشنهاد داد برای استفاده از دامنه اندازه‌گیری شده در دو نقطه از تیر طره که در یکی از مودهای طبیعی‌اش می‌لرزد. همچنین بعدها مقایسه دقیقی میان دو روش فرکانس-مبنا و مد شکل-مبنا برای شناسایی آسیب در تیرهای سازه‌ای توسط کیم و همکاران منتشر شد [۶]. از جمله مزایای استفاده از مدشکلها به این ترتیب عنوان شده است که تغییرات در مدشکلها بسیار حساس‌تر از فرکانس طبیعی می‌باشد.

با توجه به قابلیت بالای تبدیل موجک (Wavelet Transform) در تحلیل سیگنال پاسخ ارتعاشی یا استاتیکی یک سازه که شناسایی انواع ناپیوستگی یا ناهماهنگی (مانند کاهش ناگهانی سختی) را میسر می‌سازد و از روی گراف ضرایب موجک پیوسته (Continuous Wavelet Coefficients) به صورت یک یا چند نقطه نزدیک به هم دارای اغتشاش یا مقادیر ناهماهنگ با نقاط دیگر قابل تشخیص است، در مقاله حاضر تحقیق بر روی شناسایی ترک درونی در یک تیر یک سرگیردار که آنالیز هارمونیک در باند فرکانسی (۵۰۰-۰) هرترز که فرکانس‌های مود اول و دوم را در برمی‌گیرد، انجام شده و در فرکانس‌های تحریک اوج، عکس‌العمل تیر (نسبت به نیروی سینوسی با فرکانس تحریک مشخص) در نقاطی از آن برداشت شده و بر پایه تبدیل موجک شناسایی ترک بررسی خواهد شد.

## ۲- تبدیل موجک (WT):

تبدیل موجک یک سیگنال به صورت زیر بیان می‌شود [۷]:

$$W_x(\beta, \alpha) = |\alpha|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^* \left( \frac{t-\beta}{\alpha} \right) dt \quad (1)$$

بنابراین تبدیل موجک با ضرب داخلی  $f(t)$  و نسخه انتقال یافته و مقیاس شده تابع تکی  $\psi(t)$  که موجک نامیده می‌شود، بدست می‌آید، ( $\psi^*$  مزدوج مختلط تابع موجک است).

تبدیل موجک از کارآمدترین تبدیلات ریاضی بشمار می آید اما وقتی از یک تبدیل استفاده می شود بایستی مطمئن بود که سیگنال کاملاً می تواند از شکل بازنمایی یافته بازسازی شود. از طرف دیگر باز نمایی می تواند کاملاً یا نسبتاً بی معنی باشد. برای تبدیل موجک شرط بازسازی کامل عبارت است از:

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (2)$$

که  $\Psi(\omega)$  تبدیل فوریه موجک است. این شرط به عنوان شرط پذیرفتگی (Admissibility) برای موجک شناخته می شود. واضحاً برای اینکه موجک شرط بالا را داشته باشد بایستی:

$$\Psi(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (3)$$

به این معنی که موجک تابع نوسانی است با مقدار متوسط صفر، بعلاوه  $\Psi(\omega)$  باید با  $|\omega| \rightarrow 0$  و  $|\omega| \rightarrow \infty$  به سرعت کاهش یابد. لذا  $\psi(t)$  بایستی پاسخ ضربه میانگذر باشد. از آنجائیکه یک پاسخ ضربه میانگذر شبیه به یک موج کوچک است این تبدیل با عنوان تبدیل موجک شناخته می شود.

### ۳- تعریف مدل تحلیلی:

مطالعات و نتایج ارائه شده در این مقاله حاصل از آنالیز هارمونیک (ارتعاش اجباری) روی نمونه هایی از تیر یک سرگیردار (سالم و ترک خورده) با طول ۱۰۰ و با ارتفاع ۱۰ سانتیمتر می باشد. تحلیل مدلها به روش اجزای محدود و در نرم افزار ANSYS 9.0 صورت می گیرد. برای المان بندی تیر از المان PLANE 82 با ضخامت ثابت ۱ سانتیمتر استفاده شده است. در هر گره این المان ۲ درجه آزادی (حرکت انتقالی در جهت محورهای X, Y) وجود دارد [۸]. مصالح با مدول الاستیسیته  $2.1 \times 10^{10} \text{ kgf/m}^3$ ، وزن مخصوص  $7850 \text{ kgf/m}^3$  و ضریب پواسون 0.3 مورد استفاده قرار می گیرد.

### ۴- مطالعات عددی:

#### ۱.۴- بررسی تاثیر عمق ترک:

۹ نمونه تیر طره (یک نمونه سالم و ۸ نمونه ترک خورده با نسبت  $d/h$  (d: عمق ترک ، h: عمق تیر) متغیر ۰/۰۵ تا ۰/۶۰ (شکل ۱)) تحت بار هارمونیک با باند فرکانسی (۵۰۰-۰) با گام ۱۰ هرتز آنالیز می شوند. بعنوان مثال در شکل (۲) نمودار جابجایی-فرکانس برای یک نمونه ترک دار با  $d/h=0.20$  در نقاط ۰/۳۳، ۰/۶۶ و ۱ متری از انتهای گیردار نشان داده شده است. با مطالعه فرکانس تحریک اوج در تمام نمونه ها، این نمونه ها در فرکانسهای ۲۰ و ۳۰ هرتز و فرکانس اوج دوم، آنالیز مجدد می شوند. با برداشت ۲۰۱ داده با فواصل مساوی از تیر (جابجایی ماکزیمم در هر نقطه) و انجام آنالیز موجک با موجک Gaus4 در مقیاس ۸،



جدول ۱. امکان شناسایی ترک در ۳ فرکانس تحریک با ۳ حالت نمونه برداری در هر مورد

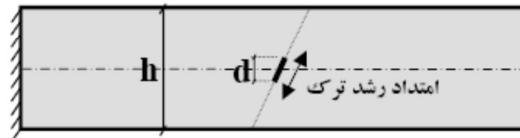
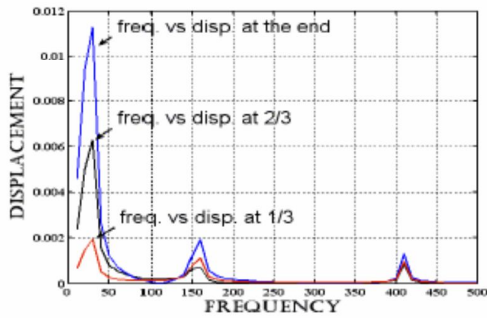
NO.	d/h (%)	فرکانس تحریک (hz)	تعداد داده	امکان شناسایی	NO.	d/h (%)	فرکانس تحریک (hz)	تعداد داده	امکان شناسایی	NO.	d/h (%)	فرکانس تحریک (hz)	تعداد داده	امکان شناسایی					
1	۰	۲۰	۲۰-۱	√	4	۱۵	۲۰	۲۰-۱	√	7	۴۰	۲۰	۲۰-۱	√					
			۵۱	√				۵۱	√				۳۶	-					
			۲۶	-				۲۶	-				۲۶	-					
		۳۰	۲۰-۱	√			۳۰	۲۰-۱	√			۱۶۰	۲۰-۱	-	۱۶۰	۲۰-۱	-	۲۰-۱	√
			۵۱	√				۵۱	√				۳۶	-		۵۱	√		
			۲۶	-				۲۶	-				۲۶	-		۲۶	√		
		۱۶۰	۲۰-۱	-			۱۶۰	۲۰-۱	-			۱۶۰	۲۰-۱	-	۱۶۰	۲۰-۱	-	۲۰-۱	√
			۵۱	-				۵۱	-				۳۶	-		۳۶	√		
			۲۶	-				۲۶	-				۲۶	-		۲۶	√		
2	۵	۲۰	۲۰-۱	-	5	۲۰	۲۰	۲۰-۱	√	8	۵۰	۲۰	۲۰-۱	√					
			۵۱	-				۵۱	√				۳۶	-	۳۶	√			
			۲۶	-				۲۶	√				۲۶	-	۲۶	√			
		۳۰	۲۰-۱	-			۳۰	۲۰-۱	√			۱۶۰	۲۰-۱	-	۱۶۰	۲۰-۱	-	۲۰-۱	√
			۵۱	-				۵۱	√				۳۶	-		۳۶	√		
			۲۶	-				۲۶	√				۲۶	-		۲۶	√		
		۱۶۰	۲۰-۱	-			۱۶۰	۲۰-۱	-			۱۶۰	۲۰-۱	-	۱۶۰	۲۰-۱	-	۲۰-۱	√
			۵۱	-				۵۱	-				۳۶	-		۳۶	√		
			۲۶	-				۲۶	-				۲۶	-		۲۶	√		
3	۱۰	۲۰	۲۰-۱	√	6	۳۰	۲۰	۲۰-۱	√	9	۶۰	۲۰	۲۰-۱	√					
			۵۱	-				۵۱	√				۳۶	-	۳۶	√			
			۲۶	-				۲۶	√				۲۶	-	۲۶	√			
		۳۰	۲۰-۱	√			۳۰	۲۰-۱	√			۱۶۰	۲۰-۱	√	۱۶۰	۲۰-۱	√	۲۰-۱	√
			۵۱	-				۵۱	√				۳۶	-		۳۶	√		
			۲۶	-				۲۶	√				۲۶	-		۲۶	√		
		۱۶۰	۲۰-۱	-			۱۶۰	۲۰-۱	-			۱۶۰	۲۰-۱	√	۱۶۰	۲۰-۱	√	۲۰-۱	√
			۵۱	-				۵۱	√				۳۶	-		۳۶	√		
			۲۶	-				۲۶	-				۲۶	-		۲۶	√		

## ۲.۴- بررسی تاثیر موقعیت ترک:

برای مطالعه تاثیر موقعیت ترک در تغییر محل آن در ارتفاع تیر و امکان شناسایی آن، ۱۰ نمونه تیر طره با ابعاد یکسان  $100 \times 100 \times 10$  سانتیمتر (یک نمونه سالم و ۹ نمونه ترک خورده با  $d/h=0/20$  ثابت، که مطابق شکل (۷) با  $\Delta y=1 \text{ cm}$  اختلاف ارتفاع مرکز هندسی ترک در دو نمونه متوالی است). در ارتفاع تغییر می کند) در نظر گرفته می شود. بمانند حالت قبل نمونه ها تحت بار هارمونیک با باند فرکانسی (۵۰۰-۰) با گام ۱۰ هرتز تحلیل می شوند. با مطالعه فرکانسهای تحریک اوج در همه نمونه ها، مطابق شکل (۸) که متعلق به نمونه ای با مرکز هندسی ترک  $y=0/03$  می باشد، فرکانسهای ۲۰ و ۳۰ هرتز و فرکانس اوج دوم برای آنالیز مجدد هر نمونه انتخاب می شود. امکان سنجی شناسایی ترک در ۳ حالت نمونه برداری ۲۰۱، ۵۱ و ۲۶ داده از تیر در ۳ فرکانس تحریک و انجام آنالیز موجک با موجک Gaus4 به ترتیب در مقیاسهای ۶، ۲ و ۱ نشاندهنده قابلیت تشخیص ترک در تمام حالات گفته شده می باشد. برای نمونه ای با  $y=0/03$ ، عکس العمل تیر در فرکانس تحریک ۱۶۰ هرتز و ضرایب موجک پیوسته در اشکال (۹ و ۱۰) داده شده است.

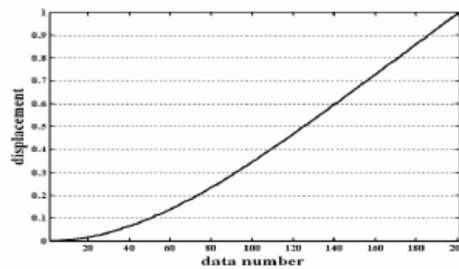
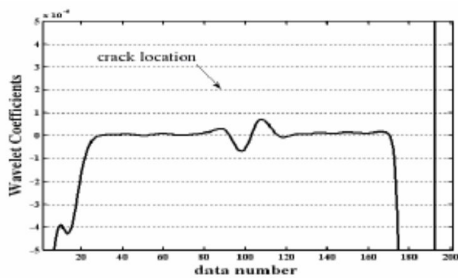
برای بررسی تاثیر موقعیت ترک، مقادیر ماکزیمم نمودار ضرایب موجک (که در ناحیه ترک خورده قرار خواهد داشت) در ۱۰ نمونه یاد شده در فرکانسهای ۲۰ و ۳۰ هرتز در اشکال (۱۱ و ۱۲) نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل از دو نمودار می توان دریافت که بدترین موقعیت برای شناسایی ترک وقتی

ضرایب موجک پیوسته (CWTs) در هر مورد استخراج می‌شوند. برای نمونه در تیر ترک‌دار با  $d/h=0.20$  عکس‌العمل تیر در فرکانس ۳۰ هرتز و نمودار ضرایب موجک برای امکان شناسایی ترک در اشکال (۳ و ۴) نشان داده شده است. امکان سنجی شناسایی ترک زمانی که تعداد نمونه برداری از تیر به  $1/4$  (۵۱ داده) و  $1/8$  (۲۶ داده) مقدار اولیه کاهش می‌یابد، در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱. تیر طره با ترک مدل شده در آن  
(نمونه‌های ۲ تا ۸ با  $d/h=0.05$  تا  $d/h=0.60$ )

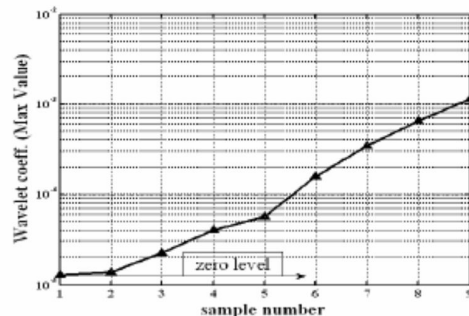
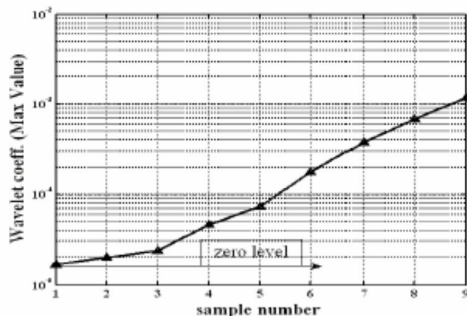
شکل ۲. نمودار جابجایی - فرکانس ۳ نقطه از تیر



شکل ۴. گراف CWT برای عکس‌العمل تیر در  $freq=30$

شکل ۳. عکس‌العمل تیر در  $freq=30$  hz

برای بررسی تاثیر عمق ترک، مقادیر ماکزیمم نمودار ضرایب موجک (که در ناحیه ترک خورده قرار دارد) در ۹ نمونه ذکر شده در فرکانسهای ۲۰ و ۳۰ هرتز تهیه و در اشکال (۵ و ۶) نشان داده شده است. با توجه به این دو نمودار، و جدول (۱)، می‌توان دریافت که شناسایی ترک درونی با  $d/h$  پایین تر از ۱۰٪ امکان پذیر نیست. همچنین با بالا رفتن عمق ترک مقدار ضرایب موجک در محل ترک افزایش می‌یابد.



شکل ۵. نمودار  $CWT_{max}$  برای حالت  $freq=30$  hz

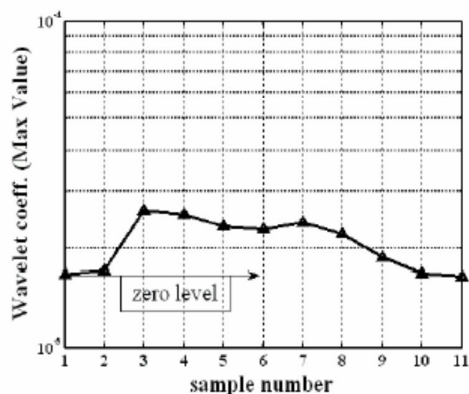
شکل ۶. نمودار  $CWT_{max}$  برای حالت  $freq=20$  hz

حال برای مطالعه تاثیر موقعیت ترک در جابجایی افقی آن بر قدرت شناسایی ترک، ۱۱ نمونه تیر طره با ابعاد ثابت  $100 \times 100 \times 1$  شامل ۱ نمونه سالم و ۱۰ نمونه ترک خورده با انتقال ترک با  $d/h=0.10$  ثابت در طول تیر (شکل ۱۳)، بمانند روند گفته شده در قبل تحت آنالیز هارمونیک با باند فرکانسی (۵۰۰-۰) با گام ۱۰ هرتز قرار می گیرند. با مطالعه فرکانس تحریک اوج در تمام نمونه ها، این نمونه ها در فرکانسهای ۲۰ و ۳۰ هرتز و فرکانس اوج دوم آنالیز مجدد می شوند. با برداشت ۲۰۱ داده با فواصل مساوی از تیر و انجام آنالیز موجک با موجک Gaus4 در مقیاس ۸ ضرایب موجک پیوسته در هر مورد بدست می آیند. اینبار نیز برای بررسی تاثیر موقعیت ترک، مقادیر ماکزیمم نمودار ضرایب موجک (که در ناحیه ترک خورده قرار دارند) در ۱۱ نمونه یاد شده در فرکانسهای ۲۰ و ۳۰ هرتز در اشکال (۱۴ و ۱۵) نشان داده شده است. با بررسی دو نمودار می توان دریافت که شناسایی ترک در نمونه های ۲، ۱۰ و ۱۱ امکان پذیر نیست پس تاثیر اغتشاش ناشی از تکیه گاه کمتر از انتهای آزاد می باشد. در هر دو حالت ترک در وسط (از لحاظ طولی) پایین ترین عکس العمل را در ضرایب موجک ایجاد می کنند البته بجز زمانی که ترک به انتهای آزاد نزدیک می شود و ضرایب موجک تحت تاثیر آن قرار می گیرند.

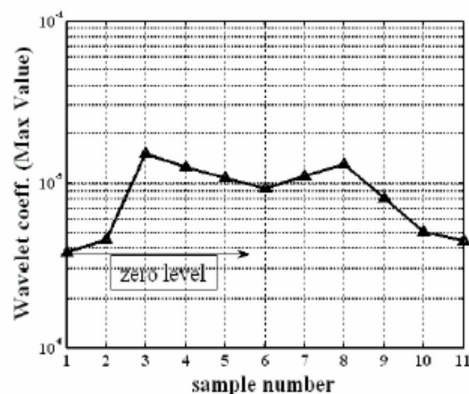


شکل ۱۳. تیر طره با ترک مدل شده در آن

(نمونه های ۲ تا ۱۱ با  $x=5\text{cm}$  تا  $x=95\text{cm}$ ،  $\text{step}=10\text{cm}$ )



شکل ۱۵. نمودار  $CWT_{max}$  برای حالت  $\text{freq}=30\text{ hz}$



شکل ۱۴. نمودار  $CWT_{max}$  برای حالت  $\text{freq}=20\text{ hz}$

نتایج:

با توجه به بررسی انجام شده در تحقیق حاضر، بطور اجمالی می توان به نکات زیر اشاره کرد:

- ۱- آنالیز موجک از جمله روشهای کارا در شناسایی غیر مخرب ترک در سیستم سازه ای محسوب می شود.
- ۲- با بررسی انواع موجکها در تحلیل دادهها، موجک Gauss4 به عنوان موجکی مفید برای تشخیص ترک معرفی می شود.
- ۳- آنالیز در مقیاس پایین برای تعداد کم نمونه برداری که با کاهش اثرات انتهایی همراه است (مانند مقیاس ۲ و ۱ که در این مقاله به ترتیب برای آنالیز ۵۱ و ۲۶ داده ای در نظر گرفته شده است.) و در مقیاس بالا برای شناسایی ترک با عمق کم یا با موقعیتی مانند وسط تیر (ضعیف ترین موقعیت تشخیص) توصیه می شود.
- ۴- انتهای آزاد تیر تاثیر بالاتری نسبت به انتهای تکیه گاهی از لحاظ ایجاد اغتشاش در نمودار ضرایب موجک پیوسته (CWTs) دارد. لذا در شرایط یکسان تشخیص ترک در انتهای آزاد ضعیف تر از انتهای تکیه گاهی خواهد بود.
- ۵- در ۹ حالت بررسی شده (۳ حالت نمونه برداری در ۳ فرکانس تحریک) برای کل نمونه ها وقتی ترک در مرکز هندسی تیر قرار دارد پایین ترین امکان تشخیص اتفاق می افتد، بجز شرایطی که سیستم دارای انتهای آزاد می باشد که با نزدیک شدن ترک به این انتها،  $CWT_{max}$  تحت تاثیر آن قرار گرفته و کاهش می یابد.
- ۶-  $d/h=0.10$  (وقتی که ترک در مرکز هندسی تیر قرار دارد) بعنوان پایین ترین سطح شناسایی ترک معرفی می شود.
- ۷- هر چه موقعیت برداشت داده به ناحیه ترک خورده نزدیک باشد شناسایی بهتر صورت می گیرد.

مراجع:

- 1- Dimarogonas A.D., 1976, Vibration engineering, West Publishers, St. Paul, MN.
- 2- Chondros T., 1977, Dynamic response of cracked beams, M. Sc. Thesis, university of patras, Greece.
- 3- Cawley P., Adams R.D., 1979, Defect location in structures by a vibration technique, American society of Mechanical Engineering Technical Conference, paper 79-46, St. Louis.
- 4- Gudmaunson P., 1982, Enginefrequency changes of structures due to cracks, notches or other geometrical changes. Journal of Mechanics and Physics of Solids 30, P.P. 339-353.
- 5- Rizos P., Aspragathos N., Dimarogonas A.D., 1990, Identification of crack location and magnitude in a cantilever beam from the vibration modes. Journal of Sound and Vibration 138, P.P. 381-388.
- 6- Kim T.J., Ryu Y.S., Cho H.M., Stubbs N., 2003, Damage identification in beam-type structures: frequency based method vs. modeshape-based method. Engineering Structures 25, P.P. 57-67.
- 7- Mallat, S.G., 1997, A Wavelet tour of Signal Processing, Ecole Polytechnique, Paris. Courant Institute, New York University, P.P. 145-151.
- 8- Ansys Element Reference, Element Library.

- Plastic shrinkage **concrete cracks**. ...
  - Expansion **concrete cracks**.
  - Heaving **concrete cracks**.
  - Settling **concrete cracks**. ...
  - **Concrete cracks** caused by overloading the slab. ...
  - **Concrete cracks** caused by premature drying.
- Stitching
  - Muting and sealing
  - Resin injection

- Dry packing
- Polymer impregnation
- Vacuum impregnation
- Autogenous healing
- Flexible sealing
- Drilling and plugging
- Bandaging

### **Stitching of Concrete**

In this technique, the crack is bridged with U-shaped metal units called stitching dogs before being repaired with a rigid resin material. A non-shrink grout or an epoxy resin based adhesive should be used to anchor the legs of the dogs. Stitching is suitable when tensile strength must be re-established across major cracks. Stitching dogs should be of variable length and orientation.

#### **Benefits Of Cracked Stitching**

1. Quick, simple, effective and permanent.
2. The grout combination provides an excellent bond within the substrate.
3. Masonry remains flexible enough to accommodate natural building movement.
4. Non-disruptive structural stabilization with no additional stress

### **Muting And Sealing**

This is the simplest and most common method of crack repair. It can be executed with relatively unskilled labor and can be used to seal both fine pattern cracks and larger isolated cracks. This involves enlarging the crack along its exposed face and sealing it with crack fillers. Care should be taken to ensure that the entire crack is routed and sealed.

### **Resin Injection**

Epoxy resins are usually selected for crack injection because of their high mechanical strength and resistance to most chemical environments encountered by concrete. Epoxies are rigid and not suitable for active cracks. This method is used to restore the structural soundness of members where cracks are dormant or can be prevented from further movements.

### **Underpinning**

Underpinning is the process of strengthening and stabilizing the foundation of an existing building or other structure. Foundation underpinning is a means of transferring loads to deeper soils or bedrock.

#### **Pit Underpinning**

1. To obtain additional foundation capacity
2. To modify the existing foundation system
3. To create new foundations through which the existing load may be wholly or partially transferred into deeper soil
4. To arrest the excessive settlement

5. To improve the future performance of the existing foundations

### **When Is Underpinning Required?**

- Construction of a new project with deeper foundation adjacent to an existing building.
- Change in the use of structure
- The properties of the soil supporting the foundation may have changed or was mischaracterized during planning.
- To support a structure which is sinking or tilting due to ground subsidence or instability of the super structure

### **Methods Used For Underpinning**

- Pit Underpinning
- Push Piers System
- Helical Pier System
- Pile Underpinning
- Other Methods
- Chemical Grouting
- Micro fine Grouting
- Micro piles

### **Fire Damage Repairs**

- Timber structures may be repaired with new timbers or composites of steel and timber members.
- Steel structures are normally repaired with steel.
- Both concrete and masonry structural elements are frequently repaired with fiber reinforced polymers (FRP).
- Concrete structures are occasionally repaired with shotcrete

### **Types of Cracks in Fresh and Hardened Concrete**

#### **Cracking of in Fresh or Plastic Concrete**

##### **1. Plastic shrinkage Cracks**

Plastic shrinkage cracking (Fig.1) occurs when subjected to a very rapid loss of moisture caused by a combination of factors which include air and concrete temperatures, relative humidity, and wind velocity at the surface of the concrete. These factors can combine to cause high rates of surface evaporation in either hot or cold weather.” When moisture evaporates from the surface of freshly placed concrete faster than it is replaced by bleed water, the surface concrete shrinks. Since plastic shrinkage cracking is due to a differential volume change in the plastic concrete, successful control measures require a reduction in the relative volume change between the surface and other portions of the concrete. These measures include the use of fog nozzles to saturate the air above the surface and the use of plastic sheeting to cover the surface between finishing operations.

#### **Fig.1: Typical Plastic Shrinkage Cracks in Concrete**

##### **2. Settlement Cracks in Concrete**

After initial placement, vibration, and finishing, concrete has a tendency to continue to consolidate. During this period, the plastic concrete may be locally restrained by reinforcing steel, a prior concrete placement, or formwork. This local restraint may result in voids and/or cracks adjacent to the restraining element (Fig.2).

When associated with reinforcing steel, settlement cracking increases with increasing bar size, increasing slump, and decreasing cover (Dakhil et al. 1975). The use of the lowest possible slump, and an increase in concrete cover will reduce settlement cracking.

## **Fig.2: Settlement Cracks in Concrete**

### Cracks in Hardened Concrete

#### 1. Drying Shrinkage Cracks

Common cause of cracking in concrete is restrained drying shrinkage. Drying shrinkage is caused by the loss of moisture from the cement paste constituent, which can shrink by as much as 1 percent. Fortunately, aggregate provides internal restraint that reduces the magnitude of this volume change to about 0.06 percent. On wetting, concrete tends to expand. These moisture-induced volume changes are a characteristic of concrete. If the shrinkage of concrete could take place without restraint, the concrete would not crack. The higher the water content, the greater the amount of drying shrinkage (U.S. Bureau of Reclamation 1975). Drying shrinkage can be reduced by increasing the amount of aggregate and reducing the water content.

#### 2. Cracks due to Thermal Stresses

Temperature differences within a concrete structure may be caused by portions of the structure losing heat of hydration at different rates or by the weather conditions cooling or heating one portion of the structure to a different degree or at a different rate than another portion of the structure. These temperature differences result in differential volume changes. When the tensile stresses due to the differential volume changes exceed the tensile stress capacity, concrete will crack. Cracking in mass concrete can result from a greater temperature on the interior than on the exterior. Procedures to help reduce thermally-induced cracking include reducing the maximum internal temperature, delaying the onset of cooling, controlling the rate at which the concrete cools, and increasing the tensile strength of the concrete.

#### 3. Cracks due to Chemical Reaction

Deleterious chemical reactions may cause cracking of concrete. These reactions may be due to materials used to make the concrete or materials that come into contact with the concrete after it has hardened. Some general concepts for reducing adverse chemical reactions are presented here, but only pretesting of the mixture or extended field experience will determine the effectiveness of a specific measure. Concrete may crack with time as the result of slowly developing expansive reactions between aggregate containing active silica and alkalis derived from cement hydration, admixtures, or external sources (e.g., curing water, ground water, alkaline solutions stored or used in the finished structure). The alkali-silica reaction results in the formation of a swelling gel, which tends to draw water from other portions of the concrete. This causes local expansion and accompanying tensile stresses, and may eventually result in the complete deterioration of the structure.

#### 4. Weathering Cracks

The weathering processes that can cause cracking include freezing and thawing, wetting, drying, heating and cooling. Cracking of concrete due to natural weathering is usually conspicuous, and it may give the impression that the concrete is on the verge of disintegration, even though the deterioration may not have progressed much below the surface. Damage from freezing and thawing is the most common weather-related physical deterioration. Concrete is best protected against freezing and thawing through the use of the lowest practical water cement ratio and total water content, durable aggregate and adequate air entrainment. Adequate curing prior to exposure to freezing conditions is also important. Allowing the structure to dry after curing will enhance its freezing and thawing durability. Other weathering processes that may cause cracking in concrete

are alternate wetting and drying, and heating and cooling. Both processes produce volume changes that may cause cracking. If the volume changes are excessive, cracks may occur.

#### 5. Corrosion of Reinforcement

Corrosion of a metal is an electrochemical process that requires an oxidizing agent, moisture, and electron flow within the metal; a series of chemical reactions takes place on and adjacent to the surface of the metal (ACI 201.2R). The key to protecting metal from corrosion is to stop or reverse the chemical reactions. This may be done by cutting off the supplies of oxygen or moisture or by supplying excess electrons at the anodes to prevent the formation of the metal ions (cathodic protection). Reinforcing steel usually does not corrode in concrete because a tightly adhering protective oxide coating forms in the highly alkaline environment. This is known as passive protection. Reinforcing steel may corrode, however, if the alkalinity of the concrete is reduced through carbonation or if the passivity of this steel is destroyed by aggressive ions (usually chlorides). Corrosion of the steel produces iron oxides and hydroxides, which have a volume much greater than the volume of the original metallic iron (Verbeck 1975). This increase in volume causes high radial bursting stresses around reinforcing bars and results in local radial cracks. These splitting cracks can propagate along the bar, resulting in the formation of longitudinal cracks (i.e., parallel to the bar) or spalling of the concrete. A broad crack may also form at a plane of bars parallel to a concrete surface, resulting in delamination, a well-known problem in bridge decks. Cracks provide easy access for oxygen, moisture, and chlorides, and thus, minor splitting cracks can create a condition in which corrosion and cracking are accelerated. Cracks transverse to reinforcement usually do not cause continuing corrosion of the reinforcement if the concrete has low permeability. This is due to the fact that the exposed portion of a bar at a crack acts as an anode. At early ages, the wider the crack, the greater the corrosion, simply because a greater portion of the bar has lost its passive protection. However, for continued corrosion to occur, oxygen and moisture must be supplied to other portions of the same bar or bars that are electrically connected by direct contact or through hardware such as chair supports. If the combination of density and cover thickness is adequate to restrict the flow of oxygen and moisture, then the corrosion process is self sealing (Verbeck 1975). Corrosion can continue if a longitudinal crack forms parallel to the reinforcement, because passivity is lost at many locations, and oxygen and moisture are readily available along the full length of the crack. Other causes of longitudinal cracking, such as high bond stresses, transverse tension (for example, along stirrups or along slabs with two-way tension), shrinkage, and settlement, can initiate corrosion. For general concrete construction, the best protection against corrosion-induced splitting is the use of concrete with low permeability and adequate cover. Increased concrete cover over the reinforcing is effective in delaying the corrosion process and also in resisting the splitting and spalling caused by corrosion or transverse tension (Gergely 1981; Beeby 1983). In the case of large bars and thick covers, it may be necessary to add small transverse reinforcement (while maintaining the minimum cover requirements) to limit splitting and to reduce the surface crack width (ACI 345R). In very severe exposure conditions, additional protective measures may be required. A number of options are available, such as coated reinforcement, sealers or overlays on the concrete, corrosion-inhibiting admixtures, and cathodic protection (NCHRP Synthesis 57). Any procedure that effectively prevents access of oxygen and moisture to the steel surface or reverses the electron flow at the anode will protect the steel. In most cases, concrete must be allowed to breathe, that is any concrete surface treatment must allow water to evaporate from the concrete.



## 6. Poor Construction Practices

A wide variety of poor construction practices can result in cracking in concrete structures. Foremost among these is the common practice of adding water to concrete to improve workability. Added water has the effect of reducing strength, increasing settlement, and increasing drying shrinkage. When accompanied by a higher cement content to help offset the decrease in strength, an increase in water content will also mean an increase in the temperature differential between the interior and exterior portions of the structure, resulting in increased thermal stresses and possible cracking. By adding cement, even if the water-cement ratio remains constant, more shrinkage will occur since the relative paste volume is increased. Lack of curing will increase the degree of cracking within a concrete structure. The early termination of curing will allow for increased shrinkage at a time when the concrete has low strength. The lack of hydration of the cement, due to drying, will result not only in decreased long-term strength, but also in the reduced durability of the structure. Other construction problems that may cause cracking are inadequate formwork supports, inadequate consolidation and placement of construction joints at points of high stress. Lack of support for forms or inadequate consolidation can result in settlement and cracking of the concrete before it has developed sufficient strength to support its own weight, while the improper location of construction joints can result in the joints opening at these points of high stress. **Methods to prevent cracking due to these and other poor construction procedures** are well known (see ACI 224R, ACI 302.1R, ACI 304R, ACI 305R, ACI 308, ACI 309R, ACI 345R, and ACI 347R), but require special attention during construction to insure their proper execution.

## 7. Construction Overloads

Loads induced during construction can often be far more severe than those experienced in service. Unfortunately, these conditions may occur at early ages when the concrete is most susceptible to damage and they often result in permanent cracks. Precast members, such as beams and panels, are most frequently subject to this abuse, but cast-in-place concrete can also be affected. A common error occurs when precast members are not properly supported during transport and erection. The use of arbitrary or convenient lifting points may cause severe damage. Lifting eyes, pins, and other attachments should be detailed or approved by the designer. When lifting pins are impractical, access to the bottom of a member must be provided so that a strap may be used. The **PCI Committee on Quality Control Performance Criteria** (1985, 1987) provides additional information on the causes, prevention and repair of cracking related to fabrication and shipment of precast or prestressed beams, columns, hollow core slabs and double tees. Operators of lifting devices must exercise caution and be aware that damage may be caused even when the proper lifting accessories are used. A large beam or panel lowered too fast, and stopped suddenly, results in an impact load that may be several times the dead weight of the member. Another common construction error that should be avoided is prying up one corner of a panel to lift it off its bed or "break it loose." When considering the support of a member for shipment, the designer must be aware of loads that may be induced during transportation. Some examples that occur during shipment of large precast members via tractor and trailer are jumping curbs or tight highway corners, torsion due to differing roadway superelevations between the trailer and the tractor, and differential acceleration of the trailer and the tractor. Pretensioned beams can present unique cracking problems at the time of stress release-usually when the beams are less than one day old. Multiple strands must be detensioned following a specific pattern, so as not to place unacceptable eccentric loads on the member. If all of the strands on one side of the beam are released while the strands on the other side are still stressed, cracking may occur on the side with the unreleased strands. These cracks are undesirable, but should close with the release of the balance of the

strands. In the case of a T-beam with a heavily reinforced flange and a highly prestressed thin web, cracks may develop at the web-flange junction. Another practice that can result in cracks near beam ends is tack welding embedded bearing plates to the casting bed to hold them in place during concrete placement. The tack welds are broken only after enough prestress is induced during stress transfer to break them. Until then, the bottom of the beam is restrained while the rest of the beam is compressed. Cracks will form near the bearing plates if the welds are too strong. Thermal shock can cause cracking of steam-cured concrete if it is treated improperly. The maximum rate of cooling frequently used is 70 F (40 C) per hour (ACI 517.2R; Verbeck 1958; Shideler and Toennies 1963; Kirkbride 1971b). When brittle aggregate is used and the strain capacity is low, the rate of cooling should be decreased. Even following this practice, thermally induced cracking often occurs. Temperature restrictions should apply to the entire beam, not just locations where temperatures are monitored. If the protective tarps used to contain the heat are pulled back for access to the beam ends when cutting the strands, and if the ambient temperatures are low, thermal shock may occur. Temperature recorders are seldom located in these critical areas. Similar conditions and cracking potential exist with precast blocks, curbs, and window panels when a rapid surface temperature drop occurs. It is believed by many (ACI 517.2R; Mansfield 1948; Nurse 1949; Higginson 1961; Jastnebski 1961; Butt et al. 1969; Kirkbride 1971a; Concrete Institute of Australia 1972; PCI Energy Committee 1981) that rapid cooling may cause cracking only in the surface layers of very thick units and that rapid cooling is not detrimental to the strength or durability of standard precast products (PCI Energy Committee 1981). One exception is transverse cracking observed in pretensioned beams subjected to cooling prior to detensioning. For this reason, pretensioned members should be detensioned immediately after the steam-curing has been discontinued (PCI Energy Committee 1981). Cast-in-place concrete can be unknowingly subjected to construction loads in cold climates when heaters are used to provide an elevated working temperature within a structure. Typically, tarps are used to cover windows and door openings, and high volume heaters are operated inside the enclosed area. If the heaters are located near exterior concrete members, especially thin walls, an unacceptably high thermal gradient can result within the members. The interior of the wall will expand in relation to the exterior. Heaters should be kept away from the exterior walls to minimize this effect. Good practice also requires that this be done to avoid localized drying shrinkage and carbonation cracking. Storage of materials and the operation of equipment can easily result in loading conditions during construction far more severe than any load for which the structure was designed. Tight control must be maintained to avoid overloading conditions. Damage from unintentional construction overloads can be prevented only if designers provide information on load limitations for the structure and if construction personnel heed these limitations.

#### 8. Errors in Design and Detailing

The effects of improper design and/or detailing range from poor appearance to lack of serviceability to catastrophic failure. These problems can be minimized only by a thorough understanding of structural behavior (meant here in the broadest sense). Errors in design and detailing that may result in unacceptable cracking include use of poorly detailed reentrant corners in walls, precast members and slabs, improper selection and/or detailing of reinforcement, restraint of members subjected to volume changes caused by variations in temperature and moisture, lack of adequate contraction joints, and improper design of foundations, resulting in differential movement within the structure. Examples of these problems are presented by Kaminetzky (1981) and Price (1982). Reentrant corners provided a location for the concentration of stress and, therefore, are prime locations for the initiation of cracks. Whether the high stresses result from

volume changes, in-plane loads, or bending, the designer must recognize that stresses are always high at reentrant corners. Well-known examples are window and door openings in concrete walls and dapped end beams, as shown in Fig. 4 and 5. Additional properly anchored diagonal reinforcement is required to keep the inevitable cracks narrow and prevent them from propagating. The use of an inadequate amount of reinforcing may result in excessive cracking. A typical mistake is to lightly reinforce a member because it is a “non structural member.” However, the member (such as a wall) may be tied to the rest of the structure in such a manner that it is required to carry a major portion of the load once the structure begins to deform. The “non structural element” then begins to carry loads in proportion to its stiffness. Since this member is not detailed to act structurally, unsightly cracking may result even though the safety of the structure is not in question. The restraint of members subjected to volume changes results frequently in cracks. Stresses that can occur in concrete due to restrained creep, temperature differential, and drying shrinkage can be many times the stresses that occur due to loading. A slab, wall, or a beam restrained against shortening, even if prestressed, can easily develop tensile stresses sufficient to cause cracking. Properly designed walls should have contraction joints spaced from one to three times the wall height. Beams should be allowed to move. Cast-in-place post-tensioned construction that does not permit shortening of the prestressed member is susceptible to cracking in both the member and the supporting structure (Libby 1977). The problem with restraint of structural members is especially serious in pretensioned and precast members that may be welded to the supports at both ends. When combined with other problem details (such as reentrant corners), results may be catastrophic (Kaminetzky 1981; Mast 1981). Improper foundation design may result in excessive differential movement within a structure. If the differential movement is relatively small, the cracking problems may be only visual in nature. However, if there is a major differential settlement, the structure may not be able to redistribute the loads rapidly enough, and a failure may occur. One of the advantages of reinforced concrete is that, if the movement takes place over a long enough period of time, creep will allow at least some load redistribution to take place. The importance of proper design and detailing will depend on the particular structure and loading involved. Special care must be taken in the design and detailing of structures in which cracking may cause a major serviceability problem. These structures also require continuous inspection during all phases of construction to supplement the careful design and detailing.

**Fig.4: Concrete Cracks at Restraint Corners**

**Fig.5: Crack Patterns at Dapped End Beams**

9. Externally Applied Loads

It is well known that load-induced tensile stresses result in cracks in concrete members. This point is readily acknowledged and accepted in concrete design. Current design procedures (ACI 318 and AASHTO) Standard Specifications for Highway Bridges) use reinforcing steel, not only to carry the tensile forces, but to obtain both an adequate distribution of cracks and a reasonable limit on crack width. Current knowledge of flexural members provides the basis for the following general conclusions about the variables that control cracking: Crack width increases with increasing steel stress, cover thickness and area of concrete surrounding each reinforcing bar. Of these, steel stress is the most important variable. The bar diameter is not a major consideration. The width of a bottom crack increases with an increasing strain gradient between the steel and the tension face of the beam. The equation considered to best predict the most probable maximum surface crack width in bending was developed by Gergely and Lutz (1968). A simplified version of this equation is:

A modification of this equation is used in ACI 318, which effectively limits crack widths to 0.016 in. (0.41 mm) for interior exposure and 0.013 in. (0.33

mm) for exterior exposure. However, there is little correlation between surface crack width for cracks transverse to bars and the corrosion of reinforcing, these limits do not appear to be justified on the basis of corrosion control. There have been a number of equations developed for prestressed concrete members (ACI 224R), but no single method has achieved general acceptance. The maximum crack width in tension members is larger than that predicted by the expression for flexural members (Broms 1965; Broms and Lutz 1965). Absence of a strain gradient and compression zone in tension members is the probable reason for the larger crack widths. On the basis of limited data, the following expression has been suggested to estimate the maximum crack width in direct tension (ACI 224R):  $w = 0.10 f_s (dc A)^{0.33} \times 10^{-3}$  (2) Additional information on cracking of concrete in direct tension is provided in ACI 224.2R. Flexural and tensile crack widths can be expected to increase with time for members subjected to either sustained or repetitive loading. Although a large degree of scatter is evident in the available data, a doubling of crack width with time can be expected (Abeles et al. 1968; Bennett and Dave 1969; Illston and Stevens 1972; Holmberg 1973; Rehm and Eligehausen 1977). Although work remains to be done, the basic principles of crack control for load-induced cracks are well understood. Well-distributed reinforcing offers the best protection against undesirable cracking. Reduced steel stress, obtained through the use of a larger amount of steel, will also reduce the amount of cracking. While reduced cover will reduce the surface crack width, designers must keep in mind that cracks (and therefore, crack widths) perpendicular to reinforcing steel do not have a major effect on the corrosion of the steel, while a reduction in cover will be detrimental to the corrosion protection of the reinforcing.