## خوردگی تاسیسات بتنی تصفیه خانه های آب و فاضلاب

شاید شما از پوشش دهی بتن متعجب شوید بنظر می رسد بتن خود سطحی کاملا سخت دارد. در حقیقت هم اگر طراحی و ساخت بتن بخوبی انجام شده باشد می توان گفت که یکی از قویترین مواد ساختمانی موجود می باشد.

اماباید توجه داشت که حتی پس از اختلاط سیمان و شن و هیدراته شدن (ترکیب شیمیایی با آب) نیز بتن قادر به تحمل بسیاری از محیطها نمی باشد و همانطوریکه پوشش دهی فولاد باعث افزایش عمر آن می گردد، پوشش دهی بتن نیز باعث عمر بیشتر آن خواهد گردید.

در این مقاله درباره اصول اولیه تهیه بتن و نیز مشخصات بتن فاقد پوشش که آنرا مستعد آسیب پذیری در سازه های صنعتی می سازد بحث می شود. همچنین سه مکانیزم اصلی تخریب وخوردگی بتن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### تهیه بتن

قابل ذکر است که با وجود انواع مختلف بتن، تمامی آنها از اجزاء زیر تشکیل شده اند:

- ×آب (ترجیحاً با کیفیت آب شرب)
- ×ذرات شن، ماسه یا سنگ
- ×سیمان (معمولاًسیمان پرتلند) که پس از اختلاط با آب،مواد را بصورت خمیری در کنار یکدیگر حفظ می کند
- ×مواد افزودنی جهت ایجاد بعضی خواص ویژه مورد نظر در بتن (چه هنگام ریختن بتن و چه پس از آن)

چنانچه ترکیب و اختلاط مناسبی انجام شود. بتن بصورت یک ماده محکم درخواهد آمد . بعلاوه اغلب بتن روی شبکه های سیمی یا فولادی ریخته می شود. این میله ها را اصطلاحاً میله های فولادی تقویت کننده گویند و به بتن مقاومت کششی داده و آن را برای مقاصد مورد نظر آماده می سازد ( قدرت کششی بدین معنی است که یک ماده بتواند بدون شکست در مقابل کشش مقاومت نماید).

اگر شما به پایه یک پل بتنی قدیمی نگاه کنید، شاید بتوانید میله های فولادی را که در معرض آب قرار گرفته اند، ببینید. بتن دارای این میله ها را اصطلاحاً بتن تقویت شده یا مسلح گویند. با وجود مقاومت بالای بتن، تحت بعضی شرایط در آن خوردگی و تخریب اتفاق می افتد.

## تخریب و خوردگی بتن

خوردگی و تخریب بتن شامل دو موضوع است: 1ـ خوردگی میله های فولادی 2ـ تخریب بتن

از لحاظ تئوری از آنجاییکه پتانسیل میله های فولادی مثبت است، تا زمانیکه بتن روی این میله ها قرار دارد، (به ضخامت 5 سانتی متر) این میله ها خورده نمی شوند. پتانسیل میله های فولادی داخل بتن حدود 0/1+ ولت است و "PH" تقریبی بتن نیز 11/6 می باشد.

مکانیزم های تخریب و خوردگی بتن عبارتند از مکانیزم شیمیایی، مکانیزم فیزیکی و مکانیزم حرارتی. مکانیزم مهم دیگری که وجود دارد مکانیزم میکروبیولوژیکی است که طی آن جاندار از طریق یک یا چند مکانیزم فوق الذکر به بتن حمله می کند.

هرکدام از این مکانیزمها (یا ترکیبی از آنها) می تواند به خمیر سیمان، ذرات شن و ماسه و یا میله های تقویت کننده آسیب برساند.

### 1ـ مکانیزم شیمیایی

این مکانیزم با یک واکنش شیمیایی آغاز می گردد یعنی یک ماده شیمیایی در تماس با سازه بتنی قرار گرفته و یک واکنش شیمیایی با خمیر سیمان رخ می دهد که این واکنش باعث تضعیف و انحلال و یا تغییر ترکیب خمیر سیمان در بتن می شود تا جایی که دیگر خمیر قادر به نگهداری اجزای بتن در کنار یکدیگر نیست.

مواد شیمیایی مهاجم عبارتند از اسیدها، قلیاها، گازها، روغنها و چربیها و نیز قندها. حمله و تجاوز به خمیر سیمان باعث می شود که میله های تقویت کننده بدون محافظ شده و خوردگی رخ دهد. در ادامه مثالهایی از این تهاجم شیمیایی ذکر می گردد:

حمله اسیدی ـ اسیدها به دوصورت طبیعی و مصنوعی می باشند. اسیدهای طبیعی از تخریب وفساد گیاهان تولید می شوند و اسیدهای مصنوعی نیز عبارتند از اسید سولفوریک، اسید کلریدریک و اسید نیتریک. اسید سولفوریک در بعضی شرایط طبیعی مانند پوشش دهی بتن باروکش پلاستیکی یا لاستیکی یا رنگ است.

واکنش اسید با بتن طی یک فرآیند دو مرحله ای انجام می شود که در مرحله اول یک واکنش شیمیایی اسید و باز رخ می دهد. واکنش کننده های اولیه همانا محلول اسیدی موجود در محیط و ترکیبات هیدراته موجود در خمیر سیمان از جمله هیدراکسید کلسیم می باشند. در این واکنش

انحلال خمیر سیمان باعث تضعیف قدرت بتن می شود.

مرحله دوم فرآیند شامل حذف هیدروکسید کلسیم و دیگر ترکیبات محلول از بتن می باشد. ( یعنی محصول واکنش مواد جامد و مایع است و مایع، ترکیبات جامد را می شوید).

| ترکیب (درصد) | تیپ 1 مصارف عمومی | تیپ2 اصلاح شده | تیپ3 | تیپ 4 حرارت پایین | تیپ 5 مقاوم در برابر سولفات |
|---|---|---|---|---|---|
| 3CaOSiO2 | 53 | 47 | 58 | 26 | 38 |
| 2CaOSIO2 | 24 | 32 | 16 | 54 | 43 |
| 3CaAl2O3 | 8 | 3 | 8 | 2 | 4 |
| 4CaOAl2O3Fe2O3 | 8 | 12 | 8 | 12 | 8 |
| کل | 93 | 94 | 90 | 94 | 93 |

نشانه حمله اسیدی , ەدر رفتن مداوم خمیر سیمان و ظاهر شدن ذرات شن و ماسه و گاەی میلە های تقویت کننده در حال خوردگی است.

حمله سولفاتی ـ سولفاتها نیز مانند اسیدها دارای منبع طبیعی و صنعتی می باشند. سولفات فلزاتی مثل سدیم، منیزیم، کلسیم و پتاسیم را می توان بصورت طبیعی در خاکها و یا آبهای زیر زمینی یافت. در صنایعی از قبیل صنایع پتروشیمی، پالایش نفت، تولید کاغذ و چوب و استخراج و تصفیه فلزات نیز می توان ترکیبات سولفاتی را یافت. سولفاتها در پسابهای شهری و صنعتی نیز وجود دارند.

سولفاتها با بعضی از اجزای خمیر سیمان از جمله آلومیناتها واکنش کرده و به داخل بتن نفوذ می کنند. در این واکنش علاوه بر انحلال خمیر، مواد دیگری هم تولید می شود. حجم این مواد از سولفاتها و خمیر اولیه 2/5 برابر بیشتر بوده و باعث ایجاد نیروهای شدیدی در بتن می شوند. زمانیکه این نیروها از مقاومت کششی بتن فراتر رود، بتن ترک برداشته و تخریب می گردد.

سولفاتها عموما عامل اولیه تخریب بتن در سازه واحدهای تصفیه آب به شمار می رود. جهت اجتناب از این موضوع استفاده از سیمان غلیظ و مقاومت تیپ 5 شدیداً توصیه شده است. (زمانیکه میزان سولفات بیش از 100 میلی گرم بر لیتر باشد)

در جدول زیر اجزای اصلی انواع سیمانها ذکر شده است.

حمله کلریدی ـ زمانیکه بتن در معرض منبعی از کلریدها (حاصل از نمکهای مختلف) قرار می گیرد، مهمترین تخریب همانا خوردگی روی میله های تقویت کننده خواهد بود. در ابتدا زمانیکه بتن داخل شبکه های فولادی ریخته می شود، خوردگی بسیار کمی در میله ها بوجود می آید و فیلم نسبتاً چسبنده ای روی میله های تشکیل می شود که از خوردگی بیشتر جلوگیری خواهد نمود و تا زمانیکه این فیلم وجود دارد، خوردگی پیشرفتی نخواهد داشت. در واقع این فیلم از طریق حفاظت غیر فعال فلز را محافظت می کند. این حفاظت توسط محیط بازی ناشی از قلیاهای موجود درخمیر سیمان حفظ خواهد شد.

پس از نفوذ رطوبت، اکسیژن و یونهایی مانند کلریدها ( از طریق خلل و فرج) و رسیدن به میله فلزی و خوردگی آن،این لایه محافظ تخریب می شود. خوردگی این میله ها محصولاتی راایجاد می نماید که حجم آنها از فلز خورده نشده بیشتر است و باعث ایجاد نیروهای داخلی خواهد گردید. زمانیکه این نیروها از مقاومت کششی بتن فراتر روند، باعث ایجاد شکاف شده و به کلریدها، رطوبت و اکسیژن امکان نفوذ می دهند که خوردگی را به پیش خواهند برد.

از نشانه های اصلی خوردگی کلرید میله ها می توان به زنگ زدگی،ترک و شکست (تورق بتن روی میله ها ) اشاره کرد.

خوردگی میله های فولادی از مهمترین مشکلات موجود در پلهای بتنی و دیگر سازه های بتنی در تماس با نمکها است.

حمله دی اکسید کربن – دی اکسید کربن تاثیر کمی بر بتن دارد چون با آهک باقیمانده در سیمان براحتی تبدیل به کربنات کلسیم می شود. با این وجود اگر سطح بتنی بطور مداوم در معرض آب حاوی دی اکسید کربن به میزان حداقل 15 میلی گرم بر لیتر قرار گیرد، سطح آن تخریب می گردد. باید توجه داشت که در داخل یا اطراف شهرهای بزرگ تخریب ناشی از گازهای خروجی از اتومبیلها و صنعت مشکل حادی می باشد.

حمله آمونیاک ـ نحوه تاثیر آمونیاک بدین صورت است که یون آمونیم جانشین یون کلسیم موجود در بتن می گردد و فقدان یون کلسیم نیز باعث تخریب سریع بتن خواهد شد. در سالیان اخیر در تعداد زیادی از تصفیه خانه های آب، آمونیاک (بهمراه کلر) به آب اضافه می شود. در این وضعیت اگر آب فاقد سختی بوده و قلیاییت آن نیز بسیار کم باشد،آمونیاک و نیز اسید کلریدریک حاصل

از کلر قادرند که به بتن آسیب برسانند ولی از آن جهت که مقدار تزریق آمونیاک بسیار کم می باشد احتمالا بجز محل تزریق آمونیاک محلهای دیگر آسیب زیادی نخواهند دید.

حمله قلیایی ـ قلیاهای قوی از قبیل سود سوز آور، هیدروکسید پتاسیم و کربنات سدیم نیز می توانند با اکسیدهای آلومینیوم موجود در سیمان واکنش انجام دهند. توصیه مهندسین برای جلوگیری از این موضوع نیز استفاده از سیمانهای دارای آلومینیوم پایین (تیپ 2 یا 4) و با پوشش دهی بتن یا یک رنگ مناسب می باشد. در صورتیکه "PH" مایع بیش از 12 باشد و از سیمان عمومی تیپ 1 استفاده شود،حتما بایستی یک لایه "پی . وی . سی" روی بتن تعبیه شود.

## 2ـ مکانیزم فیزیکی

این نوع مکانیزم با حمله فیزیکی یک جسم یا دستگاه خارجی آغاز می گردد. برای عنوان مثالهایی از این نوع می توان به تخریب سایشی بتن توسط یک دستگاه فیزیکی و فرسایش ناشی از اجسام شناور در آب جاری روی سازه بتنی و یا تخریب ناشی از یخ زدن آب نفوذ کرده در بتن اشاره کرد.
تخریب سایشی ـ حرکت ماشین آلات سنگین روی کف ساختمانهای صنعتی و یا خیابانهای بتنی عمده ترین علت این نوع تخریب می باشد. در این وضعیت نیز ابتدا خمیر سیمان از بین رفته و سپس ذرات شن و ماسیه در معرض تخریب قرار می گیرند. با ادامه سایش و از بین رفتن خمیر اطراف شن و ماسه ذرات بیشتری از جای خود بیرون می آیند.
تخریب فرسایشی ـ نوع اول این تخریب بیشتر بدلیل مواد معلقی است که در محلولهای عبوری از روی بتن ( با سرعت بیش از 4/5 متر در ثانیه ) وجود دارد و باعث فرسایش می گردند. زمانیکه این مواد معلق در تماس با سطح بتن قرار می گیرند،ابتدا خمیر سیمان را ساییده و سپس به ذرات شن و ماسه می پردازند. عموماً این نوع فرسایش نیمرخ همواری از سطح ساییده شده بر جای می گذارد. زمانیکه آب با سرعت بالایی بر روی بتن جریان یابد، می توان دید که حتی اگر میزان مواد معلق آب کم باشد نیز طی چند سال چندین سانتی متر از بتن خورده خواهد شد.
نوع دوم از این نوع فرسایش، فرسایش شیمیایی است که پس از حمله اسیدی واقع می شود. بدین صورت که اگر پس از یک واکنش اسیدی، مایعی بر روی بتن جریان یابد، باعث خواهد شد تا محصولات جانبی واکنش را با خود حمل کرده وباعث ساییده شدن بتن گردد. نوع سومی نیز وجود

دارد که به آن کاویتاسیون گویند و زمانی رخ می دهد که مایعات دارای حباب هوا و سرعت بالا با بتن تماس پیدا کرده و باعث ساییدگی آن شوند.

یخ زدن ـ ذوب شدن ـ سیکلهای یخ زدن ـذوب شدن نیز می تواند موجب تخریب بتن گردد. اساسا تخریب اصلی هنگام مرحله یخ زدن رخ می دهد چون آب درون سوراخهای موجود در خمیر یخ زده و منبسط می گردد که این انبساط باعث ایجاد تنش در خمیر سیمان می شود. زمانیکه فشار ناشی از یخ از مقاومت خمیر فراتر رود، خمیر شکسته شده و بتن تضعیف می گردد. اگر بتن بیش از حد نفوذ پذیر باشد، روند تخریب بتن تشدید می گردد.

نفوذ پذیری بتن ناشی از انتخاب نامناسب اندازه ذرات شن، اختلاط نامناسب سیمان، سنگ و شن و نیز ضعف در روشهای قالب گیری بتن می باشد. بتن ضعیف بتنی است که دارای ترک و حفره بوده و یا بتن روی میله ها دارای ضخامت کافی نبوده و یا اینکه اتصالات انبساط نا مناسب بوده و باعث نفوذ آب می گردند.

البته یخ زدن نیز موجب شکست ذرات شن و ماسه نیز خواهد شد بخصوص در مورد ذراتی که در نزدیکی سطح تماس قرار دارند. یخ زدن باعث ترک خوردن می شود یعنی یک سری شیارهای کوچک و مرتبط به هم تشکیل می شود و هنگام آب شدن یخ ها ،آب درون شیارها می رود و با یخ زدن مجدد سیکل کامل شده و یخ های جدید باعث شکاف بیش در شیارها خواهند شد.

تخریب ناشی از یخ زدن و ذوب شدن را می توان بیشتر در پارکینگ منازل و یا پایه های پل مشاهده نمود .

### 3ـ مکانیزم حرارتی

با افزایش و یا کاهش دما، بتن منبسط و منقبض می گردد. برای مثال زمانیکه طی یک عملیات، بتن در معرض دمای بالا قرار داشته و سپس منبع حرارت حذف گردد، دمای سطح بتن نیز طی چند ساعت کاهش خواهد یافت. این نوع انبساط و انقباض باعث یک سری ترک می گردد. حال اگر طی ساعت اولیه سرد شدن آب سرد نیز روی بتن جریان یابد، پدیده ایجاد ترک تشدید خواهدشد.

پدیده دیگری که در این مکانیزم وجود دارد بدین صورت مطرح می گردد که هدایت حرارتی میله های تقویت کننده و بتن اطراف آن اختلاف دارند یعنی زمانیکه در معرض حرارت قرار می گیرند دارای سرعت انتقال حرارت متفاوتی می باشند.

واضح است که فولاد سریعتر از بتن حرارت را انتقال می دهد و اگر هر دو در معرض افزایش سریع حرارت قرار گیرند انبساط حرارتی متفاوتی که دارند باعث پدیده شکست خواهد شد. البته در این شکست مکانیزمهای پیچیده تری نیز سهیم هستند.

## 4ـ مکانیزم میکروبیولوژیکی

برای مثالی از این فعالیت می توان به خوردگی تاج لوله های فاضلاب (بتنی) اشاره نمود. در این حالت باکتری بی هوازی تولید اسید سولفوریک نموده و این اسید نیز باعث تخریب خواهد شد البته این موضوع بندرت درتاسیسات تصفیه آب رخ می دهد. میکروارگانیزم هایی از قبیل باکتری و یا ارگانیزمهای کوچک دریایی (نرم تنان) قادر به تخریب بتن می باشند.

اغلب باکتریها مستقیما به بتن حمله نمی کنند بلکه تخریب ناشی از واکنش باکتری با مواد شیمیایی موجود در محیط در معرض بتن می باشد. معمول ترین خوردگی باکتریایی بتن در سیستمهای تصفیه فاضلاب شهری رخ می دهد.

از واکنش باکتری و ترکیبات فاضلاب، اسید سولفوریک تولید می شود و این اسید نیز همانطوریکه بیان شد خمیر سیمان را در خود حل کرده و باعث سستی ذرات خواهد شد . در مناطق ساحلی استوایی و گرم نیز نوعی نرم تن دریایی سوراخ کننده سنگ وجود دارد که ازاین طریق ایجاد می کند و در میله ها خوردگی ایجاد کنند. محصولات واکنش نیز مانند گذشته باعث ایجاد فضای اضافی و خرد شدن بتن خواهد گردید.

## نتیجه گیری

در تاسیسات مرتبط با آب و فاضلاب بتن در معرض انواع مکانیزمهای شیمیایی، فیزیکی، حرارتی و بیولوژیکی قرار دارد که باعث تخریب سریع و شکستهای ساختمانی خواهد شد. این تخریب باعث

هدر رفتن پول و عدم کارآیی تاسیسات می گردد. برای جلوگیری از تخریب و شکست سازه های بتنی قدم اول تشخیص مکانیزم یا مکانیزم های دخیل در تخریب یا شکست بتن است.