



شماره ۲۵ - خوردگی فولاد در بتن

خوردگی فولاد چیست؟

واژه‌شناسی ASTM، خوردگی را به عنوان «واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین یک ماده - معمولاً فلز - و محیط اطراف آن تعریف می‌کند که منجر به زوال ماده و خواص آن می‌شود».

برای خوردگی فولاد، وجود اکسیژن و رطوبت برای وقوع واکنش الکتروشیمیایی لازم است.

خوردگی منجر به تشکیل زنگ‌زدگی شده که حجمی برابر با دو تا چهار برابر فولاد اصلی داشته و هیچ‌یک از خواص مکانیکی خوب فولاد را ندارد. خوردگی هم‌چنین باعث ایجاد حفره‌ها یا سوراخ‌هایی در سطح فولاد تقویت‌کننده می‌شود که با کاهش سطح مقطع، موجب کاهش ظرفیت مقاومتی آن می‌گردد.

خوردگی فولاد چیست؟

بتن مسلح از فولاد تقویت‌کننده، در جاهایی که تنش‌های کششی پیش‌بینی می‌شود، استفاده می‌کند.

این کار، ظرفیت سازه‌ای اعضایی را که تحت بارهای کششی و خمشی ناشی از عبور و مرور، بادها، بارهای مرده و چرخه‌های حرارتی قرار دارند، فراهم می‌نماید. با این حال، وقتی فولاد مسلح‌کننده دچار خوردگی می‌شود، حجم بزرگ‌تر خوردگی حاصل، منجر به ایجاد تنش‌های داخلی و در پی آن، لایه‌لایه شدن و قلوه‌کن شدن پوشش بتنی می‌شود. کاهش سطح مقطع فولاد، ظرفیت سازه‌ای عضو را کم می‌کند. اگر خوردگی بررسی نشود، یکپارچگی سازه می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. خوردگی به‌ویژه برای عملکرد تاندون‌های (رشته‌های) کشیده‌شده در بتن پیش‌تنیده بسیار مضر است، چرا که گسیختگی در این اعضا می‌تواند فاجعه‌بار باشد.

چرا فولاد در بتن، خورده می‌شود؟

فولاد مدفون در بتن، به دلیل قلپائیت بالای آن ($pH > 13$)، در شرایطی غیرخورنده و غیرفعال قرار دارد. اما وقتی کلریدهای محلول در آب حضور داشته باشند، لایه غیرفعالی که از فولاد محافظت می‌کند، تخریب شده و خوردگی آغاز می‌شود. هنگام قرارگیری بتن در شرایط

شدید محیطی (مانند آب دریا یا زمانی که از نمک‌های یخ‌زدا استفاده می‌شود)، کلریدها می‌توانند از منابع خارجی وارد بتن شوند کلریدها هم‌چنین می‌توانند از منابع داخلی (در وهله نخست، مصالح اولیه ساخت بتن) باشند.

کربناته شدن بتن، علت دیگری برای خوردگی فولاد است. دی‌اکسید کربن موجود در هوا با آهک موجود در بتن واکنش داده و کربنات کلسیم را ایجاد می‌کند. این واکنش باعث کاهش قلپائیت بتنی می‌شود که از فولاد محافظت می‌کند. وقتی مقدار pH در سطح فولاد مسلح‌کننده به کم‌تر از ۹ برسد، خوردگی آغاز می‌شود. خوردگی ناشی از کلرید، شایع‌تر از خوردگی ناشی از کربناته شدن است. عوامل تشدیدکننده خوردگی عبارت‌اند از:

- رطوبت
- دماهای بالا
- ترک خوردگی بتن
- جریان‌های سرگردان
- اثرات گالوانیکی

چگونه از خوردگی جلوگیری شود؟

راهکارهای جلوگیری از خوردگی، باید این اطمینان را ایجاد نمایند که فولاد مسلح‌کننده در بتن با کیفیت مناسب و با حداقل امکان قرارگیری در معرض یون کلراید و کربناته شدن، تعبیه شده باشد.

ملاحظات طراحی

آئین‌نامه ACI 318 (کد ساختمانی برای بتن سازه‌ای)، رده‌بندی‌های شرایط محیطی مرتبط با خوردگی فولاد مسلح‌کننده را به شرح زیر بیان نموده است:

- C0؛ بتنی که در زمان بهره‌برداری، خشک باشد.
- C1؛ بتنی که در زمان بهره‌برداری، در معرض رطوبت باشد.
- C2؛ بتنی که در زمان بهره‌برداری، در معرض رطوبت و منبع خارجی کلریدها باشد.

برای رده‌بندی ACI 318، C2 حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی برابر ۰/۴۰ و حداقل مقاومت مشخصه ۳۵ مگاپاسکال را مشخص نموده است. هیچ محدودیتی در نسبت آب به مواد سیمانی برای رده‌های C0 و C1 تعیین نشده است؛ زیرا نفوذ کلریدهای خارجی در این دو شرایط، نگران‌کننده نیست. بتن با کیفیت مناسب، نرخ کربناته شدن را کاهش می‌دهد.

حدود کلرید برای منابع داخلی کلریدهای محلول در آب

۶۳ مواد سیمانی (در محدوده 40/0 تا 50/0) بدست آید. استفاده از نسبت آب به سیمان بسیار کم تر از ۰/۴، ممکن است به ایجاد مشکلاتی در زمینه بتن ریزی و افزایش احتمال ترک خوردگی ناشی از حرارت و ناشی از جمع شدگی حاصل از خشک شدن، منجر شود. عامل دیگری که نفوذپذیری بتن را کاهش می دهد، استفاده از مواد مکمل سیمانی (SCM) است. مقدار مصرف مرسوم این مواد بر حسب درصد وزنی مواد سیمانی عبارت است از 5% دوده سیلیسی، 25% خاکستر بادی و 50% سرباره و ترکیباتی از این مواد. نفوذپذیری کم مخلوط های بتنی می تواند توسط آزمایش های نشانگر، نمایش داده شود. استفاده ی بیش از حد از مواد سیمانی، حجم خمیر و احتمال ترک خوردگی را افزایش می دهد. مصالح تشکیل دهنده ی بتن، نباید منجر به ورود کلریدهایی به مخلوط گردد که باعث شود میزان کلراید موجود، از حدود مجاز فراتر رود. بتن در معرض یخ زدگی باید هوازایی شده باشد. افزودنی های بازدارنده ی خوردگی، شروع خوردگی را به تاخیر می اندازند. در بتن های با نفوذپذیری کم، مصالح دافع آب ممکن است نفوذ رطوبت و کلرایدها را به میزانی، محدود نماید.

روش های اجرایی

لایه لایه شدن، ترک خوردگی و پوسته شدن، خوردگی فولاد مسلح کننده را سرعت می بخشد. جای گذاری و پرداخت بتن، باید به طور مناسب و با نیروی کار و منابع کافی، زمان بندی شده و باید به درستی، متراکم و عمل آوری شود. عمل آوری ترجیحاً برای حداقل ۷ روز باید ادامه یافته و دمای بتن باید بالاتر از ۱۰ درجه سلسیوس نگه داشته شود. عمل آوری در سنین اولیه، به خصوص برای مخلوط های بتنی شامل مواد مکمل سیمانی، از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعات متعدد نشان داده است که تخلخل بتن با افزایش زمان های عمل آوری، به طور قابل توجهی کاهش یافته و به طور متناظر، مقاومت در خوردگی بهبود می یابد.

و بر اساس درصد وزنی سیمان تعیین شده اند. برای بتن مسلح، این حدود برابر با 0/1% برای رده C0، 3/0% برای رده C1 و 15/0% برای رده C2 است. برای بتن پیش تنیده، حد مذکور برابر با 06/0% برای همه رده بندی های شرایط محیطی است. کلریدهای محلول در آب مطابق استاندارد ASTM C1218، روی نمونه های پودری استخراج شده از استوانه های بتنی در سنی بین ۲۸ و ۴۲ روز، اندازه گیری می شود.

پوشش (کاور) کافی روی فولاد مسلح کننده، لازم است. افزایش ضخامت پوشش، نرخ نفوذ کلرید و کربنات شدن را به طور نمایی کاهش داده و شروع خوردگی را به تاخیر می اندازد. الزامات مربوط به حداقل ضخامت پوشش در آیین نامه ACI 318، باید برای بتنی که در معرض محیط های خورنده است، افزایش یابد. بتن حاوی سنگدانه های بزرگتر، نیاز به پوشش بیشتر دارد. تقویت کافی باید فراهم شود تا از باز شدن ترک ها، جلوگیری شده و ترک، بسته و کیپ بماند. آیین نامه ی ACI 224، راهنمایی هایی برای به حداقل رساندن تشکیل ترک ها فراهم نموده است. عرض مجاز ترک در بتن در معرض کلریدها، حدود ۰/۱۵ میلی متر است. زهکشی مناسب آب از اعضای بتنی باید تضمین گردد.

نفوذ کلرید می تواند با استفاده از غشاهای آب بند کننده ها، کاهش یابد. شروع خوردگی می تواند به وسیله ی استفاده از تقویت کننده های مقاوم در برابر خوردگی (نظیر فولاد ضد زنگ، فولاد گالوانیزه و فولاد پوشیده شده با اپوکسی)، به حداقل رسیده یا دچار تاخیر شود. Life-365 نرم افزار در دسترسی است که عمر خدمت دهی مورد انتظار و هزینه های راهبردهای مختلف حفاظت در برابر خوردگی را مدل سازی می نماید. این نرم افزار، می تواند به منظور نمایش هزینه پایین تر چرخه عمر در مقابل هزینه اولیه بالاتر برخی از گزینه ها به کار برده شود.

مخلوط های بتنی

بتن با کیفیت و با نفوذپذیری پایین، نفوذ نمک های کلرید و توسعه ی کربنات شدن را کند می کند. نفوذپذیری پایین می تواند با نسبت پایین آب به

چگونه خوردگی را به حداقل برسانیم؟

- ♦ قرارگیری اعضای بتنی در معرض شرایط پیش بینی شده را ارزیابی نموده و الزامات مناسب را مدنظر قرار دهید.
- ♦ وقتی بتن در معرض کلریدها قرار می گیرد، از بتن با کیفیت حاوی مواد مکمل سیمانی با نسبت آب به مواد سیمانی در حدود ۰/۴ استفاده کنید.
- ♦ پوشش (کاور) کافی برای فولاد مسلح کننده فراهم کنید.
- ♦ اطمینان حاصل کنید که بتن به طور مناسب و به میزان کافی، عمل آوری شده است.
- ♦ برای اعضای سازه ای بحرانی که به عمر خدمت رسانی آنها به صورت طولانی مدت نیاز هست، راهبردهای پیشرفته حفاظت در برابر خوردگی را در نظر بگیرید.