

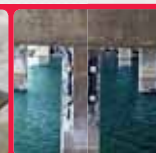


**Reinforced  
Concrete  
Cathodic  
Protection**

حفاظت کاتدی  
بتن مسلح

Design: www.borna-co.com


  
 ISO 9001  
 ISO 14001  
 BS OHSAS 18001  
 HSE-MS  
 www.borna-co.com



**Reinforced  
Concrete**

**Cathodic  
Protection**

شرکت برنا الکترونیک با داشتن بیش از ۳۰ سال سابقه درخشان در زمینه حفاظت کاتدی، آمادگی خود را به منظور ارزیابی خوردگی سازه‌های بتن مسلح و تعیین زمان آغاز تخریب آن‌ها، طراحی، تأمین تجهیزات، مشاوره و اجرای سامانه‌های حفاظت کاتدی در سازه‌های بتن مسلح موجود (به منظور متوقف نمودن خوردگی و احیای سازه) یا در حال ساخت (به منظور پیشگیری از خوردگی سازه) و همچنین پیاده‌سازی سامانه‌های پایش حفاظت کاتدی در این سازه‌ها اعلام می‌دارد.

**مقایسه انواع روش‌های حفاظت کاتدی در سازه‌های بتن مسلح**

روش حفاظت	آند فدا شونده	تزریق جریان
نیاز به برق	ندارد	دارد
طول عمر حفاظت	حد اکثر ۱۰ سال	حد اکثر ۲۰ سال (قابلیت افزایش تا ۱۰۰ سال)
احتمال تداخلات جریانی و تأثیرات مخرب بر سازه‌های مجاور	وجود ندارد	بسته به نوع بستر آندی وجود دارد
مداولترین آند مورد استفاده	IS	اکسید فلزی مخلوط (MMO)

## حفاظت کاتدی بتن مسلح

## Reinforced Concrete Cathodic Protection

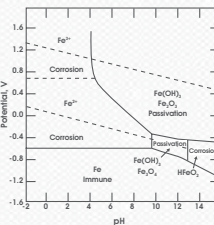
www.borna-co.com

با توجه به رشد فزاینده ساخت و ساز و استفاده از سازه‌های بتن مسلح در صنایع، با مرور زمان اثرات کاهش استحکام و تخریب در این سازه‌ها نمود یافته که این عارضه با افزایش عمر سازه باعث وارد آمدن آسیب‌های جانی و مالی جبران ناپذیری خواهد شد.

### • دوام (پایایی) بتن مسلح

دوام (پایایی) بتن مسلح به توانایی بتن برای مقابله با عوامل جوی، حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و هرگونه فرایند منجر به اضمحلال و تخریب اطلاق می‌شود. بتن پایا در شرایط محیطی مورد نظر، شکل و استحکام خود را در دوره به‌میزداری که معمولاً بیش از چند دهه است، حفظ می‌کند.

پیرو تحقیقات انجام شده، خوردگی میلگردهای فولادی در بتن به عنوان عامل اصلی خرابی‌های زودرس و در برخی موارد تخریب کلی سازه‌های بتن مسلح محسوب می‌شود. گرچه فولادها به طور طبیعی تمایل به انجام واکنش‌های خوردگی دارند. اما در شرایط عادی، براساس دیاگرام پوربه آهن، میلگردهای فولادی در بتن به طور طبیعی در مقابل عارضه خوردگی محافظت می‌شوند که این امر در نتیجه ایجاد محیط قلیایی (pH حدود ۱۲ تا ۱۳) ناشی از واکنش هیدراسیون سیمان است که مصونیت سطح فولاد را تضمین می‌کند. این محیط قلیایی در pH بالا، باعث تشکیل یک فیلم اکسید آهن محافظ (لایه پسیو) پیرامون میلگرد گردیده که از انحلال آهن‌های جلوگیری می‌کند و مانع از ادامه خوردگی در بتن مسلح می‌شود. مادامی که لایه اکسید آهن پابرجا باشد، میلگرد به لحاظ الکتروشیمیایی تقریباً غیرفعال می‌ماند. نرخ خوردگی غیرفعال برای فولاد در بتن معمولاً ۰/۱ میکرومتر در هر سال است. بدون این فیلم غیرفعال، فولاد با نرخ حداقل هزار برابر بیشتر خورده می‌شود.



دیاگرام پوربه آهن

اگر به هر دلیلی فیلم اکسید محافظ تشکیل نشود یا تضعیف یا تخریب شود، حفاظت از فولاد انجام نشده و خوردگی رخ خواهد داد. عوامل تخریب فیلم اکسید محافظ آرماتور فولادی در بتن عبارتند از:

- مقادیر بیش از اندازه یون‌های کلر یا دیگر یون‌های مهاجم در بتن وجود داشته باشند (یون‌های کلر به صورت افزوده ناشی از مواد تشکیل دهنده بتن یا نفوذی از محیط پیرامون موجود باشد).
- قلیائیت بتن توسط واکنش یا گازهای مهاجم از دست رود (نفوذ گاز دی اکسید کربن و در پی آن پدیده کربناسیون).
- بتن به طور کامل فولاد را پوشش ندهد (در معرض قرارگیری مستقیم فولاد با محیط خورنده اطراف).

### • تأثیر یون‌های کلر در بتن مسلح

نفوذ یون‌های کلر پدیده‌ای بسیار مهم در تخریب سازه‌های بتن مسلح است. این یونها بسیار مهاجم بوده و با از بین بردن حالت غیرفعال ایجاد شده روی آرماتور، سبب ایجاد خوردگی در آن می‌گردند. هنگامی که غلظت یون‌های کلر در مجاورت سطح آرماتور از حد بحرانی تجاوز نماید، خوردگی شروع خواهد شد.

### • تأثیر کربناسیون در بتن مسلح

کربناسیون یکی دیگر از عوامل تخریب سازه‌های بتن مسلح است که در نتیجه فعل و انفعالات گاز دی اکسید کربن موجود در اتمسفر یا میکروسیدهای قلیایی بتن رخ می‌دهد و برخلاف یون‌های کلر، این مهاجم با تأخیر رخ داده و در مرحله اول گاز دی اکسید کربن با بتن واکنش داده و ترکیبات یمانی ایجاد می‌کند و در مرحله بعد با کاهش pH باعث ایجاد خوردگی آرماتور می‌شود.

فرایند خوردگی آرماتور فولادی که بسته به شرایط و نتیجه نفوذ یون‌های کلر یا کربناسیون اتفاق می‌افتد باعث ترک‌ها شدن بتن، از بین رفتن اتصال بین آرماتور و بتن یا نوری بتن شده و کاهش دوام، طول عمر و در نهایت تخریب سازه بتن مسلح را در پی دارد.

### • ارزیابی و تعیین زمان آغاز تخریب در بتن مسلح

به منظور ارزیابی خوردگی میلگردهای فولادی و تخریب سازه‌های بتن مسلح، بایستی وضعیت سازه از هر لحاظ مورد بررسی دقیق و مهندسی قرار گیرد تا با استفاده از اطلاعات کسب شده بتوان بهترین راه حل را جهت پیشگیری یا توقف خوردگی سازه به کار برد. این ارزیابی‌ها به طور کلی شامل بررسی شرایط محیطی (رما، میزان رطوبت سالیانه، میزان بارهای اعمالی و...)، بازرسی چشمی، اندازه‌گیری میزان و عمق نفوذ یون‌های کلر و کربناسیون، بررسی پوسنگی الکتریکی آرماتورها، اندازه‌گیری پتانسیل آرماتورها نسبت به بتن، اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی بتن و سرعت خوردگی آرماتورهاست. بنابراین با داشتن اطلاعات مربوط به طرح اختلاط و ضخامت پوشش بتن، شرایط عملکرد و دریافت داده‌های مرتبط با خوردگی آرماتورها، می‌توان زمان آغاز تخریب در سازه‌های بتن مسلح را تخمین زد.



حفاظت کاتدی بتن مسلح به دو روش آند فداشونده و تزریق جریان انجام می‌شود. در روش حفاظت کاتدی با استفاده از آند فداشونده، جریان الکتریکی توسط اختلاف پتانسیل طبیعی بین دو فلز متفاوت یعنی آرماتور فولادی (کاتد) و فلز فعالتر (آند) برقرار می‌گردد. در روش حفاظت کاتدی با استفاده از تزریق جریان، جریان الکتریکی توسط اعمال پتانسیل الکتریکی با استفاده از یک منبع الکتریکی خارجی (ترانسفورمر رکتیفایر) تأمین می‌گردد و آند معمولاً از ترکیبی پایدار ساخته می‌شود. انتخاب هر یک از روش‌های فوق براساس امکانات و محدودیت‌های موجود، انجام محاسبات مربوطه و تجربیات طراح صورت می‌گیرد.



### • سامانه‌های حفاظت کاتدی در بتن مسلح

در بخش ۶-۳ آیین‌نامه بتن ایران و بخش ۹-۶ میبحث نهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه)، خوردگی میلگردهای فولادی بتن از عوامل اصلی کاهش دوام بتن ذکر شده و لزوم حفاظت از آرماتورهای ساختمان در برابر خوردگی بیان شده است. همچنین در آیین‌نامه ملی پایایی بتن در محیط خلیج فارس و دریای عمان، آیین‌نامه طراحی بتادر و سازه‌های دریایی ایران (سکوها دریایی) و آیین‌نامه حفاظت کاتدی عرشه پل‌ها، به الزامات و روش‌های افزایش دوام بتن از جمله روش حفاظت کاتدی اشاره شده است.

خوردگی میلگردهای فولادی در بتن می‌تواند با استفاده از روش‌هایی از جمله اصلاح طرح اختلاط و افزایش ضخامت پوشش بتن، عایق‌های سطحی، بازدارنده‌های خوردگی یا به کار بردن میکروگردهای کالوایزه یا میکروگردهای با پوشش اپوکسی کاهش یابد. روشی دیگر که به طور وسیع در سازه‌های در حال ساخت به عنوان پیشگیری کتنده خوردگی و در سازه‌های موجود جهت متوقف کردن خوردگی میلگردها به کار می‌رود و روشی مقرون به صرفه با کارایی و قابلیت اطمینان بسیار بالاست، حفاظت کاتدی است. کاربرد سامانه‌های حفاظت کاتدی در سازه‌های بتن مسلح در معرض اتمسفر، مجاور آب یا خاک شامل موارد زیر است:

- پایه‌ها و عرشه پل‌های بتنی
- پایه‌ها و عرشه اسکله‌ها و سکوها دریایی بتنی
- مخازن و استخرهای آب بتنی (آب‌شیرین‌کرها، تصفیه‌خانه‌ها و...)
- سدهای بتنی (قسمت‌های دارای میلگردها یا صفحات فولادی)
- فونداسیون و بدنه سازه‌های صنعتی بتنی
- فونداسیون و بدنه ساختمان‌های بتنی

و ...