

## مقدمه:

خوردگی آرماتور یکی از مهم‌ترین و شایع‌ترین مکانیزم‌های تخریب سازه‌های بتنی در محیط‌های دریایی می‌باشد. بتن با قابلیت نفوذ پذیری بالا، مشکلات اجرایی و ضخامت ناکافی لایه روی آرماتور همگی از مشکلات کیفی هستند که می‌توانند منجر به نفوذ نمک و رطوبت به درون بتن گردند. غلظت‌های بالای نمک و رطوبت باعث تسریع در خوردگی آرماتور و تخریب قابل توجه سازه بتنی می‌شوند. ثابت شده است که روش‌های مرسوم مرمت در کنترل خوردگی تحت چنین شرایطی بهبود یافته‌اند. در طی یک دهه گذشته حفاظت کاتدی (CP) به‌طور وسیعی در کنترل خوردگی سازه‌های بتنی مسلح در محیط‌های دریایی به کار گرفته شده است. حفاظت کاتدی می‌تواند بدون توجه به غلظت نمک در بتن، خوردگی فولاد را متوقف سازد. سیستم‌های بر مبنای آند فدا شونده و آند با جریان اجباری به طور موفقیت آمیزی در کلیه نواحی سازه‌های دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سازه‌های بتنی در محیط‌های دریایی را می‌توان به دو گروه از لحاظ نحوه تماس با آب دریا تقسیم نمود: تماس مستقیم و تماس غیرمستقیم. گروه با تماس مستقیم شامل سازه‌هایی می‌باشند که بخشی یا تمامی آن‌ها در آب دریا غوطه‌ور می‌باشند و گروه با تماس غیرمستقیم به گروهی اطلاق می‌شود که در سواحل قرار گرفته و در تماس مستقیم با آب دریا نمی‌باشند. اسکله‌ها، باراندازها و... نمونه‌ای از سازه‌هایی هستند که در تماس مستقیم با آب دریا می‌باشند. با این‌که نتایج خوردگی در هر دو نوع سازه بتن مسلح مشابه است، فرآیندی که در اثر آن خوردگی به وقوع می‌پیوندد، نرخ خوردگی و روش مناسب حفاظت کاملاً متفاوت هستند.

## خوردگی فولاد در بتن

فرآیند خوردگی در بتن دارای ماهیت الکتروشیمیایی است. خوردگی در اثر جریان الکترون‌ها بین مناطق آندی و کاتدی آرماتورها اتفاق می‌افتد. برای وقوع این پدیده وجود عامل ذیل ضروری است:

- آند: موضعی که خوردگی در آن اتفاق افتاده و الکترون‌ها از آن مواضع جریان می‌یابند.
- کاتد: موضعی که خوردگی در آنها اتفاق نمی‌افتد و الکترون‌ها به طرف آن حرکت می‌کنند.
- الکترولیت: ماده‌ای که قادر به انتقال الکترون‌ها باشد (مانند آب، خاک و یا بتن).
- اتصال فلزی: ارتباط فلزی بین آند و کاتد که باعث بسته شدن مدار جریان می‌گردد.

فولاد درون بتن اصولاً ناپیوستی دچار خوردگی شود. دلیل این امر ایجاد لایه روئین<sup>۱</sup> اکسیدی بر روی فولاد به دلیل خوردگی اولیه است. فرآیند هیدراسیون سیمان در بتن تازه باعث قلیایی شدن محیط گشته، و در

# استفاده از حفاظت کاتدی جهت کنترل خوردگی در سازه‌های بتن مسلح در محیط‌های دریایی

گردآوری و تنظیم:

سیامک خالچی - کارشناسی ارشد خوردگی  
از دفتر فنی مهندسین مشاور رهاب

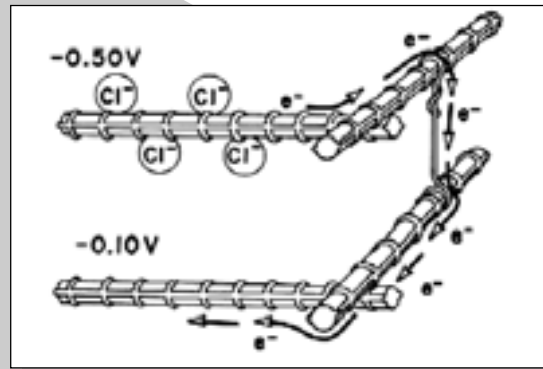


شهره کشاورز حداد - کارشناس متالورژی صنعتی  
از دفتر فنی مهندسین مشاور رهاب





حضور اکسیژن باعث پدیدار شدن لایه اکسیدی روی فولاد می‌گردد. مادامی که این لایه بر روی سطح فولاد باقی بماند فرآیند خوردگی را متوقف می‌سازد. ولی بروز دو پدیده کربونیزاسیون<sup>۲</sup> و آلودگی کلرایدی باعث بروز پدیده خوردگی به ویژه در محیط‌های دریایی می‌گردد. در فرآیند کربونیزاسیون، دی اکسیدکربن اتمسفر از تخلخل‌های بتن به داخل نفوذ نموده و قلیائیت محیط را کاهش می‌دهد و همین امر باعث ناپایدار شدن لایه روئین آرماتورها می‌شود. یون کلراید، که منشاء آن می‌تواند از آب دریا باشد، نیز با ورود به درون بتن فولاد را مورد هجوم قرار داده و با تشکیل پیل گالوانیک باعث بروز خوردگی می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- تفاوت در غلظت یون کلر باعث خوردگی می‌گردد.

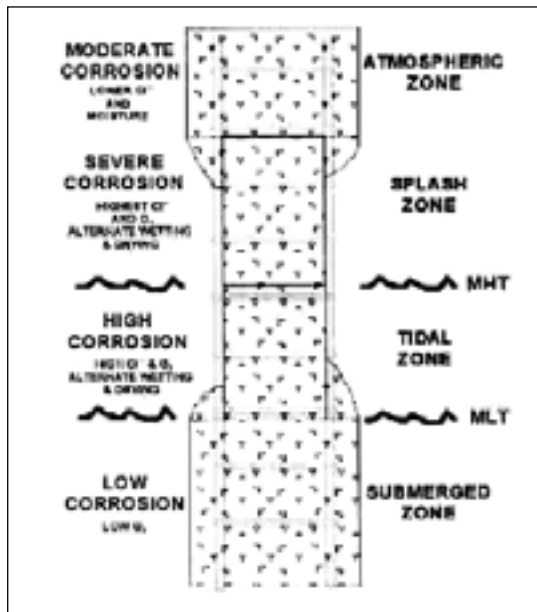
### سازه‌های با تماس مستقیم (نیم غوطه‌ور) :

سازه‌های بتن مسلحی که به صورت نیم غوطه‌ور یا غوطه‌ور در آب دریا قرار دارند به دلایل مختلفی مستعد خوردگی آرماتور فولادی می‌باشند. این دلایل عبارتند از :

- غلظت بالای یون کلراید در آب دریا؛
  - سیکل خشک و تر شدن مداوم بتن؛
  - رطوبت بالای محیط؛
  - در دسترس بودن اکسیژن.
- از دیدگاه خوردگی سه ناحیه در یک سازه بتنی واقع در یک محیط دریایی قابل شناسایی است که عبارتند از :
- ناحیه غوطه‌ور (که همواره در زیر آب قرار دارد)؛
  - ناحیه خط امواج و جزر و مد (به صورت سیکلی با آب دریا در تماس است)؛
  - ناحیه اتمسفری (که بالاتر از میانگین خط جزر و مد بوده و به ندرت خیس می‌شود)؛

شکل ۲ سطح مقطعی از نواحی مختلف خوردگی در یک پایه بتنی در محیط دریایی را نشان می‌دهد. هر کدام از این نواحی رفتارهای خوردگی بسیار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. به عنوان مثال، نرخ خوردگی در زیر سطح آب با میزان اکسیژن در دسترس کنترل می‌شود

و برعکس در نیمه فوقانی، میزان کمتر کلراید و رطوبت محدودکننده نرخ خوردگی می‌باشد. بدترین وضعیت خوردگی در ناحیه برخورد امواج و جزر و مد وجود دارد جایی که تر و خشک شدن مداوم باعث بالا رفتن غلظت کلراید و اکسیژن می‌گردد. میزان بالای رطوبت در این ناحیه هم‌چنین منجر به افزایش رسانایی الکتریکی بتن و کوپل الکتروشیمیایی این ناحیه با سایر نواحی سازه و در نتیجه توسعه فعالیت خوردگی می‌گردد.



شکل ۲- سطح مقطع شماتیک نواحی مختلف خوردگی در پایه‌ای واقع در آب دریا. رکتیفایر

### سازه‌های با تماس غیرمستقیم (اتمسفرفری) :

سازه‌های طبقه‌بندی شده در گروه تماس غیرمستقیم نیز در اثر ذرات نمک و رطوبت موجود در اتمسفر تحت خوردگی قرار می‌گیرند. کیفیت بتن و ضخامت لایه روی آرماتور نقش تعیین‌کننده‌ای در ورود یون‌های کلراید در زمان وقوع خوردگی بازی می‌کنند. کربونیزاسیون، با فرآیندی که در آن دی‌اکسیدکربن اتمسفر از تخلخل‌های بتن به درون نفوذ نموده و قلیائیت را کاهش می‌دهد، نیز به تخریب لایه روئین روی آرماتورها کمک نموده و زمینه را برای خوردگی کلرایدی مهیا می‌سازد. سازه‌های بتنی به ویژه در مناطق حاره اقیانوسی مستعد تخریب بتن بوده و به همین دلیل نرخ‌های خوردگی می‌تواند به ازای هر ۳۰ درجه سانتی‌گراد افزایش دما دو برابر شود.

### روش‌های ترمیم مرسوم

ثابت گردیده است که تکنیک‌های احیا مرسوم، که شامل تخریب نواحی پوسته‌ای شده بتن، تمیزکردن فولاد خورده شده و سپس مرمت با ملات سیمان پرتلند می‌باشد، در محیط‌های دریایی غیر مؤثر است.



شکل ۳- خوردگی مجدد ستون ترمیم شده.

Table 1. Comparison of SF Systems	
Non-coated steel	Coated (Galvanized) steel
<p><b>Advantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Higher strength</li> <li>Lower cost for installation</li> <li>Extensive field record</li> </ul>	<p><b>Advantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Corrosion resistant</li> <li>Low maintenance &amp; replacement</li> <li>Low cost of installation in high strength steel is minimal</li> <li>Low weight &amp; easier installation to provide load capacity</li> </ul>
<p><b>Disadvantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Requires monitoring and maintenance</li> <li>Requires constant attention between steel and steel</li> <li>Corrosion &amp; stress required</li> <li>Requires monitoring &amp; control to prevent corrosion</li> </ul>	<p><b>Disadvantages:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Higher cost</li> <li>Requires constant attention to inspect and maintain integrity and remaining galvanization</li> <li>Corrosion product can be a problem</li> </ul>

جدول ۱- مقایسه سیستم های حفاظت کاتدی.

Table 2. Same Steel as Coated		
System Applied	Advantages	Disadvantages
<p><b>Galvanizing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Galvanizing (hot-dip)</li> <li>Electrolytic galvanizing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistant to corrosion</li> <li>Galvanizing (hot-dip)</li> <li>Galvanizing (electrolytic)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cost (hot-dip)</li> <li>Residual stress</li> </ul>
<p><b>Coated (epoxy):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hot-dip epoxy</li> <li>Electrolytic epoxy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistant to corrosion</li> <li>Galvanizing (hot-dip)</li> <li>Galvanizing (electrolytic)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cost (hot-dip)</li> <li>Residual stress</li> </ul>

جدول ۱- طبقه بندی انواع مختلف آند.

استفاده از تجهیزات اضافی تأمین نیرو می باشد. میزان جریان ایجاد شده از آند فدا شونده دقیقاً متناسب با محیطی است که در آن قرار گرفته است. آندهای واقع در محیط های تر جریان بیشتری ایجاد می کنند. همچنین چون آندهای فدا شونده را می توان به طور مستقیم به آرماتور متصل نمود، امکان قطع آند وجود ندارد. به منظور انتخاب و اجرای صحیح یک سیستم حفاظت کاتدی مناسب، کارفرما و مهندسان مشاور بایستی درک صحیحی از سیستم های آند فدا شونده و جریان اجباری داشته باشند. جدول ۱ مقایسه ای از مزایا و معایب این دو نوع سیستم نسبت به همدیگر را نشان می دهد.

سیستم های حفاظت کاتدی برای سازه های بتنی در محیط های

دریایی به سه بخش تقسیم می شوند:

- سیستم های سطحی؛
- سیستم های روکش دار؛

این تعمیرات معمولاً هر چند سال یکبار با شدت بیشتری تکرار می شوند. ولی حضور مقادیر متناهی از یون های کلراید در بتن اولیه باعث عدم کاهش نرخ خوردگی می گردد. هم چنین مواد ترمیمی نیز به نوبه خود مشکل ساز می باشند، چراکه بدون شک سلول های خوردگی بین فولاد مدفون در بتن حاوی کلراید زیاد و بتن جدید بدون کلراید ایجاد خواهد شد که این امر منجر به خسارات خوردگی در پیرامون ناحیه مرمت شده گردیده و به تدریج باعث تخریب ناحیه تعمیر شده می شود. شکل ۳ یک ستون مرمت شده در ایالت فلوریدا با روش های مرسوم پس از بروز خوردگی مجدد را نشان می دهد. بروز این پدیده سازمان حمل و نقل فلوریدا<sup>۳</sup> را بر آن داشت تا تحقیقاتی را در زمینه روش های کاهش خوردگی در سازه های بتن مسلح در محیط های دریایی شروع نماید. FDOT مسئولیت نگهداری از ۳۰۰۰ پل واقع در ۲۰۰۰ کیلومتر نوار ساحلی را در ایالات متحده برعهده دارد. مطالعات میدانی و آزمایشگاهی FDOT را به سمت استفاده از سیستم های حفاظت کاتدی در سازه های بتن مسلح در نواحی جزر و مد و در معرض امواج، هدایت نمود.

### حفاظت کاتدی در محیط های دریایی

حفاظت کاتدی با جریان اجباری<sup>۴</sup> و حفاظت کاتدی با آند فدا شونده هر دو در محیط های دریایی کاربرد دارند. در سیستم های با جریان اجباری یک آند از جنس خنثی، شبکه تیتانیومی، به نفع یک سازه مسلح فولادی به آرامی اکسید می شود. جهت تأمین برق لازم برای سیستم از یک رکتیفایر AC استفاده می نمایند. یکی از مزایای سیستم ICCP توانایی رکتیفایر در تنظیم و کنترل جریان است. در محیط های دریایی، سرعت های خوردگی به طور قابل توجهی بین نواحی اتمسفریک و منطقه امواج و جزر و مد در تغییر است. تغییرات در دانسیته فولاد نیز می تواند بر توزیع جریان تأثیر گذار باشد. بنابراین ناحیه بندی و کنترل مجرای سیستم آند یکی از نکات مهم در طراحی سیستم می باشد. عایق بندی الکتریکی بین آند و آرماتور از نظر حصول اطمینان از کارکرد صحیح سیستم حیاتی است. در صورتی که اتصالی برقرار شود، این اتصال کوتاه می تواند ناحیه آند را به طور موضعی یا به کلی بی اثر سازد. بسته به نوع آند استفاده شده، عمر مورد انتظار از آندهای ICCP بسیار بیشتر از آندهای فدا شونده است. به عنوان مثال، عمر یک سیستم پوششی هدایتی در محیط دریایی می تواند کمتر از ده سال باشد. این در حالی است که یک شبکه تلویزیونی عمری بالغ بر ۸۵ سال خواهد داشت.

حفاظت کاتدی گالوانیک با آند فدا شونده بر مبنای اصل خوردگی فلزات ناهمسان و فاصله نسبی فلزات در سری گالوانیک استوار است. سیستم حفاظت کاتدی با آند فدا شونده دارای مزیت عدم نیاز به





- سیستم‌های غوطه‌ور (Immersed).

جدول ۲ انواع مختلف آند در این طبقه‌بندی را نشان می‌دهد. عموماً اجرای مختلف کاتدی سازه‌های بتن در ناحیه برخورد امواج و خط جزر و مد به دلیل، تر و خشک شدن مداوم، رشد موجودات دریایی و سایش امری مشکل می‌باشد. علاوه بر این، هرگونه آندی که در این ناحیه نصب گردد، در زمان تماس با آب تحت تخلیه جریان زیادی قرار خواهد گرفت. دلیل وقوع این پدیده، تمایل آند به نشستی مقدار زیاد جریان به آب دریا به دلیل مقاومت کمتر بخشی از فولاد سازه که در زیر دریا قرار دارد دانست. این نشستی را می‌توان با استفاده از عایق الکتریکی دور آند و با جریان مکمل یک سیستم حفاظت کاتدی نصب شده زیر آب کاهش داد.

### سیستم‌های جریان اجباری (Impressed Current Systems) ● پوشش هادی (Conductive Coating)

یکی از نخستین سیستم‌های به کار رفته در سازه‌های بتنی پوشش هادی با رنگ غنی از کربن بود. یکی از مزایای این نوع پوشش‌ها امکان اعمال ساده آن بر روی سطح نامنظم می‌باشد. رنگ به صورت اسپری با روش‌های دیگر بر روی شبکه‌ای از سیم‌های نیوبیم با روکش پلاتین با ضخامت فیلم خشک در حدود ۳۰۰ میکرون اعمال می‌شود. فاصله سیم‌ها از یکدیگر ۳-۶ متر می‌باشد. به دلیل رنگ سیاه این پوشش استفاده از یک لایه رنگ رویه بر روی آن پس از اتمام کار ضروری است.

### اسپری شعله ای روی

روش پاشش فلزی روی، به گونه‌ای که در حفاظت کاتدی سازه‌های بتن مسلح کاربرد دارد برای اولین بار توسط FDOT در سال ۱۹۸۳ مورد استفاده قرار گرفت. در حال حاضر در ایالات متحده و در ایالت Oregon از این سیستم برای کنترل خوردگی در پل‌های قوسی قدیمی در ساحل اقیانوس استفاده می‌شود. این فرآیند شامل ذوب مفتولی از فلز یا آلیاژ توسط قوس الکتریکی با دمای بالا و اسپری فلزی مذاب بر روی سطح بتن توسط هوای فشرده می‌باشد. لایه روی اعمال شده دارای ضخامتی در حدود ۴۰۰-۳۰۰ میکرون می‌باشد. عملکرد سیستم شبیه پوشش‌های هادی بوده و تنها تغییر جایگزینی سیم نیوبیمی با لایه روی می‌باشد. آزمایشات انجام شده بر روی این سیستم نشان داده است که به دلیل Mineralization ثانویه محصولات ناشی از واکنش روی، استحکام پیوندی سیستم به تدریج افزایش می‌یابد.

### شبکه آند تیتانیومی روکش دار:

شبکه آند تیتانیومی روکش دار شامل یک توری تیتانیومی می‌باشد که بر روی سطح آن مخلوطی از اکسیدهای فلزی به عنوان کاتالیزور

اعمال گردیده است. این شبکه توسط اتصالات غیرفلزی به سطح بتن بسته شده و سپس توسط ملاتی از سیمان پوشانده می‌شود (شکل ۴). این سیستم‌ها معمولاً به گونه‌ای نصب می‌شود که میانگین دانسیته جریان آند در آنها از  $110 \text{ mA/m}^2$  تجاوز نکند. عمر پیش‌بینی شده برای این آندها بالغ بر ۷۵ سال می‌باشد. این سیستم‌ها دارای عملکرد خوبی هستند چراکه پوشش اکسید فلزی آند فعال بوده و با سرعت خیلی کم اکسید می‌شود. تحت شرایط نرمال آندی سیم تیتانیومی مصرف نمی‌شود.

### سیستم تور آندی تیتانیومی پیش ساخته:

در این سیستم تور آندی تیتانیومی درون روکشی پیش‌ساخته از جنس فایبر گلاس کار گذاشته شده است. این سیستم پیش‌ساخته که به آن Pile Jacket نیز گفته می‌شود توسط تسمه بر روی ستون‌ها نصب و فضای بین ستون و ژاکت توسط ملات پر می‌شود. چنین سیستم‌هایی در ستون‌های پل‌ها و در نواحی در معرض موج عمل کرد موفقیت‌آمیزی از خود نشان داده و به سهولت قابل اجرا می‌باشند. از دیگر مزایای این روکش‌ها عایق بودن آن‌هاست که باعث جلوگیری از فرار جریان از طریق آب دریا به فولادهای پخش زیر آب می‌گردد.

### سیستم آند مستقل:

سیستم آند مستقل یکی از اقتصادی‌ترین سیستم‌های حفاظت کاتدی برای تیرها، پایه‌ها و ستون‌ها می‌باشد. آندها در این سیستم به راحتی قابل نصب بوده و نیازی به استفاده از روکش سیمانی بر روی آن‌ها نمی‌باشد. آندهای مستقل معمولاً درون حفراتی به عمق ۲۰ الی ۲۵ میلی‌متر کار گذاشته شده و دور آن‌ها توسط ملات پر می‌شود. طول و فاصله آندها از همدیگر بستگی به دانسیته فولاد و میزان حفاظت مورد نظر بستگی دارد. آند مورد استفاده می‌تواند از جنس نوار تیتانیومی، آند سرامیکی با سیم تیتانیومی با روکش پلاتینی باشد. دانسیته جریان در فصل مشترک آند و بتن بایستی حداکثر  $220 \text{ mA/m}^2$  باشد.

### تیتانیوم مثال اسپری:

آندهای تیتانیوم مثال اسپری شده برای حفاظت کاتدی بتن مسلح به صورت آزمایشی بر روی چند سازه به اجرا درآمده است. علی‌رغم نتایج بسیار خوب حاکی از موفقیت‌آمیز بودن سیستم، مشکلات تکنیکی موجود بر سر راه گسترش این سیستم، سختی بیش‌تر این آلیاژ نسبت به روی و مشکلات اجرایی در هنگام مثال اسپری می‌باشد. ولی با این حال عوارض کم‌تر زیست محیطی این سیستم نسبت به روی از مزایای غیرقابل انکار آن است. این آندها به طور تنوری عمری در حدود ۱۰۰ سال دارند.

## آندهای چدنی و تیتانیوم - اکسید فلز :

سیستم‌های با جریان اجباری برای حفاظت کاتدی بخش‌های غوطه‌ور در آب از آندهای چدنی و یا تیتانیومی مخلوط با اکسیدهای فلزی سود می‌جویند. آندها به طور مجزا و در اطراف سازه به گونه‌ای نصب می‌شود که جریان یک‌نواختی را به آرماتورهای بتن برسانند. برق توسط کابل از رکتیفایر به این آندها رسانده می‌شود.



شکل ۴- روکش دهی شبکه آند تیتانیومی.



شکل ۵- پاشش حرارتی آلیاژی Al-Zn-In بر روی پایه پل.

## اسپری Al-Zn-In :

تحقیقات انجام شده توسط مراکز تحقیقاتی، اخیر منجر به معرفی آلیاژ جدیدی به عنوان آند فدا شونده در حفاظت کاتدی بین‌گردیده است. این آند که به صورت مفتولی از آلومینیم - روی - ایندیم می‌باشد، را می‌توان با روش اسپری حرارتی بر روی سطح بتن اعمال نمود. نتایج تحقیقاتی میدانی و آزمایشگاهی در مورد این آلیاژ بسیار امیدوارکننده بوده و بهبود قابل توجهی را در جریان خروجی از آند نسبت به روی خالص نشان می‌دهد. این عمل‌کرد بهبود یافته ناشی از تأثیر ایندیم بوده که منجر به کاهش تمایل آند به روئین شدن می‌شود. این آندها امروزه به صورت سیم‌هایی با غلاف آلومینیمی و مغزی از پودر روی و ایندیم در دسترس می‌باشند. شکل ۵ تصویر پاشش حرارتی این آلیاژ را بر روی یک پایه پل نشان می‌دهد.

## آند روی چسب‌دار :

این آندها شامل ورقه‌هایی به ضخامت ۰/۲۵ میلی‌متر با پشت چسب‌دار (چسب از جنس یون هیدروزل) می‌باشند. هیچ‌گونه تجهیزات اضافی و با مهارت فنی برای نصب این آندها نیاز نیست. این روقها مانند برچسب بر روی سطح بتن چسبانده و فشار داده می‌شوند. تمیزی و صافی سطح بتن شرط مهم در کاربرد این روقها می‌باشد.

## نتیجه‌گیری :

به منظور استفاده صحیح از سیستم حفاظت کاتدی جهت حفاظت از سازه‌های بتنی در محیط‌های دریایی، بایستی درک صحیحی از تفاوت بین انواع مختلف آندها و محل مناسب مورد استفاده آنها وجود داشته باشد. در نظر گرفتن پارامترهای مهمی نظیر، چگونگی نصب، ملزومات طراحی، عوامل محیطی، تغییرات جزر و مد، پایش و نگهداری و زیبایی ظاهری ضروری است.

برخی سیستم‌ها در تماس مستقیم عمل‌کرد خوبی از خود نشان می‌دهند، این در حالیست که برخی دیگر مناسب برای محیط‌های غیرمستقیم می‌باشند. به عنوان مثال پوشش‌های هادی به دلیل مشکلات ناشی از ضعف در پیوند به بتن مناسب استفاده در مناطق برخورد امواج و جزر و مد نبوده و استفاده از آنها توصیه نمی‌شود و یا توری‌های تیتانیومی و سیستم‌های روکشی نیازمند آماده‌سازی سطح بتن می‌باشند. آندهای تیتانیومی نیز در جاهایی که دانسیته جریان بالا و عمر طولانی‌تر مورد نیاز است کاربرد بیشتری می‌یابند.

## منابع و مراجع :

1. Steven F, Daily, (2000), "Using Cathodic Protection to Control Corrosion of Reinforced Concrete Structures in Marine Environment", Port Technology International.
2. Steven F, Daily, "Understanding Corrosion and Cathodic Protection Concrete Structures".
3. Jack Bennett, 1994, "Criteria for Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Elements".

