

حفاظت کاتدی سازه های بتنی به روش آند فدا شونده در محیط دریایی

عباس آقاجانی^۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

aghajani@cc.iut.ac.ir

چکیده

خوردگی آرماتورهای فولادی در بتن با افزایش حجم قابل ملاحظه روبرو است. این موضوع منجر به ایجاد تنش های کششی بالا در بتن شده و در نهایت منجر به ترک خوردن و تخریب آن خواهد شد. در محیط های دریایی بدلیل وجود عوامل خوردنده، لایه غیر فعال یا پسیو فولاد، از بین می رود و بتن دچار خوردگی شدید خواهد شد. حفاظت کاتدی یکی از روشهای جدید و موثر در حفاظت سازه های بتنی مسلح در برابر خوردگی می باشد. حفاظت کاتدی به دو روش اعمال جریان و روش آند فدا شونده قابل اجرا می باشد. در برخی از سازه های بتنی مثل بتن های پیش تنیده، بکارگیری روش اعمال جریان از حساسیت بالایی برخوردار است. در این حالت اگر بدلیل طراحی غلط و یا دلایل دیگر، خروجی ترانس رکتیفایر بیش از مقدار مورد نیاز حفاظت کاتدی باشد، منجر به تردی هیدروژنی و از دست رفتن چسبندگی آرماتور به بتن خواهد شد. در چنین مواردی بکارگیری روش آند فدا شونده توصیه می شود. در این مقاله روش حفاظت کاتدی سازه های بتنی به روش آند فدا شونده و نیز مانیتورینگ آن تشریح خواهد شد.

Sacrificial Cathodic protection of reinforced concrete in marine condition

Abstract

When steel reinforcing bars corroded, corrosion results have considerable increase volume (two or four times) of the original steel bars. It cause for introducing tension stress in the concrete and its degradation. Corrosive marine condition destroy passive layer of steel bars in concrete and so corrosion occur on the bars. Cathodic protection is a new and effective method for corrosion control of reinforced concrete. It was done by impress current or sacrificial anodes. In some reinforced concrete structures, such as pre-stress reinforced concrete, generally impress current method isn't used. In this condition, over protection maybe occur and it cause for hydrogen brittleness. In such condition, sacrificial cathodic protection is reliable method and in this article, this method and its monitoring are explained.

1-مقدمه

^۱ - عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان، پژوهشکده علوم و تکنولوژی زیر دریا

حفاظت کاتدی بتن های مسلح به روش آند فدا شونده، با استفاده از تکنیک های متعددی به شرح زیر انجام می شود.

1- بکارگیری پوشش فلز روی

2- بکارگیری پوشش آلیاژ Al-Zn-In

3- بکارگیری آندهای ورقه ای و چسبنده از جنس فلز روی (Zinc adhesive anode)

4- بکارگیری آندهای ریخته گری از نوع روی و آلومینیوم

5- بکارگیری آندهای توری از جنس روی

در قسمت های بعدی روشهای فوق توضیح داده می شود

یکی از پارامترهای مهم در سیستم حفاظت کاتدی، انجام نظارت های دوره ای یا مانیتورینگ می باشد. بدین ترتیب از کارایی و عملکرد خوب سیستم در طول زمان اطمینان حاصل خواهد شد و اگر اشکالی در سیستم بروز کند، در زمان مناسب مشخص و برطرف خواهد شد. مانیتورینگ حفاظت کاتدی میتواند به روش دستی و یا کنترل از راه دور انجام شود. در حالت دوم از امواج رادیویی، ماهواره و شبکه تلفن همراه برای تبادل اطلاعات استفاده می شود

2- بکارگیری پوشش فلز روی

سطوح بتنی را می توان از طریق پاشش فلز مذاب روی (metal spray) پوشش داد. بر اساس تجارب موجود جریان خروجی از آند روی (پوشش روی) به میزان زیادی به رطوبت موجود در محیط بستگی دارد. بنابر این جریان خروجی از آنها در ناحیه بالای پاشش آب با گذشت زمان و تشکیل لایه غیر فعال اکسید روی، کاهش می یابد و در نتیجه جریان لازم برای حفاظت کاتدی ایجاد نخواهد شد. در روش آند فدا شونده، آند بایستی در ارتباط مستقیم با آرماتورهای فولادی باشد. بنابر این بایستی کلیه آرماتورهای فولادی با یکدیگر ارتباط الکتریکی داشته و در نواحی متعدد با پوشش روی ارتباط الکتریکی داشته باشند. از این روش به عنوان روش تعمیر بتن نیز استفاده می شود. در این حالت ابتدا بتن های آسیب دیده را بر طرف می کنند. سپس سطح آرماتورها در محل های مزبور، آماده سازی سطحی شده و پوشش روی در آن محل و اطراف آن اجرا می شود [1]. همچنین این آندها می تواند بصورت ورقه ای و به ضخامت 0/25 میلی متر بکار رود. پشت این ورق ها توسط لایه ای از چسب هادی جریان الکتریکی پوشانده شده است. این چسب به شکل ژل و بر پایه آب می باشد. بر روی این چسب لاینر قرار دارد و در هنگام نصب آن بایستی لاینر مزبور را برطرف کرده و سپس با فشار دادن آن بر روی سطحی بتنی، آنرا به سطح بتنی چسباند. سطحی بتنی باید قبل از نصب آند بخوبی تمیز شده باشد. اطراف آند مزبور بایستی توسط آب بند های سیلیکونی بخوبی آب بند شود. نصب این آندها آسان می باشد. مشابه حالت قبل آند مزبور باید در چندین محل در تماس الکتریکی با آرماتورها باشد و کلیه آرماتورها نیز با یکدیگر ارتباط الکتریکی داشته باشند. در شکل (1) بکارگیری این آندها در ناحیه پاشش آب به روش Metal spray و روش Zinc adhesive anode مشاهده می شود.

3- بکارگیری پوشش آلیاژ Al-Zn-In

در این روش آلیاژی از Al-Zn-In از طریق metal spray بر سطح بتن پاشیده می شود. ترکیب این آلیاژ بگونه ای است که لایه غیر فعال بر روی سطح پوشش تشکیل نمی شود و بنابر این جریان خروجی از آند با گذشت زمان کاهش پیدا نمی کند. فلزی که در این حالت برای metal spray بکار می رود شامل سیم های آلومینیومی توخالی بوده که درون آنها توسط پودر روی و ایندیم پر شده است. مشابه حالت قبل، ارتباط الکتریکی پوشش با آرماتورها بایستی در نواحی متعدد انجام شود و کلیه آرماتورها ارتباط الکتریکی با یکدیگر داشته باشند [2].



Metal spray

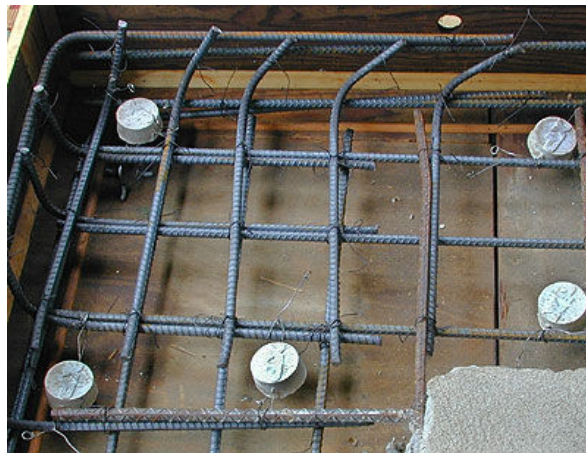


Zinc adhesive anode

شکل (1) در این شکل بکارگیری آند روی در ناحیه پاشش آب به روش Metal spray و روش Zinc adhesive anode مشاهده می شود.

4- بکارگیری آندهای ریخته گری از نوع روی و آلومینیوم

در ناحیه بالای آب (ناحیه اتمسفری، پاشش آب و جزر و مد) می توان از آندهای ریخته گری روی و آلومینیوم در داخل بتن استفاده کرد. این آندها در اطراف یک سیم فولادی ریخته گری می شوند. در هنگام نصب آندها، سیم مزبور را به آرماتورها اتصال می دهند. بدین ترتیب اتصال الکتریکی بین آند و کاتد برقرار می شود. به عبارت دیگر این نوع آندها بایستی قبل از بتن ریزی به آرماتورها متصل شده و همزمان با آرماتورها در داخل بتن مدفون شوند [3]. در شکل (2) نمونه ای از این آندها مشاهده می شود.



شکل 2: در این شکل آندهای فدا شونده از نوع ریخته گری مشاهده می شود.

5- بکارگیری آندهای توری از جنس روی

در این حالت ابتدا قالبی از جنس فایبرگلاس ساخته شده و سپس توری از جنس روی در داخل آن نصب می شود. پس از نصب مکانیکی قالب مزبور در اطراف پایه بتنی، فاصله بین قالب و پایه بتنی توسط گروت سیمانی پر می کنند. قالب فایبرگلاس در حکم عایق الکتریکی یا shield در سیستم حفاظت کاتدی عمل کرده و موجب می شود جریان حاصل از آندهای روی فقط در داخل بتن جریان داشته باشد و بداخل آب نشت پیدا نکند [4].

6- مانیتورینگ حفاظت کاتدی

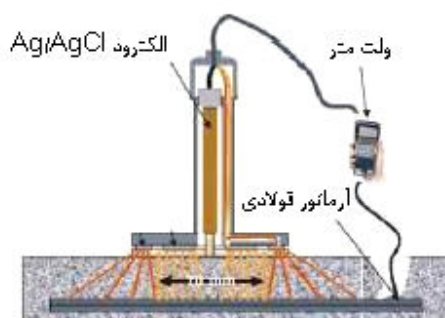
پس از اجرای سیستم حفاظت کاتدی، لازم است در پریودهای زمانی مشخص، عملکرد آن تحت نظارت قرار گیرد. برای این منظور الکترودهای $Ag/AgCl$ در بتن بطور دائمی و در کنار آرماتورهای فولادی نصب می شود. البته امکان اندازه گیری پتانسیل آرماتورها به کمک الکتروده مزبور و از سطح بتن نیز وجود دارد ولی اطلاعات بدست آمده از طریق الکترودهای دائمی که در نزدیک آرماتورها قرار دارند از دقت بیشتری برخوردار هستند. در شکل (3) نمونه ای از این الکترودها که در مجاورت آرماتور فولادی نصب شده است و همچنین نحوه اندازه گیری پتانسیل آرماتورها از سطح بتن مشاهده می شود. کابل متصل به الکترودهای دائمی و نیز کابل متصل به آرماتور فولادی به داخل جعبه ای به نام **Test box** هدایت می شود. بدین ترتیب به کمک این جعبه و با استفاده از ولت متر می توان پتانسیل حفاظت کاتدی را اندازه گیری کرد. از آنجائیکه الکترودهای متعددی در سیستم نصب می شود بنابراین این اگر فاصله آنها از یکدیگر زیاد باشد ممکن است برای هر کدام یک **Test box** در نظر گرفته شود در غیر این صورت کابل مربوط به چند الکتروده به داخل یک **Test Box** هدایت می شود. اطلاعات بدست آمده از **Test box** ها می تواند بصورت دستی و یا از راه دور جمع آوری شود. بر این اساس سازه های بتنی به دو صورت تحت مانیتورینگ حفاظت کاتدی قرار می گیرند که شامل:

1- مانیتورینگ دستی

2- مانیتورینگ از راه دور (Remote monitoring) [4]



الکتروده مرجع دائمی



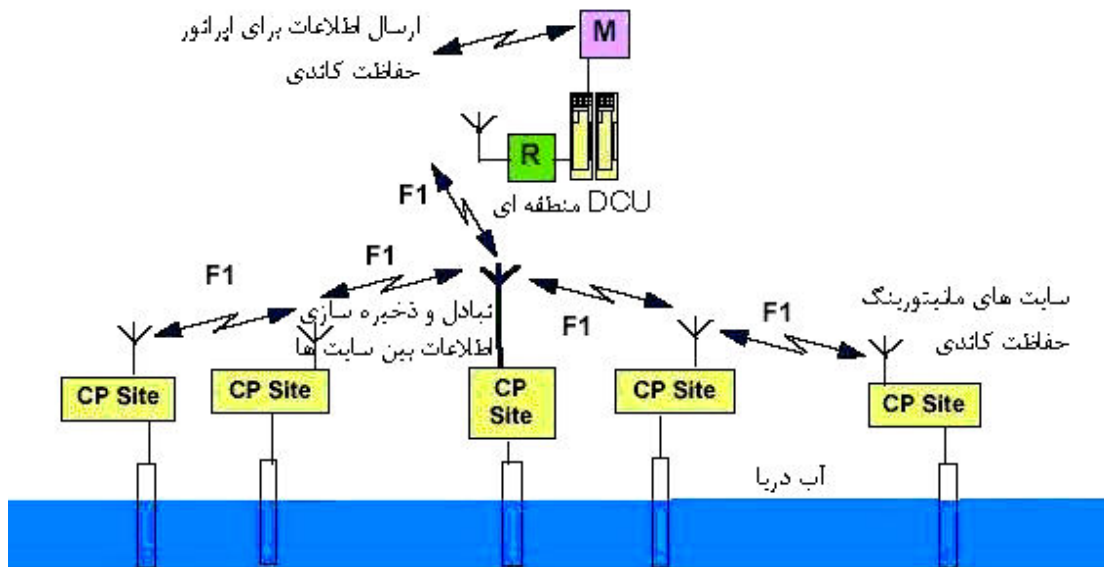
شکل 3: در این شکل نمونه ای از الکتروده $Ag/AgCl$ که بطور دائمی و برای مانیتورینگ پتانسیل حفاظت کاتدی بکار می رود مشاهده می شود. این الکتروده در هنگام بتن ریزی در داخل بتن مدفون می شود. همچنین اندازه گیری پتانسیل حفاظت کاتدی آرماتورهای فولادی به کمک الکتروده مرجع $Ag/AgCl$ از سطح بتن مشاهده می شود.

هزینه اولیه روش دستی کم بوده و تکنولوژی آن ساده می شود ولی در مقابل هزینه بهره برداری آن بالا بوده و اطلاعات *on line* نمی باشد. در این حالت امکان بروز حادثه در بین فواصل زمانی مانیتورینگ وجود دارد. علاوه بر این بدلیل *on line* نبودن اطلاعات و عدم کنترل کامپیوتری بر سیستم، بررسی دلایل بروز عیب مشکل می باشد.

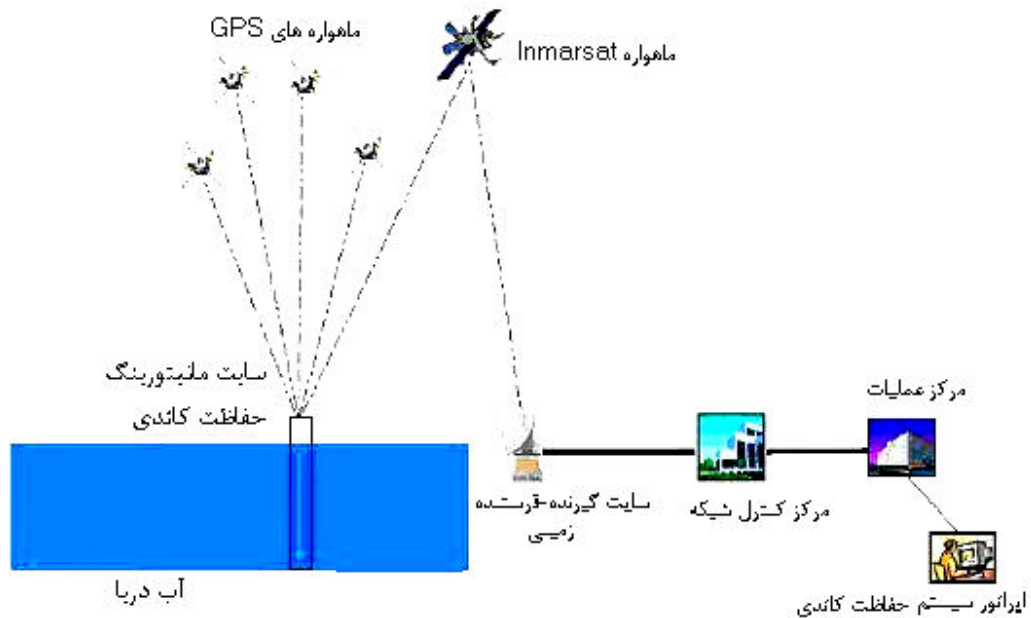
مانیتورینگ از راه دور به روش امواج رادیویی، روش ماهواره ای و استفاده از امکانات تلفن همراه انجام می شود. در روش امواج رادیویی، مطابق شکل (4) در تعدادی از **Test box** ها، دستگاه فرستنده-گیرنده به نام **RTU (Remote Transfer Unit)** نصب می شود. بدین ترتیب اطلاعات سیستم حفاظت کاتدی از محل های مزبور اندازه گیری شده و از طریق **RTU** به واحد جمع آوری داده ها که به **DCU (Data Concentrator Unit)** معروف است ارسال می شود. همچنین هر سایت حفاظت کاتدی اطلاعات جمع آوری شده را می تواند ذخیره کند. برای رساندن اطلاعات به **DCU** و دریافت آن، اطلاعات بین سایت ها تبادل می شود. به عبارت دیگر هر سایت در حکم گیرنده-فرستنده عمل خواهد کرد.

در روش ماهواره ای اطلاعات حفاظت کاتدی از طریق **RTU** به ماهواره ارسال می شود و از آنجا از طریق سایت زمینی اطلاعات دریافت می شود (شکل 5)). در روش تلفن همراه اطلاعات با استفاده از شبکه تلفن همراه انتقال داده می شود. انتخاب نوع روش مانیتورینگ از

راه دور بستگی به امکانات مخابراتی موجود و موانع طبیعی دارد. البته در محیط دریا موانع طبیعی مثل کوه وجود ندارد ولی نصب دکل های رادیویی و یا تلفن همراه در محیط دریا بسیار پرهزینه خواهد بود و به نظر می رسد روش ماهواره ای مناسب تر باشد. در کلیه روشهای مانیتورینگ از راه دور امکان بهره گیری از شبکه اینترنت وجود دارد. در این روش پس از دریافت اطلاعات آنرا به سایت مورد نظر در اینترنت انتقال می دهند. بنابر این اپراتور حفاظت کاتدی پس از وصل شدن به اینترنت و دادن رمز عبور سایت مربوطه می تواند از وضعیت سیستم حفاظت کاتدی مطلع شود [5].



شکل 4: در این شکل روش مانیتورینگ از راه دور به کمک امواج رادیویی مشاهده می شود.



شکل 5: روش مانیتورینگ از راه دور به کمک ماهواره

- 1-Funahashi, M. and Young, W.T.(1995) Development of New Sacrificial Anode Reinforced and Prestressed Concrete Structures, Second CANMET/ACI International Symposium on Advances in Concrete Technology, Las Vegas.
- 2-Apostolos, J.A., Parks, D.M., Carello, R.A. (1987) Cathodic Protection of Reinforced Concrete Using Metallized Zinc, NACE Corrosion/87.
- 3- Funahashi, M., Young, W.T., (1998) Field Evaluation of a New Aluminum Alloy as a Sacrificial Anode for Steel Embedded in Concrete, FHWA, Publication No. FHWA-RD-98-058
- 4-Glass G. K., "An analysis of monitoring data on a reinforced concrete cathodic protection system", Materials Performance 35(2) (1996) 36-41.
- 5-Glass, G. K., Hassanein, A. M. and Buenfeld N. R., "Monitoring the passivation of steel in concrete induced by cathodic protection", Corrosion Science, 39(8) (1997) 1451-1458.