بررسی تاثیر استفاده از میلگردهای گالوانیزه در جلوگیری از خوردگی فولاد در بتن مسلح

محمدرضا حسابی
کارشناسی ارشد مدیریت ساخت، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
عبدالکریم عباسی دزفولی
عضو هیئت علمی،گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
Abbasihamid@hotmail.com
تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۲/۰۷

چکیده:

خوردگی فولاد در بتن مسلح یکی از مهمترین عوامل تخریب و نابودی سازه‌های بتنی در سراسر دنیا می‌باشد . این مساله حتی در کشورهای پیشرفته هرساله هزینه‌های زیادی را برای تعمیر و نگهداری سازه‌های بتنی حساس و غیر حساس به دولتها و منابع ملی تحمیل می‌نماید. این خسارتها در کشورهای حاشیه خلیج فارس بسیار شدیدتر بوده و سازه‌های بتنی زیادی دچار خوردگی و خرابی گشته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد، اصلی‌ترین عامل خوردگی سازه‌های بتنی مسلح، خوردگی میلگردهای فولادی می‌باشد. از اینرو کلیه میلگردهای ساختمان‌ها و سازه‌ها در مناطق خورنده باید به نحو مناسب در مقابل خوردگی محافظت گردد. جدا کردن میلگرد از محیط و عایق‌سازی آن از نظر تماس با عوامل خورنده یکی از راه‌حل‌های جلوگیری از خوردگی و با دوام کردن بتن مسلح می‌باشد تاکنون روشهای متفاوتی برای این منظور ارائه گردیده است،در این پژوهش نشان داده می‌شود که استفاده از آرماتورهای گالوانیزه باعث جلوگیری موثر از خوردگی میلگردهای مورد استفاده در بتن مسلح شده و در نتیجه بتن مسلح مقاومت بسیار بالاتری در برابر عوامل محیطی خورنده همچون حمله کلراید و سولفاتها خواهد داشت، همچنین از نظر اقتصادی نیز نتایج نشان می‌دهد که هزینه استفاده از میلگردهای گالوانیزه در سازه‌های صنعتی حساس همچون مخازن نفتی حدود ۶ درصد هزینه کل و در ساختمانهای معمولی بین ۱ تا ۲ درصد هزینه کل خواهد بود که از این نظر نیز مقرون بصرفه خواهد بود. بنابراین استفاده از میلگردهای گالوانیزه به عنوان یک ابزار اصلی و موثر درحفاظت از خوردگی فولاد، می‌تواند مورد توجه صنعت ساختمان قرار گیرد.

کلید واژگان: خوردگی بتن مسلح، خوردگی فولاد، گالوانیزه، آرماتورهای گالوانیزه

۱- مقدمه

اصلی‌ترین عامل خوردگی سازه‌های بتنی مسلح، خوردگی میلگردهای فولادی می‌باشد. از اینرو کلیه میلگردهای ساختمان‌ها و سازه‌ها در مناطق خورنده باید به نحو مناسب در مقابل خوردگی محافظت گردد. جدا کردن میلگرد از محیط و عایق‌سازی آن از نظر تماس با عوامل خورنده یکی از راه‌حل های جلوگیری از خوردگی و با دوام کردن بتن مسلح می‌باشد تاکنون روشهای متفاوتی برای این منظور ارائه گردیده است، استفاده از روش پوشش‌دهی بارنگهای اپوکسی، پلاستیکها و روشهای آبکاری نسبت به سایر طرق برتری دارد. پر واضح است که هر یک از سیستمهای پوششی دارای مزایا و معایب و محدودیتهای خاص خود می‌باشند که در بسیاری از موارد باعث ترجیح یکی بر دیگری شده است. در این میان، یکی از راهکارهای محافظت آمارتور در مقابل خوردگی استفاده از میلگردهای گالوانیزه (با پوشش روی) است. این میلگردها از لحاظ تکنولوژی به عنوان نسل جدید میلگردهای مقاوم در برابر خوردگی می‌باشد که از هر دو طریق حفاظت فیزیکی و حفاظت الکتروشیمیایی (حفاظت فعال) در برابر خوردگی مقاوم است. گالوانیزه کردن فولاد باعث تشکیل یک پیوند متالورژیکی بین روی و سطح فولاد می‌شود و یکسری لایه های آلیاژی روی/آهن تشکیل می‌شود، لایه‌های تشکیل شده بسیار سخت‌تر از فولاد بوده که این امر سبب افزایش مقاومت سایشی فولاد نیز می‌شود. پوشش حاصل بسیار چسبنده و غیرقابل نفوذ بوده بطوریکه بصورت بخشی از فولاد درآمده و سطح فولاد گالوانیزه مانند روی عمل می‌کند این پوشش به عنوان یک سد فیزیکی از رسیدن مواد خورنده به سطح فولاد جلوگیری کرده و حتی درصورت آسیب دیدن پوشش باز هم روی بدلیل فعال‌تر بودن نسبت به سطح فولاد به صورت فدا شونده از سطح فولاد حفاظت می‌کند. علاوه بر این محصولات ناشی از خوردگی روی ، هم به عنوان یک سد فیزیکی عمل کرده و از ادامه خوردگی روی جلوگیری می‌کند این ویژگی‌ها افزون بر قیمت مناسب پوششهای گالوانیزه است. همچنین از دیرباز در پروژه‌های صنعتی کیفیت و هزینه تمام شده در مقابل یکدیگر قراردارند بنحوی که اغلب چنانچه بخواهیم یکی را بارز کنیم دیگری بالاجبار فدا خواهد شد لذا همیشه باید تلاش نمودبه نقطه بهینه‌ای و با بهترین شرایط کیفیت – هزینه و در جهت تامین هر دو پارامتر دست یافت. همچنین تحقیق و مطالعه در زمینه کاهش هزینه‌های اقتصادی استفاده از این میلگردها در سازه‌های حساس، ضروری بوده، که در همین راستا مطالعاتی و تحقیقاتی صورت گرفته است. و نشان داده می‌شود که استفاده از این روش حفاظتی در مقایسه با هزینه های تعمیر و نگهداری و مقاوم‌سازی‌های بعدی که روی سازه های صدمه دیده ناشی از خوردگی فولاد صورت می‌گیرد، بدلیل بالا رفتن عمر مفید سازه‌ها و افزایش دوام آنها که حاصل استفاده از میلگردهای گالوانیزه می‌باشد مقرون بصرفه می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت بررسی تاثیر میلگردهای حفاظت شده با روش گالوانیزه در برابر خوردگی در مقایسه با میلگردهای معمولی، در این پژوهش سعی شده است با روش آزمایشگاهی و با مطالعه و بررسی تفاوت بین میلگردهای معمولی و میلگردهای مقاوم‌سازی شده با پوشش گالوانیزه و تست و آزمایش آنها در محیطهای اسیدی و محیطهای مورد حمله یون کلر، نسبت به چگونگی تاثیر و مقاومت این ایجاد شده اقدام گردد.

۲-روش تحقیق

با توجه به اینکه در این تحقیق در نظر است راجع به تاثیر میلگردهای گالوانیزه شده در جلوگیری از خوردگی بتن مسلح پرداخته شود لذا در این روش آزمایشگاهی با انتخاب میلگردهای مناسب جهت انجام آزمایشات خوردگی، سپس گالوانیزه کردن میلگردها با توجه به ضوابط و استانداردهای مربوطه و سپس بررسی تاثیر نمونه آب حاصل از پساب خروجی مخازن تصفیه نفت و سایر عوامل محیطی بر روی میگردهای گالوانیزه و معمولی و ارزیابی تک تک میلگردهای مورد آزمایش و انتخاب کمترین و بیشترین میزان احتمال خوردگی با استفاده از تستهای غیر مخرب بوسیله دستگاه CANIN یا هالف سل و سپس بررسی پارامترهای مختلف بر روی میلگردها از لحاظ عوامل خورنده محیطی و انتخاب پارامترهایی که بیشترین تاثیر را دارند به چگونگی تاثیر پوشش گالوانیزه استفاده شده موردنظر در جلوگیری از خوردگی میلگردها خواهیم پرداخت.

۳-۲-مواد مورد نیاز جهت انجام آزمایشات

۱) قالب چوبی مکعبی به ابعاد طول ۲۰ cm ، عرض۲۰ cm وارتفاع ۲۰ cm.

۲-بتن با مقاومت ۲۸ روزه نمونه مکعبی ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (B300).

۳) میلگرد گالوانیزه و معمولی به قطر ۱۲ میلیمتر.

۴) نمونه آب دریا و نمونه آب خروجی از مخازن گراویتی تصفیه نفت شرکت ملی نفت مناطق جنوب.

۵) دستگاه الکترومغناطیس بنام الکومتر جهت اندازه گیری ضخامت روکش گالوانیزه .

۶) دستگاه تستهای غیر مخرب CANIN یا هالف سل با استاندارد ASTM 876..

۷) دستگاه اولتراسونیک تست.

۸) کاغذشناسایی PH آب.

۳- روش انجام کار

ساخت نمونه بتنی بر اساس طرح اختلاط و قراردادن میلگردهای گالوانیزه و معمولی و گذشت ۷۲ ساعت از زمان بتن‌ریزی انجام می‌شود. برای این منظور ابتدا به ارتفاع 10 cm از بتن تهیه شده در کف قالب ریخته شد و آرماتورهای فولادی گالوانیزه و معمولی مطابق (شکل ۳-۷) در داخل قالب قرار داده شد . سپس تا ارتفاع ۱۲۰ cm از بتن تهیه شده در داخل ظرف ریخته شده و برای آنکه پس از ریختن بتن ، فضاهای خالی بطور کامل پر شود، توسط یک تخماق در قالب ضربه زده شد تا بتنی با ترکیب همگن حاصل شود .افزایش مقاومت مکانیکی بتن و بخصوص مقاومت فشاری آن تابعی از زمان است . پس از گذشت مدت زمان لازم جهت فرآیند هیدراتاسیون (تقریبا ۳ روز) مطابق استاندارد (دت۵۰۴ نشریه ۵۵ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی)، نمونه از قالب چوبی خارج شد و سپس از یک روز خشک شدن در محیط آزمایشگاه ، در داخل ظرف حاوی آب دریا قرار گرفت.

- اندازه‌گیری PH نمونه‌های آب

جهت روشن شدن وضعیت اسیدی یا بازی بودن نمونه‌های آب انتخاب شده، نسبت به اندازه‌گیری PH نمونه‌های اخذ شده بوسیله کاغذ مخصوص اقدام گردید. روند کار در شکل شماره۱۱ آمده است:

نتایج بدست آمده از این بررسی نشان می‌دهد که PH آب دریا برابر با ۸ (محیط بازی) و PH آب خروجی مخازن گراویتی برابر با ۴ می‌باشد(محیط اسیدی).

۳-۳-۳- قراردادن نمونه‌های مکعبی در آب دریا و آب خروجی گراویتی:

پس از گذشت ۷۲ ساعت از ریختن بتن در قالبها ، قالبهای بتنی باز شده و نمونه‌ها درون ظرف‌های پلاستیکی که از نمونه های آب پر شده‌اند قرار می‌گیرد تا برای آزمایشات۷روزه، ۲۸ روزه ، ۴۲ روزه و ۶۰ روزه آماده گردند روش اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی با استفاده -از دستگاه تست غیر مخرب – CANIN (Crrosion Analysing Non Dostnetione instrument) یاهالف سل با استاندارد ASTM 876:(شکل ۱)

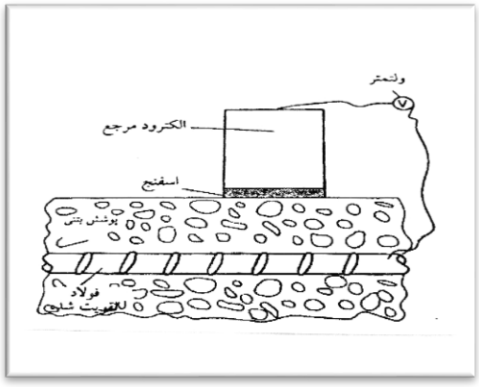
شکل ۱- دستگاه اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی میلگرد استاندارد ASTM 876

اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی: پتانسیل خوردگی ، پتانسیلی است که در آن نرخ واکنش‌های آندی و کاتدی با هم برابرند . جهت اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی ، به یک ولت متر با مقاومت داخلی بالا نیاز است . همانطور که در شکل (۴) به طور شماتیک نشان داده است ، کافیست تا یک الکترود مرجع را بر روی یک اسفنج خیس قرار گرفته بر روی سطح بتن قرارداد و آنرا با یک سیم کم مقاومت به ولت متر متصل کرد ، از سوی دیگر با یک سیم کم مقاومت دیگر آرماتور را به قطب دیگر ولت متر متصل نمود ، پتانسیلی که در این حالت ولت‌متر نشان می‌دهد ، پتانسیل خوردگی فولاد است .

الکترود مرجع مورد استفاده دائما باید با الکترود مرجع اولیه مقایسه شود و به هنگام استفاده در نگهداری آن دقت شود، که در غیر این صورت همه نتایج زیر سؤال خواهد رفت .

شکل ۲- آماده‌سازی دستگاه هالف سل جهت انجام تست خوردگی

شکل ۳-انجام آزمایش اندازه‌گیری میزان مقاومت بتن در مقابل نفوذ یون کلر بوسیله دستگاه آلتراسونیک



شکل۴- شکل شماتیک روش نیم پیل

شکل ۵- مراحل انجام تست مقاومت الکتریکی بتن

- آزمایش نیم پیل

این آزمایش بروی تمامی نمونه‌های ساخته شده انجام شده است.در ابتدا تمامی نمونه‌ها که در شرایط آزمایشگاهی در داخل آب دریا و نمونه آب خروجی مخازن گراویتی به مدت ۷ روز، ۲۸ ، ۴۲ روز و ۶۰ روز، نگهداری شده‌اند مورد آزمایش هالف سل قرار گرفتند: همانطور که در شکل‌ها نشان داده شده است نحوه انجام آزمایش بدین‌گونه است که در ابتدا یک سر سیم را به میلگرد وصل می‌کنیم و سر دیگر را به کمک یک الکترود به سطح بتن مرطوب می‌چسبانیم و در این فاصله ولت‌متری را در مسیر قرار می‌دهیم، اختلاف پتانسیل را بر صفحه نمایش دستگاه مشاهده می‌نماییم و این عدد را یاد داشت می‌کنیم. نتایج حاصل در جداول ذیل آمده:

جدول شماره۱- مقایسه خوردگی میلگردهای معمولی و گالوانیزه در ۷ روز

	۷ روزه			
	آب دریا PH= 8		آب مخازن گراویتی نفت PH=5	
	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی
نتایج اختلاف پتانسیل برحسب میلی ولت	-۱۱۷	-۲۱۴	-۱۷۶	-۲۳۱
	-۱۲۴	-۲۱۳	-۱۶۹	-۲۴۴
	-۱۱۸	-۲۰۵	-۱۸۴	-۲۳۸
	-۱۱۴	-۲۰۸	-۱۷۲	-۲۴۰
	-۱۱۶	-۲۲۱	-۱۹۱	-۲۵۱
	-۱۲۳	-۲۱۹	-۱۸۷	-۲۴۷
	-۱۲۱	-۲۲۴	-۱۶۶	-۲۳۳

جدول شماره۲- مقایسه خوردگی میلگردهای معمولی و گالوانیزه در ۲۸ روز

	۲۸ روزه			
	آب دریا PH= 8		آب مخازن گراویتی نفت PH=5	
	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی
نتایج اختلاف پتانسیل برحسب میلی ولت	-۲۴۲	-۳۹۸	-۲۸۴	-۵۱۱
	-۲۵۵	-۳۸۷	-۲۹۴	-۵۳۶
	-۲۳۶	-۳۷۹	-۲۸۸	-۵۰۹
	-۲۴۵	-۳۸۴	-۲۷۸	-۵۲۸
	-۲۲۹	-۳۸۸	-۲۹۳	-۴۷۰
	-۲۴۸	-۳۷۵	-۲۹۹	-۵۲۶
	-۲۴۳	-۳۶۹	-۲۸۹	-۵۷۶

جدول شماره۳-مقایسه خوردگی میلگردهای معمولی و گالوانیزه در ۴۲روز

	۴۲ روزه			
	آب دریا PH= 8		آب مخازن گراویتی نفت PH=5	
	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی
نتایج اختلاف پتانسیل برحسب میکرو ولت (K.Ω.cm)	-۳۲۱	-۶۸۷	-۳۲۴	-۷۱۱
	-۳۲۵	-۶۹۸	-۳۷۲	-۷۲۴
	-۳۳۷	-۶۹۲	-۳۶۹	-۷۴۲
	-۳۳۱	-۶۹۹	-۳۳۷	-۷۶۲
	-۳۲۲	-۶۸۳	-۳۸۳	-۸۰۱
	-۳۳۹	-۶۷۸	-۳۵۷	-۸۳۴
	-۳۲۶	-۶۹۱	-۳۰۱	-۸۳۹

جدول شماره۴- مقایسه خوردگی میلگردهای معمولی و گالوانیزه در ۶۰روز

	۶۰ روزه			
	آب دریا PH= 8		آب مخازن گراویتی نفت PH=5	
	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی
نتایج اختلاف پتانسیل برحسب میلی ولت (K.Ω.cm)	-۳۹۷	-۷۸۶	-۴۸۱	-۹۳۰
	-۳۸۰	-۷۸۱	-۴۷۵	-۹۵۰
	-۳۸۴	-۷۹۱	-۴۳۵	-۹۴۸
	-۳۹۹	-۷۹۶	-۴۶۵	-۹۴۷
	-۳۶۸	-۸۲۱	-۳۸۳	-۹۸۷
	-۳۸۹	-۸۰۱	-۴۸۲	-۹۹۹
	-۳۷۷	-۷۹۸	-۴۳۶	-۹۸۱

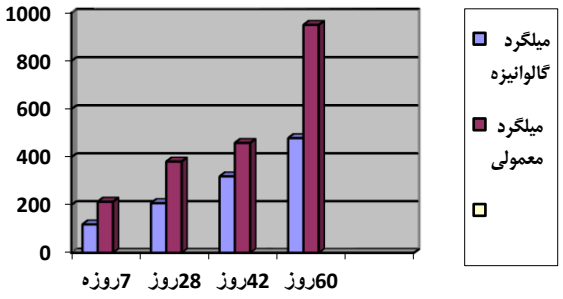
جدول شماره۵- مقایسه نفوذ یون کلردر میلگردهای معمولی و گالوانیزه در ۲۸روز

	۲۸ روزه			
	آب دریا PH= 8		آب مخازن گرانیتی نفت PH=5	
نتایج مقاومت الکتریکی در مقابل نفوذ یون کلر برحسب کیلو .اهم. سانتیمتر (K.Ω.cm)	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی
	۱۳	۸,۵	۱۲	۷,۶
	۱۳,۵	۹,۴	۱۱,۸	۶,۸
	۱۴	۸,۲	۱۲,۵	۵,۵
	۱۴,۸	۶,۵	۱۳,۱	۷,۳
	۱۲,۳	۷,۴	۱۱,۹	۶,۹
	۱۷	۶,۱	۱۴	۶,۵
	۱۳,۸	۸,۷	۱۲,۸	۷,۹

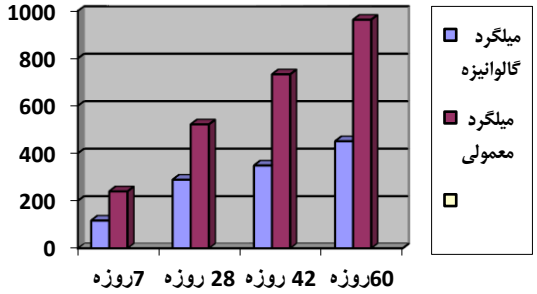
جدول شماره۶- مقایسه نفوذ یون کلردر میلگردهای معمولی و گالوانیزه در ۴۲روز

	۴۲ روزه			
	آب دریا PH= 8		آب مخازن گرانیتی نفت PH=5	
نتایج مقاومت الکتریکی در مقابل نفوذ یون کلر برحسب کیلو .اهم. سانتیمتر (K.Ω.cm)	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی	میلگرد گالوانیزه	میلگرد معمولی
	۱۰,۵	۶,۱	۸,۳	۶,۱
	۱۰,۸	۷,۶	۷,۹	۵,۱
	۱۱	۷,۵	۸,۶	۵,۷
	۹,۵	۶,۴	۸,۱	۵,۴
	۹,۷	۶,۸	۷,۵	۴,۹
	۹,۴	۷,۶	۶,۸	۶,۲

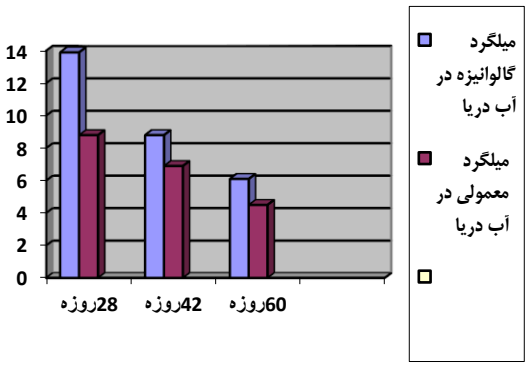
نمودار۱- میزان خوردگی میلگرد گالوانیزه درمقایسه با میلگرد معمولی در مجاورت آب دریا PH=8(محیط بازی)



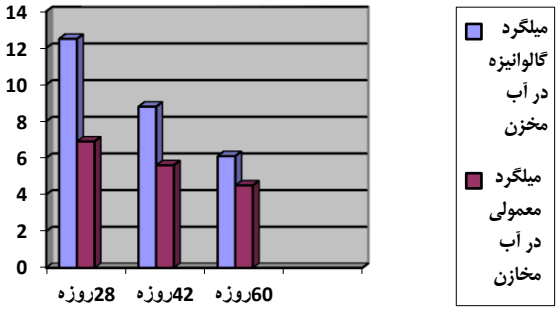
نمودار شماره۲- میزان خوردگی میلگرد گالوانیزه درمقایسه با میلگرد معمولی در مجاورت مخازن گرانیتی محیط محیط اسیدیPH=5



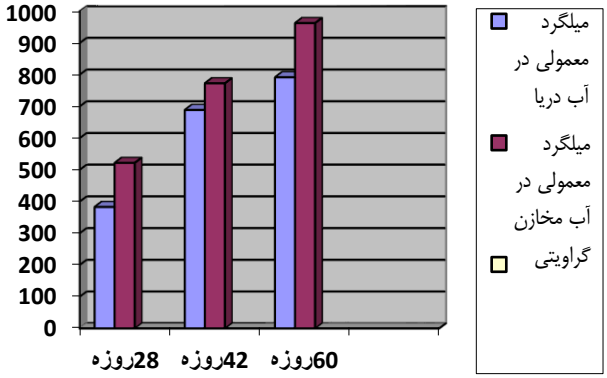
نمودار شماره ۳- نمودار مقایسه‌ای نفوذ یون کلر در نمونه بتنی همراه با میلگرد گالوانیزه و معمولی در مجاورت آب دریا



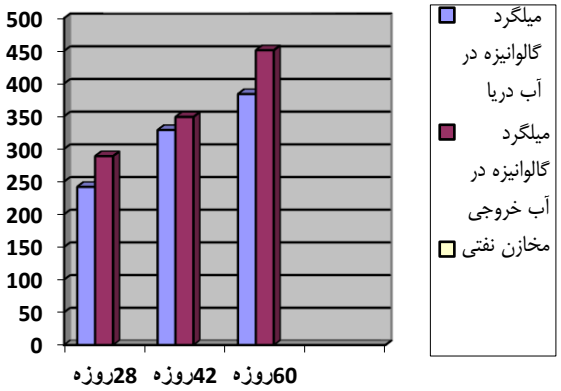
نمودار شماره ۴-نمودار مقایسه‌ای نفوذ یون کلر در نمونه بتنی همراه با میلگرد گالوانیزه و معمولی در مجاورت آب مخازن گراویتی PH=5 (محیط اسیدی)



نمودار شماره۵- مقایسه خوردگی میلگرد معمولی در مجاورت آب دریا (محیط بازی) و آب خروجی از مخازن نفتی(محیط اسیدی)



نمودار شماره۶- مقایسه خوردگی میلگرد گالوانیزه در مجاورت آب دریا(محیط بازی) و آب خروجی از مخازن نفتی(محیط اسیدی)



تجزیه و تحلیل نتایج

در این قسمت ، نتایج ناشی از اندازه‌گیری پتانسیل آرماتورهای فولادی و تغییرات آنها با زمان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱- تحلیل نمودارهای پتانسیل – زمان

برای بررسی حالات مختلف فولاد در بتن بر اساس تغییرات پتانسیل آرماتورهای فولادی گالوانیزه و معمولی و تاثیر عوامل محیطی نظیر نفوذ یونهای کلر و سولفاتها بر روی این مقادیر و نیز بررسی نفوذپذیری نمونه بتنی موردنظر، نمودارهای پتانسیل – زمان برای آرماتورها گالوانیزه و معمولی ترسیم گردید . این نمودارها که براساس اندازه‌گیری‌های پتانسیل پس از ۷روز،۲۸ روز،۴۲ روز و۶۰ روز بر طبق داده‌های جدول (۱-۴) ترسیم گردیده‌اند . درنمودارهای شماره ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

۴-۴-۱-۱- بررسی نمودارهای پتانسیل – زمان از نمودار شماره ۱:

از بررسی کلی نمودارهای پتانسیل – زمان، ملاحظه می‌گردد که در تمام این نمودارها مقادیر پتانسیل اندازه‌گیری شده پس از گذشت ۲۸ روز از زمان در معرض قرارگیری، نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده در یک هفته اول، منفی تر شده است .که نشان‌دهنده شروع خوردگی در میلگردها می‌باشد. ولیکن مقاومت میلگرد گالوانیزه در مقایسه با میلگرد معمولی بسیار بیشتر میباشد همچنین با گذشت زمان بر میزان خوردگی میلگردها افزوده شده ولی باز هم میزان خوردگی در میلگردهای گالوانیزه تقریبا نصف میلگر دهای معمولی می‌باشد.

۴-۴-۱-۲- ازبررسی نمودار شماره ۲ چنین نتیجه‌گیری می‌شود که روند افزایش اختلاف پتانسل‌ها با گذشت زمان در میلگردهای معمولی در مجاورت آب خروجی از مخازن گراویتی که خاصیت اسیدی دارند بسیار بیشتر از میلگردهای قرار گرفته در مجاورت آب دریا می‌باشد که حالت بازی دارد که نشان‌دهنده خورندگی بیشتر محیط اسیدی نسبت به محیط بازی می‌باشد. بر طبق جدول (۲) مقادیر پتانسیل میلگردهای معمولی بعد از ۲۸ روز بالاتر ازحد ۳۵۰- میلی‌ولت رسیده‌اند که براساس استاندارد ASTM C 876 احتمال خوردگی به بیشتر از ۹۰ درصد می‌رسد .

با گذشت زمان و پس از ۴۲ روز ملاحظه می‌گردد که مقادیر پتانسیل اندازه گیری شده برای تمام آرماتورها باز هم منفی‌تر شده است . همچنین پتانسیل آرماتورهایی که در محیط اسیدی قرار گرفته‌اند، به نسبت بیشتر منفی‌تر شده است . از این زمان تا روز ۶۰ ام نیز مقادیر پتانسیل بتدریج افزایش یافت که نشان‌دهنده افزایش میزان خوردگی با گذشت زمان است. ولی همچنان که دیده می‌شود این میزان افزایش برای میلگردهای گالوانیزه در مقایسه با میلگردهای معمولی تقریباً نصف می‌باشد.

۴-۲-تفسیر نمودارهای نفوذ یون کلر – زمان

با بررسی نمودارهای شماره ۳ و ۴ مشخص می‌شود میزان نفوذ یون کلر و در نتیجه کاهش مقاومت الکتریکی بتن با گذشت زمان بیشتر گردیده و نفوذ بیشتر یون کلر مدت ۶۰ روز ، باعث شده آرماتورها با شدت بیشتری خورده شوند . ولی بازهم دیده می‌شود مقاومت الکتریکی در نمونه‌هایی که دارای میلگرد گالوانیزه می‌باشند بیشتر باشد که نشان‌دهنده مقاومت میلگردهای گالوانیزه در مقابل اکسیداسیون و خوردگی می‌باشد.

بتن پیش از آنکه کربناته شود ، محیطی به شدت قلیایی داشته و PH آن در حدود ۱۳ است. علت این حد بالای قلیائیت وجود هیدروکسیدهای کلسیم ، پتاسیم و سدیم است که از واکنش بین آب و سیمان تشکیل شده‌اند . در مراحل اولیه هیدراتاسیون ، فیلم محافظه اکسیدی Fe_3O_4 بدلیل قلیائیت بالای محیط بتن توسط یک واکنش الکتروشیمیایی شامل اکسیداسیون آهن و احیای کاتدی اکسیژن تشکیل می‌شود . اکسیژن مورد نظر همان اکسیژن موجود در خلل و فرخ بتن است . این لایه نازک در عمل قادر است بخوبی فلز را محافظت نماید. لایه اکسید چسبنده آهن ، ضخامتی در حدود ۰,۱ تا ۰,۰۰۱ میکرون دارد . این ضخامت بستگی به قلیائیت بالای بتن و پتانسیل فولاد که معمولاً بین ۲۰۰+ تا ۷۰۰- میلی‌ولت (نسبت به sce) می‌باشد دارد . واکنش‌های تشکیل این لایه عبارتند از :

$$Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2$$

آندی

$$O_2 + 2H_2O + 2e \rightarrow 4OH$$

کاتدی

با نفوذ بیشتر یونهای کلر به نواحی آندی موجب اسیدی‌تر شدن نواحی آندی و قلیایی‌تر شدن نواحی کاتدی می‌شود . با پیشرفت خوردگی و هیدرولیز محصولات خوردگی در بتن ، یونهای هیدروژن بیشتری آزاد شده ، لذا اسیدیته افزایش یافته و در نتیجه پتانسیل‌ها در این ناحیه منفی‌تر می شوند از اینرو با افزایش غلظت یون کلر و اکسیژن در دسترس، شدت جریان خوردگی افزایش می‌یابد.

. با کاهش مقدار ph و نفوذ بیشتر یون کلر امکان وقوع واکنش شیمیایی ذیل افزایش می‌یابد:

$$Fe(OH)_2 + 3CI \rightarrow [FeCI]_3 + (OH)_2$$

یون کلر در این واکنش نقش کاتالیزوری دارد. یون کلر با اکسید کردن آهن، یون مرکب و ناپایدار $FeCl_3$ را تولید می‌کند که در آب محلول است. با حل شدن $FeCl_3$ در آب و انجام واکنش با یونهای هیدروکسید موجود در آب $Fe(OH)_2$ تولید می‌شود در اثر این واکنش یون CL آزاد شده و آماده واکنش مجدد می‌گردد. همچنین در اثر این واکنش یونهای هیدروکسید مصرف شده و از قلیائیت بتن کاسته می‌شود . الکترونهای تولید شده در اثر واکنشهای شیمیایی از طریق آرماتورهای به نواحی کاتدی جریان می‌یابند . از اینرو، در اثر تمرکز یونهای کلر و کاهش موضعی PH خوردگی ایجاد شده و هیدروکسید آهن تولید شده با جذب اکسیژن، تولید ترکیبات $Fe_3O_4, Fe_2O_3, Fe(OH)_3$ می‌کند . این واکنش‌های، منجر به افزایش میزان خوردگی و کاهش پتانسیل نیم پیل آرماتورها می‌گردد که با نتایج بدست آمده از نمودارهای پتانسیل- زمان مطابقت دارد.

۴-۳- تحلیل اقتصادی استفاده از آرماتورهای گالوانیزه:

همانطور که پیش‌تر گفته شد آسیب خوردگی به سازه‌های بتنی در جهان سالانه میلیاردها دلار هزینه در بر دارد. ریشه کن کردن خوردگی میلگردها و بتن، پس از ساخت و ساز بسیار گران و ناخوشایند است زیرا تمام یا بخشی از ساختار ساز ه‌ها را باید به طور دوره‌ای برای تعمیر و تقویت از سرویس خارج نمود و با تخریب و بازسازی و تقویت مجدد، دوباره به سرویس‌دهی برگردان .عدم اجرای درست تقویت و تعمییر خوردگی نیز می‌تواند منجر به شکست‌های ساختاری فاجعه بار و پیامدهای بالقوه مرگباری شود. بنابراین منطق و عقلانیت حکم می‌کند که از این پدیده قبل از وقوع آن جلوگیری شود

حجم مصالح مصرفی در سازه بتنی مورد نظر تحقیق بشرح ذیل است:

۱-جم بتن مصرفی ۳۰۰ متر مکعب

۲-حجم آرماتور مصرفی برای کلسازه شامل فونداسیون و دیواره ها : ۴۵ تن میلگرد

برآورد هزینه‌ها:

- هزینه گالوانیزه کردن هر کیلوگرم آرماتور با پوشش ۴۵ میکرون ، ۱۱۰۰۰ ریال می باشد.
- سایر هزینه‌های بالاسری همچون حمل و نقل به کارخانه گالوانیزه گرم: ۲۰۰۰ ریال به ازای هر گیلوگرم میلگرد است.
- بنابراین هزینه هر کیلوگرم گالوانیزه ۱۵۰۰۰ ریال خواهد بود.

کل هزینه گالوانیزه کردن آرماتورها۵۸۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال = ۴۵۰۰۰×۱۳۰۰۰

- کل هزینه ساخت مخزن گراویتی : ۹/۵۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال

نسبت هزینه گالوانیزه کردن به کل هزینه ساخت

(۵۸۵/۰۰۰/۰۰۰)÷ (۹/۵۰۰/۰۰۰/۰۰۰)=۰/۰۶۱

یعنی کل هزینه گالوانیزه کردن میلگردهای این تصفیه‌خانه فقط ۶ درصد کل هزینه ساخت می‌باشد. و در مقابل حداقل عمر مفید سازه دوبرابر خواهد.و دوره تعمیر و تقویت سازه را حداقل دو برابرطولانی‌تر می‌کند.

از طرفی در سازه‌های بلند بندرت لازم است کلیه اجزای فولادی همچون تیرها و ستونها با گالوانیزه تقویت گردند و استفاده از آرماتورهای گالوانیزه ممکن است فقط به فونداسیون و یا تعداد معدودی از اجزای دیگر سازه محدود گرددکه در این صورت درصد هزینه گالوانیزه کردن نسبت به هزینه کل ساخت به ۱تا ۲ درصد نیز کاهش خواهد یافت.

۵ –نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی تاثیر استفاده از میلگردهای گالوانیزه در مقایسه با میلگردهای معمولی ،در جلوگیری از خوردگی بتن پرداخته شد، بر این اساس نسبت به تهیه نمونه‌های مکعبی از بتن معمولی و با عیار ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب گردید وجهت ایجاد شرایط محیطی واقعی در آزمایشات نسبت به تهیه نمونه آب دریا از بندر ماهشهر (سواحل خلیج فارس) و همچنین نمونه آب خروجی از مخازن تصفیه گراویتی نفت شرکت ملی نفت مناطق نفت خیز جنوب اقدام گردید. و پس از ساخت نمونه‌های بتنی که در آنها میلگردهای گالوانیزه و معمولی قرارداده شد، نهایتاً جهت تست و آزمایش خوردگی از می‌باشد استفاده گردید. ASTM که دارای استاندارد CANIN از دستگاه

نتایج ذیل بدست آمده بشرح ذیل است:

۱- میزان خوردگی در میلگردهای گالوانیزه تقریباً نصف میزان خوردگی در میلگرد های معمولی می‌باشد که این نشانگر کارآیی روکش گالوانیزه می باشد.

۲-هزینه روکش گالوانیزه برای هر کیلوگرم میلگرد، ۱۵۰۰۰ ریال افزایش قیمت به همراه دارد که این رقم برای کل میلگردهای مورد نیاز یک پروژه، در مقایسه با هزینه کل پروژه، حدود ۶ درصد می‌باشد که با توجه به مسئله دوام سازه و مقاومت ایجاد شده در سازه در مقابل خوردگی در اثر استفاده از میلگرد گالوانیزه، ناچیز بوده و لذا استفاده از این روش مقرون بصرفه می باشد.

- خوردگی میلگردها (گالوانیزه و معمولی) در محیط مخازن نفتی که محیطی اسیدی می‌باشد بسیار بیشتر از محیط مجاور با آب دریا (محیط بازی) بوده و میلگرد گالوانیزه با پوشش ۴۵ میکرون نیز در این شرایط مقاومت بالایی ندارد لذا می‌بایست حتماً از میلگردهای گالوانیزه با ضخانت پوشش بالاتر استفاده نمود.

۶- پیشنهادات

۱- با توجه به اینکه محیط مخازن نفتی محیطی اسید می‌باشد، و ضخامت روکش در نظر گرفته ۴۵ میکرون بوده است، و در محیط اسیدی دچار خوردگی کمی گردید، پیشنهاد می‌گردد جهت ایجاد مقاومت بالاتر، در ساخت مخازن نفتی از میلگردهای گالوانیزه با پوششهای بالاتر تا ۱۰۰ میکرون استفاده گردد.

۲-با توجه به اینکه نتایج آزمایشات بیانگر نفوذ بالای یون کلر، در بتن معمولی می‌باشد لذا پیشنهاد می‌گردد جهت جلوگیری از نفوذ یونهای کلر و آسیب بیشتر به میلگردها از بتنهای با مقاومت بالا مانند بتن‌های الیافی استفاده گردد.

الف-منابع فارسی

۱) خدایی،ب، (۱۳۸۵). طرح تولید با پوشش گالوانیزه گرم.تهران: وزارت صنایع و معادن.

۲) حسینی کلورزی، الف، (۱۳۸۴). آشنایی با عیوب، روشهای ترمیم و بازرسی پوششهای گالوانیزه گرم، اهواز، مجتمع فولاد خوزستان.

۳) استاندارد شماره ۱۲۹۱ موسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران، پوششهای گالوانیزه.(۱۳۹۲).

۴) شکرچی ، محمد ، بخشی ، مهدی ، و ماهوتیان ، (مهرداد ۱۳۸۴) ، بررسی نفوذپذیری بتن در برابر گاز اکسیرن، دومین کنفرانس بین‌المللی بتن و توسعه، تهران، ایران.

۵) جدیدیان، ح.(۱۳۹۵). بررسی خوردگی آرماتور در بتن مسلح حاوی الیاف پلی پروپیلن و فولاد، تهران.

۶) رحمتی، ا.(۱۳۹۴). ارزیابی و مقایسه روش‌های جلوگیری از خوردگی میلگردهای سازه‌های بتن مسلح بتنی در مناطق با خورندگی شدید(خلیج فارس)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مدیریت ساخت ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی .

ب- منابع انگلیسی

7-N. Coni, M. L. Gipiela,(2009)A. S. C. M. D'Oliveira, P. V. P. Marcondes, Study of the mechanical properties of the hot dip galvanized steel and Galvalume, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.

8-Akin Akinci, (2004) The salt spray corrosion of polymer coating on steel, The Arabian Journal for Science and Engineering, Volume 34, Number 179-181

9-B. del Amoa, L. Vélevab, A.R. Di Sarli, C.I. Elsner, (2008) Performance of coated steel systems exposed to different media (Part I: painted galvanized steel), Progress in Organic Coatings 50 4- J.B. Bajat, V.B. MiFskovi ´c-Stankovi ´ca, J.P. Popi´cb, D.M. DraFzi ´c, Adhesion characteristics and corrosion stability of epoxy coatings electrodeposited on phosphated hot-dip galvanized steel,
Progress in Organic Coatings 63 201–208

10-American Galvanizers Association, Hot-dip galvanizing for corrosion protection of steel products, 2000

11-Frank C. Porter, Corrosion resistance of zinc and zinc alloys, CRC Press, (2011) 1 edition, pp 61, 83, 876- A.M.P. Simoes, R.O. Carbonari, A.R. Di Sarli, B. del Amo, R. Romagnoli, An environmentally acceptable primer for galvanized steel: Formulation and evaluation by SVET, Corrosion Science 3- 464–472

12-Kimberlie J. Dunham, (2002) Preparing hot-dip galvanized steel surfaces for painting or powder coating: A primer, American Galvanizers Association,

-Thomas J. Langill, Painting over hot dip galvanized steel, American Galvanizers Association

Investigating the Effect of Galvanized Steel Rebars on Preventing Steel Corrosion in Reinforced Concrete

Mohammad Reza Hesabi
Master of Manufacturing Management, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran
Abdolkarim Abbasi Dezfuli
Faculty Member, Civil Engineering Department, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran
Abbasihamid@hotmail.com

Abstract:

Corrosion of steel in concrete is one of the most important factors in the destruction and destruction of concrete structures around the world. Even in advanced countries, this is a year-long issue that will cost a lot of maintenance and maintenance of concrete structures that are sensitive and insensitive to national and national resources. These damage are more severe in the Gulf countries, and many concrete structures have been corroded and damaged. Studies show that the main corrosion agent of reinforced concrete structures is corrosion of steel joints. Therefore, all corners of buildings and structures in corrosive areas should be adequately protected against corrosion. Separating the rebar from the environment and insulating it in terms of contact with corrosive agents is one of the solutions to prevent corrosion and durability of reinforced concrete. Different methods have been proposed for this purpose. In this study, it has been shown that the use of Galvanized reinforcement prevents the corrosion of reinforced concrete meshes effectively and, as a result, reinforced concrete will have a much higher resistance to corrosive environmental factors, such as chloride and sulfate attack. Also, economically, the results show that the cost of using galvanized rebars in sensitive industrial structures, such as oil tanks, is about 6 percent of the total cost, and in conventional buildings, between 1 and 2 percent of the total cost, which is also cost-effective in this regard. Therefore, the use of galvanized bars as a main and effective tool for protecting steel corrosion can be considered by the construction industry.

Keywords: Concrete corrosion, Steel corrosion, Galvanized, Galvanized reinforcement