قابل دسترس در نشانی: http://jips.ippi.ac.ir

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،
سال بیستم، شماره ۴، صفحه ۳۵۹-۳۴۹، ۱۳۸۶
ISSN : 1016-3255

بررسی کارایی پوشش اپوکسی قطران روی فولاد ST۳۷ در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس

مهدی ایرانمنش*، مجتبی سرمدی آقایی
تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۴۴۱۳

دریافت: ۸۵/۷/۱۲، پذیرش: ۸۶/۲/۱۱

چکیده

امروزه، سازه‌های دریایی که در خلیج‌فارس ساخته می‌شوند، اغلب از جنس فولاد ST۳۷ هستند. تعداد این سازه‌ها به دلیل اکتشافات نوین منابع گاز و نفت، روز به روز در حال افزایش است. از طرفی، این سازه‌ها همواره در معرض محیط خورنده دریایی‌اند و باید بتوان سال‌ها از آنها بهره‌برداری کرد. اپوکسی قطران یکی از پوشش‌هایی است که به طور رایج در سازه‌های فولادی واقع در نواحی مختلف خلیج‌فارس استفاده می‌شود. درباره کارایی این پوشش در نواحی جزر و مدی، پاشش آب و اتمسفری کارهای پراکنده‌ای انجام شده است، اما تاکنون در ناحیه غوطه‌وری هیچ بررسی اصولی انجام نگرفته است. بنابراین، در پژوهش حاضر، سه سامانه پوشش انتخاب شده که در هر سه آنها در یکی از لایه‌های اولیه، میانی یا نهایی از اپوکسی قطران استفاده شده است. دو سامانه به شکل آزمایشگاهی و میدانی و یک سامانه نیز تنها به شکل میدانی به مدت ۶ ماه بررسی شده است. کلیه آزمون‌های مکانیکی و شیمیایی انجام گرفته مطابق با استاندارد NACE RPO ۱۷۶-۶۴ برای بررسی کارایی پوشش‌های دریایی بوده است. این آزمون‌ها در آزمایشگاه خوردگی پژوهشگاه صنعت نفت انجام شده و نمونه‌های میدانی نیز در محل اسکله فولاد واقع در حاشیه جنوبی بندرعباس به مدت ۶ ماه به شکل هفتگی بررسی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد، استفاده از اپوکسی قطران در لایه نهایی سامانه‌های پوشش، در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس مناسب نیست. اما، با آماده‌سازی سطح مناسب و به کارگیری پوشش روی اتیل سیلیکات در لایه اولیه و ضدخزه در لایه نهایی، اپوکسی قطران در لایه میانی کارایی مطلوبی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی

**سامانه پوشش،
اپوکسی قطران،
ناحیه غوطه‌وری، خلیج فارس،
فولاد ST۳۷**

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:
imehdi@cic.aut.ac.ir

Studying the Performance of Coal Tar Epoxy on ST37 Steel in Submerge Zone of Persian Gulf

M. Iranmanesh and M. Sarmadi
Amirkabir University of Technology, P.O. Box: 15875/4413, Tehran, Iran

Abstract

These days, most of the marine structures which are constructed and used in Persian Gulf, are made of ST37 steel. Due to oil and gas sources excavated, the number of these structures is constantly increasing. On the other hand, these types of structures are exposed to corrosive environments and it is seriously critical for these structures to be used for many years. Coal tar epoxy (trade name), one of the popular coating layers, is used in different parts of steel constructions which are in use in the Persian Gulf. Several works have been carried out on the functioning quality of this coating in tidal zones, under splashing water and atmospheric conditions, but up to now no report is made in submerge zone. Hence in this investigation, three coating systems have been considered that coal tar epoxy is being used in each of one of the three layers of primer, middle and top. Two systems of laboratory and in field have been investigated for 6 months and an isolated system in field type has been also investigated. All the mechanical and chemical tests which have been performed are according to NACERPO176-64 standard which is for investigating the function of all marine coatings. All corrosion tests have been performed in Refinary Laboratory of Petroleum Industry and all the fields samples have been investigated in Steel Harbor located in the south of Bandar Abbas every week during 6 months. The test results have indicated that the coal tar epoxy which were being used in the last layer is not suitable for submerge zone. By preparing, however, a suitable surface in the first layer using zinc ethyl silicate and the last layer with antifouling, the coal tar epoxy can function properly in the middle layer.

Key Words

**coating system,
coal tar epoxy,
submerge zone, Persian gulf,
ST37 steel**

(*) To whom correspondence should be addressed.
E-mail: imehdi@cic.aut.ac.ir

مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در زمینه طراحی و ساخت سازه‌های دریایی توسط متخصصان داخلی و همچنین نیاز به بازسازی و تعمیر سازه‌های موجود، انجام تحقیقات جامع را درباره روش‌های کنترل خوردگی این سازه‌ها ضروری ساخته است. حفاظت سازه‌های دریایی درخلیج فارس نه تنها از نظرکاهش خوردگی، بلکه برای جلوگیری از به هدر رفتن سرمایه‌های ملی نیز امری اجتناب‌ناپذیر است.

به طور کلی، سازه‌های دریایی از قبیل کشتی‌ها، سکوهای ثابت و شناورها، پل‌ها و اسکله‌ها از فولاد ساخته می‌شوند. این سازه‌ها در معرض محیط خورنده دریایی قرار می‌گیرند. درچنین محیطی، فولاد به شدت تمایل دارد که به حالت اولیه پایدار خود یعنی اکسیدآهن بازگردد. بنابراین، با استفاده از روش‌های کنترل خوردگی باید از این بازگشت جلوگیری کرد [۱،۲].

یکی از متداول‌ترین روش‌های حفاظت سازه‌های دریایی به کارگیری پوشش‌های آلی است. این پوشش‌ها به شکل لایه نازکی با ضخامت ۱۲۵-۵۰۰ µm روی سطح فلز قرار می‌گیرند و از تماس عوامل خورنده محیطی با فلز جلوگیری می‌کنند. این پوشش‌ها هیچ نقشی در افزایش استحکام سازه نداشته و تنها باعث حفظ استحکام آن طی مدت بهره‌برداری می‌شوند. چسبندگی، سختی، مقاومت در برابر مواد شیمیایی، آب، رطوبت، پرتوهای خورشیدی، نفوذ یون‌ها و گازها از جمله خواصی هستندکه باید این پوشش‌ها داشته باشند [۴-۱]. مهم‌ترین ویژگی‌های یک سامانه پوشش برای حفاظت از سازه‌های دریایی، جلوگیری از نفوذ عوامل خورنده به زیر آن و همچنین جلوگیری از پیشروی خوردگی در زیر پوشش است. بدون داشتن چنین ویژگی‌هایی، ابتدا عوامل خورنده محیطی به زیرپوشش نفوذ می‌کنند و باعث بروز خوردگی در زیر آن می‌شوند. سپس، خوردگی در زیر پوشش پیشروی کرده و تمام سطح سازه را فرا می‌گیرد [۵].

خوردگی در نواحی مختلف سازه‌های دریایی به دلیل تفاوت نوع محیط در تماس، متفاوت است و پوشش‌ها در نواحی مختلف باید خواص متفاوتی داشته باشند. در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس برای حفاظت سازه‌ها در برابر خوردگی معمولا از حفاظت کاتدی استفاده می‌شود. در این ناحیه استفاده از پوشش‌های آلی به تنهایی یا علاوه بر این حفاظت، بیشتر بر مبنای تجربی است [۶،۷]. اپوکسی قطران (coal tar epoxy) یکی از پوشش‌هایی است که در نواحی مختلف سازه‌های دریایی خلیج فارس واقع در جنوب بندرعباس رایج است. تاکنون تحقیقات کاملی درباره کارایی اپوکسی قطران روی فولاد ST۳۷ در ناحیه غوطه‌وری سازه‌های یاد شده در خلیج فارس انجام نشده است، در این پژوهش این موضوع بررسی می‌شود.

تجربی

مواد

پوشش‌هایی که در این تحقیق استفاده شده‌اند از محصولات تولید داخلی شرکت باژاک است.

روی اتیل سیلیکات

این پوشش با کد تجاری BAJAK, S Zincsil ۱۵۷۰۰ به عنوان آستر ضدخوردگی روی سطوح آهنی و فولادی، که به خوبی ماسه پاشی شده‌اند، به کار رفته و خواص ضد خوردگی فوق‌العاده‌ای را داراست. این پوشش می‌تواند در دمای پایین و حتی در شرایط رطوبت بسیار زیاد به کار رود.

روی اتیل سیلیکات یک پوشش معدنی است و به شکل دو جزئی تهیه می‌شود، بدین نحو که پودر روی (Zn) به طور جداگانه نگهداری شده و قبل از اعمال پوشش با رزین آن، که به حالت مایع است، ترکیب می‌گردد. چسبندگی بسیار زیاد پوشش‌های معدنی روی، به سطح فولاد به دلیل واکنش شیمیایی سیلیسیک‌اسید با سطح فولاد است که موجب تشکیل یک لایه سیلیکات آهن در فصل مشترک پوشش و فولاد می‌شود.

پوشش اعمال شده بعد از ۳۰ min در دمای ۲۰°C قابل لمس (touch dry) است. زمان خشک شدن این پوشش، ۸ h در دمای ۲۰°C است و نسبت ترکیب وزنی بخش مایع این پوشش (اتیل‌سیلیکات) به بخش جامد آن (پودر روی) ۳/۲ به ۶/۸ و نسبت حجمی همان بخش‌ها ۷/۴ به ۲/۶ است [۸،۹].

اپوکسی قطران

این پوشش با کد تجاری BAJAPOX ۱۵۱۳۰ تلفیقی از رزین اپوکسی با قطران است. قطران در حالت مایع با رزین اپوکسی مخلوط شده و از عامل سخت کننده آمینی یا پلی‌آمید استفاده می‌شود. کارایی این پوشش به مقدار زیادی به کیفیت و نوع قطران به کار رفته بستگی دارد.

تلفیق قطران و اپوکسی باعث می‌شود، پوشش خواص هر دو ماده را به دست آورد. زمان لازم برای اعمال لایه بعدی این پوشش ۹ h و مقدار جامد حجمی آن ۷۰ درصد است.

این پوشش به ضخامت ۱۲۵ و ۶۵ µm اعمال می‌شود که نسبت به پوشش‌های دیگر دیرتر خشک می‌شود. زمان خشک شدن کامل آن ۷ روز در دمای ۲۰°C است و نسبت حجمی ترکیب اپوکسی قطران با بخش سخت کننده آن ۴ به ۱ است [۸،۹].

اپوکسی پلی آمید

پوشش اپوکسی پلی آمید با کد تجاری BAJAPOX HI-BUILD ۴۵۲۰۰ به عنوان لایه میانی در سامانه ۲ (جدول ۱) به کار رفته است و چسبندگی عالی روی سطوح آستر شده با پوشش های معدنی وآلی روی دارد.

این پوشش زمانی که از قلم مو برای اعمال آن استفاده می شود، پس از ۸ h در دمای ۲۰°C به طور سطحی خشک می شود و زمان خشک شدن کامل آن در دمای ۲۰°C، ۷ روز است [۸،۹].

اپوکسی سیلر

پوشش اپوکسی سیلر با کد تجاری BAJAPOX ۴۵۱۸۲ به عنوان لایه رابط در لایه زیرین ضدخزه در دو سامانه پوشش اعمال می شود که از جنس اپوکسی پلی آمید است.

گاهی اتفاق می افتد، به دلیل کم کردن تعداد لایه های پوشش در لایه میانی به همان ضخامت مورد نیاز (۱۰۰-۵۰ µm) به جای اپوکسی سیلر، لایه میانی اپوکسی پلی آمید را بیشتر اجرا می کنند که همان وظیفه لایه رابط را نیز انجام می دهد. ولی، در این تحقیق از اپوکسی سیلر استفاده شده است. زمان لازم برای اعمال لایه بعدی این پوشش ۶ h و مقدار جامد حجمی آن ۴۶ درصد است. زمان خشک شدن کامل آن در دمای ۲۰°C، ۷ روز است و نسبت حجمی ترکیب آن با عامل سخت کننده، ۴ به ۱ است [۸،۹].

ضد خزه

سطوحی که به طور دائم در حالت غوطه ور قرار دارند یا این که به طور مرتب مرطوب اند، پس از گذشت زمانی چند روی سطح آنها جلبک، میکروارگانیسم ها وقارچ ها رشد می کند. این پدیده باعث تخریب فیلم رنگ، تشدید خوردگی، کاهش سرعت کشتی ها و در نتیجه افزایش مصرف سوخت می شود. برای مقابله با این پدیده باید در هنگام فرمول بندی، در انتخاب رزین و سایر مواد تشکیل دهنده رنگ توجه لازم را داشت. حتی اگر لازم باشد باید از افزودنی هایی استفاده کرد که مانع رشد باکتری شده و شرایط سمی را برای آنها فراهم می کنند. از این رو، در پژوهش حاضر در لایه نهایی سامانه ۱ (جدول ۱) از ضدخزه با کد تجاری BAJAK, S ANTIFOULIG SP ۷۹۰۵۱ استفاده شده که بدون عامل سخت کننده است و به ضخامت ۱۲۰ µm اعمال شده است و بعد از ۵ h در دمای ۲۰°C خشک می شود [۸،۹].

جدول ۱- مشخصات سامانه های پوشش.

ردیف	سامانه پوشش	ضخامت پوشش خشک شده (µm)
۱	روی اتیل سیلیکات	۵۰
	اپوکسی قطران	۱۲۵
	اپوکسی سیلر	۱۰۰
	ضد خزه	۱۲۰
۲	روی اتیل سیلیکات	۵۰
	اپوکسی پلی آمید	۱۰۰
	اپوکسی قطران	۱۲۵
۳	اپوکسی قطران	۱۲۵
		۶۵

دستگاه‌ها

در این پژوهش، از دستگاه‌های پرسوز برای آزمون سختی، چرخ ساینده برای سایش، دستگاه ضربه و دستگاه مه نمکی استفاده شده است که مشخصات این دستگاه‌ها در استاندارد آزمون‌های مربوط آمده است [۱۵-۱۰].

روش‌ها

روش تحقیق

در این تحقیق، به منظور بررسی دقیق کارایی پوشش اپوکسی قطران در شرایط غوطه وری خلیج فارس، از سه سامانه پوشش استفاده شده است. سامانه های ۱ و ۲ به دو شکل آزمایشگاهی و میدانی و سامانه ۳ فقط به شکل میدانی بررسی شدند. مشخصات این سامانه ها در جدول ۱ آمده است. آزمون ها در پژوهشگاه صنعت نفت، طبق استاندارد ASTM انجام شده است. همچنین، به مدت ۶ ماه همین نمونه ها در ناحیه غوطه وری خلیج فارس در منطقه اسکله فولاد بندرعباس به شکل هفتگی مورد بررسی قرار گرفتند.

نمونه ها از جنس فولاد ST۳۷ به ابعاد ۱۲۰×۱۰۰×۵ mm انتخاب شدند. قابل ذکر است که هیچ استاندارد مشخصی برای انتخاب ابعاد نمونه ها وجود ندارد و به همین دلیل این ابعاد طوری انتخاب شدند که نمونه ها سطح کافی برای انجام آزمون داشته باشند. در تمام نمونه ها، در وسط ضلع کوچکتر به فاصله ۳ cm پایین تر از لبه بالایی سوراخی به قطر ۱۰ mm برای نصب ایجاد شد. تمام این پوشش ها از محصولات داخلی اند.

تمام نمونه ها بدون آماده سازی و با دو حالت آماده سازی شن سایی، طبق استاندارد سوئد تا درجه Sa ۳ و با برس سیمی طبق استاندارد NACE تا درجه NO.۲ تهیه شدند. پس از آماده سازی سطح، نمونه ها بلافاصله برای اعمال رنگ به اتاق مخصوص انتقال داده شدند. شرایط جوی (دما و رطوبت) اعمال، نسبت های سخت کننده و تینر، زمان خشک شدن سطحی برای اعمال لایه بعدی، زمان خشک شدن کامل برای نصب و... به طور کامل در مشخصات فنی رنگ ها مشخص

شده‌اند. در این طرح، رنگ‌ها به وسیله قلم مو با ضخامتی که شرکت سازنده آن مشخص کرده است، اعمال شدند و در نهایت بعد از گذشت زمان خشک‌شدن کامل هر پوشش نمونه‌های میدانی در ناحیه غوطه‌وری اسکله فولاد بندر عباس به وسیله نخ ماهیگیری آلمانی به قطر ۱mm نصب شدند. آزمون‌ها در پژوهشگاه صنعت نفت ایران انجام شد.

از مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب‌های خلیج‌فارس در منطقه اسکله فولاد بندر عباس می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بیشترین دما: $37^{o}C$
- مقدار شوری: ۳۷/۴ g/L
- مقدار اکسیژن محلول در آب: ۸-۱۰ ppm
- pH آب در سطح دریا: بیش از ۸
- محل نصب نمونه: ۲ m پایین‌تر از بیشترین جزر [۱۶].

روش آزمون

به منظور بررسی خواص مکانیکی و مقاومت خوردگی سامانه‌های پوشش یاد شده، نمونه‌های تهیه شده از این سامانه‌های پوشش، مورد آزمون‌های مکانیکی و شیمیایی قرار گرفتند. آزمون‌های مکانیکی و شیمیایی انجام گرفته، مطابق با آزمون‌های پیشنهاد شده در استاندارد NACE RPO۱۷۶-۶۴ برای بررسی کارایی پوشش‌های دریایی و استاندارد ASTM بوده است [۴].

آزمون چسبندگی

بر اساس استاندارد ASTM D ۳۳۵۹ میزان چسبندگی پوشش روی سطح، به شکل زیر معین می‌شود:

B ۵: هیچ تغییری در شبکه ایجاد نشده و گوشه‌ها کاملاً قائم هستند.

B ۴: کمتر از ۵٪ از ناحیه تخریب شده و به حالت نقطه‌ای، بخش‌های کوچکی کنده شده‌اند.

B ۳: ناحیه تخریب بین ۵ تا ۱۵٪ است و بخش‌هایی بزرگتر از نقطه از شبکه کنده شده‌اند.

B ۲: ناحیه تخریب بین ۱۵ تا ۳۵٪ است و بخش‌هایی از مربع‌ها کاملاً کنده شده‌اند.

B ۱: ناحیه تخریب بین ۳۵ تا ۶۵٪ است و تمام مربع‌ها صدمه دیده‌اند.

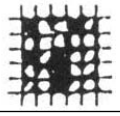
B ۰: ناحیه تخریب بیش از ۶۵٪ شبکه است.

طبقه‌بندی میزان چسبندگی براساس استاندارد در جدول ۲ نشان داده شده است [۱۱].

آزمون سختی

آن چه که باعث سختی پوشش می‌شود، رزین موجود در آن است که اگر مقدار آن زیاد باشد به فیلم حالت شکنندگی می‌دهد. آزمایش سختی مطابق استاندارد ASTM D ۴۳۶۶ با استفاده از دستگاه پرسوز به روش آونگ انجام گرفته است. در این روش، سختی پوشش با استفاده از خاصیت تلف شدن انرژی در اثر نوسان آونگ اندازه‌گیری می‌شود [۱۲].

جدول ۲- طبقه‌بندی میزان چسبندگی براساس استاندارد ASTM D۳۳۵۹ [۱۰].

طبقه‌بندی	مساحت سطح مقطع برش که از آن کندگی شروع شده است (مثال برای شش برش موازی)
۵B	—
۴B	
۳B	
۲B	
۱B	
۰B	بیش از ۶۵٪

آزمون ضربه

هدف از انجام این آزمون، اندازه‌گیری مقاومت پوشش در برابر ضربه و اندازه‌گیری میزان انبساط پوشش است. این آزمون مطابق استاندرد ASTM D ۲۷۹۴ انجام گرفته است [۱۳].

آزمون سایش

در این آزمون مطابق استاندارد ATSM D ۴۰۶۰ مقاومت پوشش‌های اعمال شده روی نمونه‌ها در برابر سایش معین می‌گردد. در این آزمون، مقاومت سایشی پوشش‌ها براساس کاهش وزن برحسب گرم به ازای ۲۰ دور چرخ ساینده، اندازه‌گیری می‌شود [۱۴].

آزمون مه‌نمکی

در این آزمون، مطابق استاندرد ASTM B ۱۱۷ یک محیط خورنده زیر کنترل ایجاد شده و براساس آن اطلاعاتی در خصوص مقاومت

جدول۳ـ مشخصات فیلم خشک سامانه ۱.

شماره ورقه	لایه اولیه		لایه میانی		لایه رویی		لایه رویی		مجموع ضخامت
	تعداد لایه ها	ضخامت (µm)	تعداد لایه ها	ضخامت (µm)	تعداد لایه ها	ضخامت (µm)	تعداد لایه ها	ضخامت (µm)	
۱	۱	۵۱	-	-	-	-	-	-	۵۱
۱۲	۱	۵۲	۱	۱۲۶	-	-	-	-	۱۷۸
۱۳	۱	۵۰	۱	۱۲۵	۱	۱۰۲	-	-	۲۷۵
۱۴	۱	۵۱	۱	۱۲۵	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	۳۹۶
۱۵	۱	۵۰	۱	۱۲۶	۱	۱۰۰	۱	۱۲۱	۳۹۸
۱۶	۱	۵۳	۱	۱۲۷	۱	۱۰۰	۱	۱۲۱	۴۰۶
۱۷	۱	۵۰	۱	۱۲۶	۱	۱۰۰	۱	۱۲۱	۳۹۸
۱۸	۱	۵۱	۱	۱۲۸	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	۴۰۰
۱۹	۱	۵۰	۱	۱۲۵	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	۳۹۵
۲۰	۱	۵۲	۱	۱۲۶	۱	۱۰۲	۱	۱۲۱	۴۰۰
۲۱	۱	۵۰	۱	۱۲۵	۱	۱۰۲	۱	۱۲۰	۳۹۷

خوردگی پوشش های آلی به دست می آید. نتایج حاصل از این آزمایش مقایسه‌ای بوده و نمی‌توان براساس نتایج به دست آمده مدت زمان مقاومت هر یک از پوشش ها را در محیط دریایی پیش‌بینی کرد [۱۰].

آزمون مقاومت در برابر رطوبت

در این آزمون، مطابق استاندارد ASTM D ۲۲۴۷ مقاومت پوشش های آلی در برابر نفوذ رطوبت اندازه گیری می شود. نمونه های پوشش داده شده در یک محفظه بسته با دمای ۳۸°C و رطوبت ۱۰۰ درصد قرار می گیرند. با توجه به شرایط محیطی خلیج فارس و روش در نظر گرفته شده و نیز برای بررسی مقاومت خوردگی پوشش‌ها، این آزمون در دستگاه مه نمکی با دمای ۳۸°C و رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد بدون پاشش محلول آب و نمک انجام گرفته است [۱۵].

مشخصات فیلم‌های خشک مورد آزمایش

مشخصات فیلم های خشک سامانه های ۱ و ۲ در جدول های ۳ و ۴ آمده است.

جدول ۴ـ مشخصات فیلم خشک سامانه ۲.

شماره ورقه	لایه اولیه		لایه میانی		لایه رویی		مجموع ضخامت
	تعداد لایه ها	ضخامت (µm)	تعداد لایه ها	ضخامت (µm)	تعداد لایه ها	ضخامت (µm)	
۱	۱	۵۱	-	-	-	-	۵۱
۲	۱	۵۰	۱	۸۰	-	-	۱۳۰
۲۲	۱	۵۰	۱	۸۰	۱	۱۲۵	۲۵۵
۲۳	۱	۵۲	۱	۸۱	۱	۱۲۷	۲۶۰
۲۴	۱	۵۳	۱	۸۷	۱	۱۲۶	۲۶۶
۲۵	۱	۵۲	۱	۸۲	۱	۱۳۱	۲۶۵
۲۶	۱	۵۰	۱	۸۰	۱	۱۳۰	۲۶۰
۲۷	۱	۵۰	۱	۸۵	۱	۱۲۵	۲۶۰
۲۸	۱	۵۰	۱	۸۷	۱	۱۲۶	۲۶۳
۲۹	۱	۵۰	۱	۸۵	۱	۱۲۵	۲۶۰

نتایج و بحث

تحلیل نتایج آزمایش‌های میدانی

در این بخش سعی شده است، ابتدا نتایج میدانی نمونه‌ها بررسی شوند. بدین ترتیب، پارامترهای رشد خزه، زنگ‌زدگی و تخریب نمونه‌ها با توجه به نتایج مشاهدات هفتگی آنها بررسی و نمونه‌هایی که در بعضی از لایه‌ها با هم مشترک‌اند با یکدیگر، برای تکمیل تحقیقات و مقایسه نتایج تحلیل شده‌اند.

سپس، نتایج آزمایشگاهی دو سامانه پیش‌گفته از راه جدول‌های مقایسه بررسی و طی این بررسی‌ها برای معتبرسازی، نتایج حاصل با نتایج به دست آمده برای نمونه‌های مشابه میدانی مقایسه شده‌اند.

سامانه ۱

بررسی نتایج نشان می‌دهد، در طول کل زمان آزمایش، هیچ‌گونه تخریب و تاول‌زدگی در این سامانه با هر سه نوع آماده‌سازی مشاهده نشده است (شکل ۱). اما، درصد کمی رشد خزه در سطح نمونه‌ها (۵-۱ درصد) مشاهده می‌شود و چند نقطه در لبه‌ها دچار زنگ‌زدگی شده‌اند.

در نمونه‌ای که با شن‌سایی آماده‌سازی شده، پس از گذشت ۶ ماه تنها حدود ۲ درصد رشد خزه در سطح نمونه مشاهده شده است. اما، در نمونه‌های بدون آماده‌سازی، در همین مدت، حدود ۵ درصد خزه به سطح چسبیده بود. این تفاوت به اختلاف آماده‌سازی آنها مربوط می‌شود.

سامانه ۲

نتایج مشاهدات رشد خزه و تخریب پوشش (لایه رویی) نمونه‌های

شکل ۱ـ سامانه ۱ آماده‌سازی شده به کمک شن‌سایی پس از ۶ ماه.

جدول ۵ـ نتایج میدانی سامانه ۲ پس از ۸۰ روز.

روز	نوع آماده‌سازی	درصد رشد خزه	درصد تخریب
۲۰	شن‌سایی	۲۰	۰
۲۰	بدون آماده‌سازی	۴۰	۲
۴۰	شن‌سایی	۲۵	۰
۴۰	بدون آماده‌سازی	۸۰	۱۰
۶۰	شن‌سایی	۸۰	۰
۶۰	بدون آماده‌سازی	۹۵	۲۰
۸۰	شن‌سایی	۶۰	۱۰ (لایه رویی)
۸۰	بدون آماده‌سازی	۶۰	۵۰ (جدا شدن یک لایه از لایه رویی به همراه جلبک)

بدون آماده‌سازی و نمونه‌های شن‌سایی شده در جدول ۵ آمده است.

همان‌طور که در این جدول مشخص شده است، پس از گذشت زمانی کوتاه، خزه رشد کرده و به سرعت سطح این نمونه را می‌پوشاند و پوشش آن را به تدریج از بین می‌برد.

مشاهده در صد رشد خزه و مقایسه آن با میزان تخریب لایه نهایی پوشش نشان می‌دهد که روند تغییرات بدین شکل است، ابتدا رشد خزه تا جایی ادامه پیدا می‌کند که تقریباً تمام سطح نمونه را می‌پوشاند. سپس، یک لایه‌ای نازک از لایه نهایی پوشش به این خزه‌ها می‌چسبد و به همراه آن به شکل تاول‌زدگی از نمونه جدا می‌شود. پس از جدا شدن خزه از سطح، روند افزایش رشد خزه دوباره شروع می‌شود تا زمانی که تمام سطح نمونه را بپوشاند و به همین ترتیب ساز و کار قبلی تکرار می‌شود.

حال اگر ضخامت قطران کم باشد، پس از یک بار جدا شدن خزه‌ها از نمونه، لایه نهایی به طور کامل از بین می‌رود، اما اگر ضخامت زیاد باشد این اتفاق دیرتر رخ می‌دهد.

در نمونه‌های مربوط به این طرح، که ۱۲۵ μm قطران در لایه نهایی اعمال شده بود، پس از گذشت ۲ ماه، در حدود ۱۰ درصد سطح قطران به طور کامل از بین رفت و لایه اپوکسی‌پلی‌آمید نمایان شد. با این‌که اپوکسی‌پلی‌آمید پوششی مناسب برای لایه میانی است، اما در لایه نهایی به سرعت تخریب می‌شود. بنابراین، با از بین رفتن لایه قطران، کل پوشش در مدت کوتاهی از بین می‌رود.

یکی دیگر از دلایل این تخریب، عدم چسبندگی کافی قطران با اپوکسی‌پلی‌آمید است. این امر باعث می‌شود که لایه‌های قطران به سادگی به همراه خزه‌ها از سطح پوشش جدا شوند. بنابراین، سامانه مزبور برای ناحیه غوطه‌وری مناسب نیست.

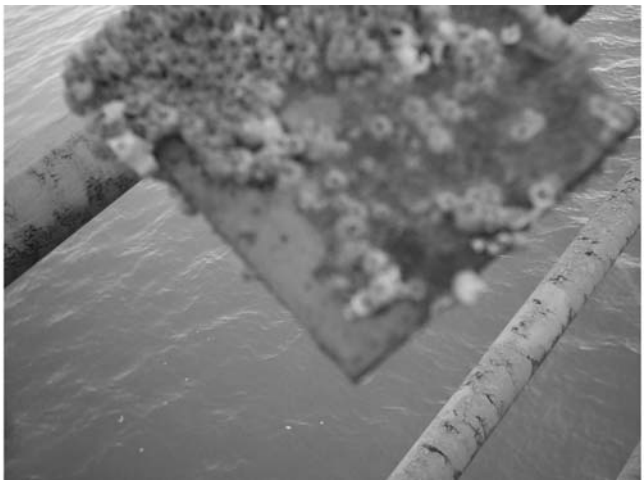
همان‌طور که از شکل ۲ مشخص است، ساز و کار تخریب پوشش برای نمونه‌هایی که سطح آنها با برس سیمی آماده‌سازی شده نیز مانند حالت‌های شن‌سایی و بدون آماده‌سازی است، ولی از نظر زمانی با نمونه‌هایی که شن‌سایی شده‌اند حدود ۳ هفته اختلاف فاز دارند. به عبارتی، این نمونه‌ها ۳ هفته زودتر از نمونه‌های شن‌سایی شده به میزان تخریب مشخصی می‌رسند.

سامانه ۳

در این سامانه، پوشش اپوکسی قطران ۱۲۵ و ۶۵ μm، با سه نوع آماده‌سازی اعمال شده است. حال اهمیت آثار نوع آماده‌سازی و همچنین ضخامت لایه در نتایج بررسی می‌گردد.

اثر آماده‌سازی سطح: با مقایسه نمونه‌های با آماده‌سازی‌های مختلف، مشاهده می‌شود، آماده‌سازی مناسب تخریب را به تاخیر می‌اندازد. ابتدا، میزان رشد جلبک در هر نمونه با هر نوع آماده‌سازی یکسان است. اما، با گذشت زمان پس از کنده‌شدن هر لایه به همراه جلبک، در سطوحی که خوب آماده‌سازی شده‌اند، جداشدن لایه به دلیل چسبندگی بهتر به سطح دیرتر انجام می‌شود. با بررسی نمونه‌های میدانی مشخص می‌شود، نمونه‌ای که بدون آماده‌سازی بوده است (شکل ۳)، پس از ۷۰ روز به طور کامل از بین می‌رود. بدین شکل که ابتدا خوردگی شدید پوشش از لبه‌ها شروع شده و به سطح می‌رسد و از طرفی خزه‌ها نیز به سطح هجوم می‌آورند که در نهایت نمونه کاملاً تخریب می‌شود. اما در نمونه‌هایی که شن‌سایی شده است، در همین مدت تنها لبه‌ها دچار تخریب کامل شده‌اند.

پس آماده‌سازی مناسب و در نتیجه چسبندگی خوب پوشش به سطح، باعث می‌شود که با وجود نفوذ مواد خورنده و حمله موجودات دریایی



شکل ۲ـ سامانه ۲ آماده‌سازی شده با برس سیمی پس از ۶ ماه.

شکل ۳ـ سامانه ۳ بدون آماده‌سازی پس از ۱ ماه.

مخرب به سطح آن تخریب به تأخیر بیافتد.

اثر ضخامت: از نتایج میدانی مشخص می‌شود، نمونه‌هایی که روی آنها ۶۵ μm قطران اعمال شده است، طی مدت ۴۵ روز در حدود ۷۰ درصد تخریب می‌شوند. علت آن است که در هنگام آماده‌سازی سطح، پروفیل‌هایی که در نتیجه شن‌سایی ایجاد می‌شوند، عمقی بیش از ۷۰ تا ۸۰ μm دارند، بنابراین پس از اعمال پوششی با ضخامت نزدیک به این عمق، نقاط اوج پروفیل‌ها بیرون از پوشش قرار می‌گیرد و درنتیجه عوامل خوردگی به سادگی این پوشش را تخریب می‌کنند.

قابل ذکر است، علاوه برمشکل تخریب پوشش، استفاده از قطران در لایه نهایی، آلودگی‌های زیست محیطی را نیز به دنبال دارد. این امر، یکی از دلایل نامناسب بودن استفاده از قطران در لایه نهایی ناحیه غوطه‌وری سازه‌های دریایی است.

تحلیل نتایج آزمون‌ها

سامانه‌های ۱و۲ علاوه بر بررسی‌های میدانی به شکل آزمایشگاهی نیز بررسی شدند. نحوه انجام آزمون‌ها پیشتر گفته شد که در این جا نتایج حاصل بررسی می‌شود. آماده‌سازی در همه نمونه‌های آزمایشگاهی از راه شن‌سایی تا درجه Sa ۳ مطابق استاندارد سوئد انجام گرفته است.

اعمال پوشش در هر ۲ سامانه به روش پاشش انجام شد. پس از ۲۴ h نمونه‌ها در دمای معمولی (۲۱°C) قرار داده شدند تا خشک شده و لایه بعدی را بتوان اعمال کرد.

مقاومت مکانیکی فیلم خشک

سایش: مقاومت سایشی یکی از مهم‌ترین خواص مکانیکی است که در طراحی سامانه‌های پوشش‌های دریایی باید مد نظر قرار گیرد. پوشش‌های دریایی در نواحی جزر و مدی و پاشش آب همواره در

معرض جریان آب وسایش قرار دارند.

با وجود این که در ناحیه مورد بحث (ناحیه غوطه‌وری)، مشکل سایش حاد وجود ندارد، ولی برای تکمیل مطالعات و به دست آمدن نتایج جانبی این آزمایش نیز انجام شده است.

با توجه به جدول ۶، مقاومت سایشی سامانه ۲، که در لایه نهایی آن از قطران استفاده شده، بیشتر از سامانه ۱ است که در لایه نهایی آن ضدخزه به کار رفته است. از بررسی نتایج ۱و۲ مشخص می‌شود، با توجه به این‌که در لایه نهایی هر دو سامانه از ضدخزه استفاده شده است، ولی مقاومت سایشی سامانه ۲ از سامانه ۱ بیشتر است. به نظر می‌رسد که علت این امر به استفاده از اپوکسی قطران در لایه میانی باز می‌گردد.

ضربه: ضربه‌پذیری از دیگر خواصی است که سامانه‌های پوشش‌های دریایی باید داشته باشند.

این خاصیت به ویژه برای سامانه‌های پوششی، که در نواحی جزر و مدی و پاشش آب سازه‌های دریایی اعمال می‌شوند، اهمیت زیادی دارد. این نواحی همواره در معرض برخورد با شناورها بوده و سامانه پوشش اعمال شده در این نواحی باید قابلیت ضربه‌پذیری زیادی داشته باشند.

این آزمون نیز مانند آزمون سایش برای تکمیل مطالعات و بررسی کلی سامانه پوشش انجام شد. نتایج نشان داد، هر دو سامانه با وجود لایه‌های متفاوت، دارای ضربه‌پذیری یکسانی هستند. بنابراین، در مورد رد یا تأیید سامانه با توجه به سایر آزمون‌ها قضاوت می‌شود.

چسبندگی: در شرح آزمون چسبندگی، تقسیم‌بندی میزان چسبندگی، طبق استاندارد ASTM D ۳۳۵۹ از ۰B تا ۵B مطرح شد. در همین استاندارد مشخص شده است که این درجات چسبندگی مربوط به ضخامت‌های زیر ۱۲۰ µm است. برای ضخامت‌های بیش از ۱۲۰ µm تقسیم بندی درجات از ۰A تا ۵A است، به نحوی که به جای ایجاد شبکه‌های مستطیلی، دو شیار به شکل ضرب‌در با زاویه ۴۵-۳۵ درجه طوری روی پوشش ایجاد می‌شوند که به فلز زمینه برسند. سپس، به همان حالت قبلی با استفاده از چسب، میزان تخریب از روی همین استاندارد مشخص می‌شود.

همان‌طور که در جدول ۶ آمده است، در هر دو سامانه، چسبندگی لایه آستری (روی اتیل سیلیکات) به سطح فولاد ۳B است. از طرفی، در آزمایش مه‌نمکی و رطوبت طبق استاندارد ASTM D ۱۶۵۴ پیش از انجام این آزمون‌ها در سطح فیلم خراشی ایجاد می‌شود و در پایان آزمایش میزان خوردگی در اطراف خراش بررسی می‌شود. با دقت در نتایج مشاهده می‌شود، پس از حذف فیلم هیچ‌گونه عارضه‌ای در اطراف یا دور از خراش دیده نمی‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که چسبندگی آستری در هر دو سامانه به سطح فلز مناسب است و هیچ مشکلی ایجاد نمی‌کند.

در سامانه ۱ دیده می‌شود که چسبندگی اپوکسی سیلر، که از جنس اپوکسی پلی‌آمید است، با اپوکسی قطران ۳A است، در حالی که در سامانه ۲ چسبندگی اپوکسی قطران به اپوکسی پلی‌آمید ۴A است. پس می‌توان نتیجه گرفت که در سامانه ۱ به منظور افزایش چسبندگی سامانه، بهتر است به جای اپوکسی سیلر از اپوکسی پلی‌آمید استفاده شود.

سختی: سختی سامانه‌های پوشش به طور عمده به سختی پوشش لایه نهایی و سپس پوشش لایه‌های میانی ارتباط دارد.

در صورتی که لایه نهایی یک سامانه پوشش از سختی لازم برخوردار نباشد، در اثر به وجود آمدن خراش روی آن، عوامل خورنده از ناحیه

جدول ۶ـ مقاومت مکانیکی فیلم خشک سامانه‌های ۱و۲.

سامانه	شماره ورقه	سختی (s) ASTM D ۴۳۶۶	چسبندگی ASTM D ۳۳۵۹	ضربه مستقیم(lb/in) ASTM D ۲۷۹۴	سایش، کاهش وزن به ازای ۲۰دور (g)
۱	۱	۱۹۹	۳B	-	-
	۱۲	۱۴۲	۳A	۱۰	-
	۱۳	۹۶	۳A	۱۰	-
	۱۴	۷۵	۳A	۱۰	-
	۱۵	-	-	-	۰/۰۰۷۸
۲	۱	۱۹۹	۳B	-	-
	۲	۱۸۴	۳A	۱۰	-
	۲۲	۱۳۸	۴A	۱۰	-
	۲۳	-	-	-	۰/۰۰۳۶

جدول ۷- نتایج آزمایش مه نمکی.

سامانه	شماره ورقه	مدت آزمایش (h)	عوارض ظاهری پوشش	عوارض خوردگی پس از حذف فیلم	
				اطراف خراش	دور از خراش
۱	۱۶ ۱۷ ۱۸	۱۰۰۰	تغییر فام	بدون عارضه	بدون عارضه
۲	۲۴ ۲۵ ۲۶	۱۰۰۰	تاول No.۸ در حد متوسط (بین لایه‌ای است و بین لایه اولیه و میانی قرار دارد)	بدون عارضه	بدون عارضه

خراشیده شده به داخل سامانه نفوذ کرده و باعث خوردگی در این ناحیه می‌شوند.

با توجه به جدول نتایج مقاومت مکانیکی فیلم خشک، مشاهده می‌شود که سامانه ۲، که در لایه نهایی آن از اپوکسی قطران استفاده شده است، بیشترین سختی را دارد. سختی پوشش نیز مانند سایش و ضربه در نواحی جزر و مدی و پاشش آب که احتمال ایجاد خراش بیشتر است، حائز اهمیت است.

مقاومت فیلم خشک در محیط‌های خورنده

مه نمکی (ASTM B ۱۱۷): همان‌طور که در جدول ۷ آمده است، سامانه‌های ۱و۲ بعد از h ۱۰۰۰ پاشش نمک، کاملاً سالم مانده‌اند. اما، در سامانه ۲ پس از همین زمان پاشش نمک، تاول‌های بین لایه‌ای مشاهده می‌شود. این تاول‌ها، بین آستری و لایه میانی تشکیل شده‌اند و تعداد آنها در حد متوسط و اندازه آنها No.۸ است.

لایه‌های اولیه در سامانه‌های ۱ و ۲ یکسان هستند، ولی در سامانه ۲ همان‌طور که گفته شد تاول‌های بین لایه‌ای دیده می‌شود که این امر به علت کاهش تعداد لایه‌ها در سامانه ۲، چسبندگی زیاد اپوکسی سیلر با ضدخزه و وجود اپوکسی قطران مقاوم در برابر رطوبت در لایه میانی سامانه ۱است.

رطوبت (ASTM D ۲۲۴۷): همان‌طور که در جدول ۸ آمده است، در سامانه ۱ بعد از h ۱۰۰۰ رطوبت ۱۰۰ درصد، هیچ گونه تغییری در پوشش ایجاد نشده است. در سامانه ۲ تعداد تاول‌های بین لایه‌ای ۱ در حد متوسط مشاهده می‌شود. مشخصات این تاول‌ها طبق استاندارد ASTM D۷۱۴ معین می‌شود.

در این استاندارد اندازه تاول‌ها به ترتیب از کوچک به بزرگ با نمره No.۸، No.۶، No.۴ و No.۲ نشان داده شده و همچنین تعداد آنها با سه دسته کم، متوسط و زیاد مشخص شده است [۱۰،۱۵].

دلیل این مقاومت عالی در سامانه ۱، وجود اپوکسی قطران در لایه میانی است، زیرا این اپوکسی همان‌طور که قبلاً ذکر شد، پوششی با نفوذپذیری بسیار کم است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود قطران اپوکسی در لایه میانی سامانه پوشش، در هر ناحیه از سازه‌های دریایی مقاومت در برابر رطوبت را بسیار بالا می‌برد.

جدول ۸- نتایج آزمون رطوبت.

سامانه	شماره ورقه	مدت آزمایش (h)	عوارض ظاهری پوشش	عوارض خوردگی پس از حذف فیلم	
				اطراف خراش	دور از خراش
۱	۱۹ ۲۰ ۲۱	۱۰۰۰	تغییر فام	بدون عارضه	بدون عارضه
۲	۲۷ ۲۸ ۲۹	۱۲۰	تاول No.۸ در حد متوسط (بین لایه‌ای است و بین لایه اولیه و میانی قرار دارد)	بدون عارضه	بدون عارضه

مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج میدانی

در سامانه ۱ در آزمون های آزمایشگاهی رطوبت و مه نمکی بعد از h ۱۰۰۰، هیچ گونه عارضه‌ای در نمونه ها مشاهده نشد، در حالی که در نمونه های میدانی پس از ۶ ماه، در حدود ۲ درصد نمونه ها را خزه پوشاند که این خزه ها در اطراف گوشه نمونه ها به چشم می خورد.

با بررسی نتایج چسبندگی مشاهده شد، این سامانه کمترین چسبندگی را دارد. بنابراین، خزه ها می توانند از بین این لایه ها خود را به قطران برسانند و پس از مدتی رشد یافته و از لایه رویی نیز بیرون بزنند.

چون نفوذ خزه ها از مناطق بحرانی نمونه ها (در این طرح گوشه ها) انجام می گیرد، بنابراین در سازه های با اضلاع گوشه دار استفاده از این سامانه مناسب نیست. چون گوشه های تیز نقاط بحرانی برای اعمال پوشش است و به سختی می توان آنها را پوشش کامل داد.

اما از آن جاکه در ناحیه غوطه وری اکثر شمع ها و لوله های انتقال نفت، گاز و آب، شکل استوانه ای دارند، پیش بینی می شود این سامانه کارایی مطلوبی در نمونه های استوانه ای داشته باشد که این امر نیز قابل بررسی است.

در بخش نتایج آزمایشگاهی سامانه ۲ در محیط خورنده، این سامانه پس از h ۱۲۰ رطوبت و h ۱۰۰۰ مه نمکی تاول های بین لایه ای در حد متوسط مشاهده می شود.

از طرفی، در بررسی میدانی این سامانه نیز دیده شد که به دلیل استفاده از قطران در لایه نهایی، ابتدا خزه ها به قطران می چسبند تا جایی که کل سطح را خزه می پوشاند. سپس، یک لایه از قطران به همراه خزه ها کنده می شود و روند رشد خزه دوباره تا زمانی که کل پوشش از بین برود، ادامه پیدا می کند. پس نتیجه می شود، این سامانه در ناحیه غوطه وری کارایی مطلوبی نخواهد داشت. اما، کارایی مطلوب این سامانه در ناحیه اتمسفری به دلیل عدم وجود خزه و نیز رطوبت کمتر قابل بررسی است.

کارایی اپوکسی قطران یا هر پوشش دیگری علاوه بر خواص شیمیایی و فیزیکی آن پوشش، تابع تغییر سامانه است. از عوامل تفاوت کارایی اپوکسی قطران می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- خواص شیمیایی اپوکسی قطران. چون در هنگام تماس مستقیم با محیط دریا (زمانی که در لایه نهایی قرار دارد) کارایی مناسبی ندارد.
- تفاوت میزان چسبندگی پوشش اپوکسی قطران با لایه های رویی و زیری در دو سامانه. چون در اثر این تفاوت میزان نفوذ مواد خورنده در بین لایه ها متفاوت است، در نتیجه کارایی آنها نیز متفاوت است.
- کارایی مناسب ضدخزه در لایه رویی قطران در محیط خورنده ناحیه غوطه وری، که محافظت خوبی را از اپوکسی قطران در لایه میانی به عمل می آورد.

نتیجه گیری

با بررسی کارایی اپوکسی قطران روی فولاد ST ۳۷ در ناحیه غوطه وری خلیج فارس مشخص شد که:

- در لایه نهایی سامانه پوشش نباید از اپوکسی قطران استفاده شود. زیرا، در اثر چسبیدن خزه ها به این پوشش و سپس جدا شدن آنها، پوشش به شکل لایه ای از سطح جدا شده و در نهایت کل سامانه پوشش تخریب می گردد.
- در صورت استفاده از اپوکسی قطران در محیط خلیج فارس باید به موارد زیر دقت گردد:

- به منظور افزایش چسبندگی قطران به سطح باید از آستری روی اتیل سیلیکات استفاده شود.
- آماده سازی شن سایی باید تا درجه حداقل Sa ۳ انجام گیرد.
- در صورت رعایت موارد قبلی پیش بینی می شود که در ناحیه اتمسفری، سازه های دریایی واقع در خلیج فارس کارایی مطلوبی داشته باشند که این موضوع نیز قابل بررسی است.

- سامانه چهار لایه ای روی اتیل سیلیکات، اپوکسی قطران، اپوکسی سیلر و ضد خزه با وجود نتایج بسیار مطلوب مه نمکی و رطوبت، به دلیل چسبندگی ضعیف بین لایه ای در اضلاع گوشه دار سازه در ناحیه غوطه وری پیشنهاد نمی گردد. زیرا، با توجه به نتایج میدانی، خزه و سایر موجودات از بین لایه ها نفوذ کرده و باعث تخریب پوشش می شوند.
- در صورتی که در زمان کمتر از یک سال کارایی پوشش ها بررسی شود تأکید می گردد که به طور حتم آزمایش ها به دو شکل میدانی و آزمایشگاهی انجام گیرد، تا بتوان به نتایج حاصل اعتماد کرد.
- چون در ناحیه غوطه وری خلیج فارس، به منظور حفاظت از سازه های فولادی در برابر خوردگی علاوه بر اعمال پوشش های آلی و معدنی از حفاظت کاتدی نیز استفاده می شود، بنابراین برای بررسی اثر واقعی این پوشش ها، می توان تحقیقات انجام شده در این طرح را با اعمال حفاظت کاتدی نیز انجام داد. این موضوع در ادامه این پژوهش دنبال می شود.

مراجع

1. Escalante E., Iverson W.P., Gerhold W.F., Sanderson B.T. and Alumbaugh R.L., Corrosion Protection of Steel Piles in Natural Seawater Environment, National Bureau of Standards, USA, 1987.
2. Graff W.J., Introduction to Offshore Structures, Gulf Publishing, 1981.
3. Munger C.G., Marine and Offshore Corrosion Control, Materials Performance, 9, 1993.
4. Munger C.G., Corrosion Prevention by Protective Coating, National Association of Corrosion Engineers, 1984.
5. Aylor D., Anti Corrosion Barriers: Chemistry and Applications, Paper Presented at the Philadelphia Symposium, American Chemical Society, Aug 1984.
6. Carew J., Al-Hashem A., and Raid W.T., Performance of Coating System in Industrial Atmosphere on Persian Gulf, Materials Performance, 12, 1994.
7. Rhodes K.I., Performance of Marine and Industrial Coating in Persian Gulf, Materials Performance, 4, 1980.
8. Annual Book of Marine Coatings Specification, Bajak Marine and Industrial Co., 1998.
9. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, Annual Book of ASTM Standards, 06.01, 1989.
10. Standard Test Method for Measuring Adhesion by Tape Test, Annual Book of ASTM Standards, 06.01, 1989.
11. Standard Test Method for Hardness of Organic Coatings by Pendulum Damping Test, Annual Book of ASTM Standards, 06.01, 1989.
12. Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effect of Rapid Deformation (Impact), Annual Book of ASTM Standards, 06.01, 1989.
13. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by Taber Abrasor, Annual Book of ASTM Standards, 06.01, 1989.
14. Standard Practice for Testing Water Resistance of Organic Coatings in 100% Relative Humidity, Annual Book of ASTM Standards, 06.01, 1989.
15. Specification for Paint Procedure, South Pars Gas Field Offshore Jacket, National Iranian Oil Company, 1998 .
16. Turner G.P.A., *Introduction to Paint Chemistry,* 3rd Ed, Chapman and Hall, 1988.