کارایی پوشش زینک اتیل سیلیکات در لایه اولیه سیستمهای پوشش مختلف روی فولاد ST۳۷ در شرایط غوطه‌وری خلیج فارس

مهدی ایرانمنش[۱]*، مجتبی سرمدی آقایی[۲]

۱- استادیار دانشکدهٔ مهندسی کشتی‌سازی و صنایع دریایی، دانشگاه امیرکبیر، تهران
۲- دانش‌آموخته مهندسی سازه‌های دریایی، دانشکدهٔ مهندسی کشتی‌سازی و صنایع دریایی، دانشگاه امیرکبیر، تهران

چکیده

یکی از متداولترین روشهای حفاظت در مقابل خوردگی سازه‌های دریایی که از جنس فولاد می‌باشند، به کارگیری پوششهای آلی و معدنی در لایه‌های مختلف با توجه به کارایی هر پوشش است. میزان چسبندگی لایه اولیه به سطح فلز و سازگاری لایه‌های مختلف اولیه، میانی و رویه با همدیگر و نیز مقاومت لایه رویه در برابر محیط خورنده که تمام موارد مذکور به خواص شیمیایی و مکانیکی پوششها مربوط می‌شود، لازمه عملکرد مناسب یک پوشش می‌باشند. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی و میدانی کارایی لایه اولیه زینک اتیل سیلیکات روی فولاد ST۳۷ در سه سیستم پوشش -که از لایه-های میانی و رویه متفاوت تشکیل شده‌اند- در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس پرداخته شد. در نهایت علاوه بر نتیجه عملکرد زینک اتیل سیلیکات، با توجه به نتایج آزمایشها، سیستم بهینه نیز برای ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس پیشنهاد شد. آزمایشهای انجام شده، در استاندارد NACE RPO۱۷۶-۶۴ برای بررسی عملکرد پوششهای دریایی بود و بررسیهای میدانی نیز به مدت شش ماه در ناحیه غوطه‌وری اسکله فولاد واقع در بندرعباس به طور هفتگی انجام شد.

کلید واژگان: سیستم پوشش، لایه اولیه، زینک اتیل سیلیکات، ناحیه غوطه‌وری، خلیج فارس، فولاد ST۳۷.

۱- مقدمه

سازه‌های دریایی که در خلیج فارس ساخته می‌شوند، بیشتر از جنس فولاد ST۳۷ می‌باشند. 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 دریایی بوده‌اند و می‌بایست سالها کارایی داشته باشند.

به کارگیری روشهای مؤثر خوردگی برای حفاظت سازه‌های مذکور، علاوه بر کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها عمر مفید آنها را افزایش می‌دهد و از به هدر رفتن سرمایه‌های عظیم ملی جلوگیری می‌کند[۱].

روش اعمال پوششهای آلی و معدنی یکی از روشهای رایج، برای جلوگیری از خوردگی سازه‌های دریایی است. این پوششها به شکل لایه نازکی با ضخامتهای مختلف روی سطح فلز قرار می‌گیرند و از تماس عوامل خورنده محیطی با فلز جلوگیری می‌کنند. این پوششها هیچ نقشی در افزایش استحکام سازه ندارند 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

* نویسندهٔ مسؤول مقاله: تلفن: ۰۲۱۸۲۲۳۴۱۷۰، Email: imehdi@cic.aut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

خواصی‌اند که این پوششها باید از آن برخوردار باشند [۲-۵]. مهمترین ویژگیهای یک سیستم 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 زیر پوشش نفوذ می‌کنند و باعث بروز خوردگی در زیر آن می‌شوند. سپس خوردگی در زیر پوشش پیشروی می‌کند و تمام سطح سازه را فرا می‌گیرد[۶].

در سال ۱۹۷۰ تحقیقاتی در مرکز فضایی فلوریدا روی پوششهای آلی و معدنی فلز روی (Zn) صورت گرفت. در این تحقیق نمونه‌ها در معرض محیط اسیدی دریای (اتمسفر دریای حاوی گازهای CO_2 وSO_2) در ساحل فلوریدا قرار گرفتند براساس نتایج حاصل پوشش معدنی فلز روی نسبت به پوشش آلی آن عملکرد مطلوبتری داشت و همچنین اعمال پوششهای آلی بر لایه‌های معدنی و آلی روی باعث افزایش عمر سیستم پوشش شد [۷].

در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس برای حفاظت سازه‌ها در برابر خوردگی معمولاً از حفاظت کاتدی استفاده می‌شود و استفاده از پوششها بیشتر بر مبنای تجربی است. یکی از مهمترین لایه‌های پوشش ناحیه غوطه‌وری لایه اولیه آن می‌باشد و زینک اتیل سیلیکات یکی از پوششهای معدنی است که در لایه اولیه سازه‌های فولادی واقع در بندرعباس استفاده می‌شود. پوششهای معدنی در لایه اولیه به طریق کاتدی از سطح فلز محافظت می‌کنند. هنگامی که این پوششها به عنوان لایه اولیه در یک سیستم پوشش به کار می‌روند، فلز روی در این پوششها در تماس با آهن به عنوان فلز فعال‌تر نقش آند فدا شونده را دارد و با مکانیزم حفاظت کاتدی از خورده شدن فولاد جلوگیری می‌کند[۸، ۹]. هیچ پژوهشی در مورد کارایی زینک اتیل سیلیکات روی فولاد ST۳۷ در ناحیه غوطه‌وری سازه‌های مذکور در خلیج فارس انجام نشده است. در این پژوهش این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش کار

۲-۱- روش تحقیق

در این تحقیق به منظور بررسی دقیق عملکرد پوشش زینک اتیل سیلیکات در لایه اولیه سیستمهای پوشش سازه‌های فولادی در شرایط غوطه‌وری خلیج فارس، سه سیستم پوشش (که مشخصات آنها در جدول ۱ آمده است) به دو صورت آزمایشگاهی و میدانی بررسی شدند. آزمایشها در پژوهشگاه صنعت نفت، طبق استاندارد ASTM انجام شدند و همچنین به مدت ۶ ماه همین نمونه‌های آزمایش شده در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس در منطقه اسکله فولاد بندرعباس به صورت هفتگی مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول۱ مشخصات سیستمهای پوشش

ردیف	سیستم پوشش	ضخامت پوشش خشک شده (میکرون)
۱	زینک اتیل سیلیکات	۵۰
	اپوکسی پلی آمید	۸۰
	اپوکسی سیلر	۱۰۰
	ضد خزه	۱۲۰
۲	زینک اتیل سیلیکات	۵۰
	کولتار اپوکسی	۱۲۵
	اپوکسی سیلر	۱۰۰
	ضد خزه	۱۲۰
۳	زینک اتیل سیلیکات	۵۰
	اپوکسی پلی آمید	۸۰
	کولتار اپوکسی	۱۲۵

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۲- مشخصات نمونه‌ها

نمونه‌ها از جنس فولادST۳۷ به ابعاد ۵×۱۲۰×۱۰۰mm انتخاب شدند. قابل ذکر است که هیچ استاندارد مشخصی برای انتخاب ابعاد نمونه‌ها وجود ندارد و به همین دلیل این ابعاد طوری انتخاب شدند که سطح کافی برای انجام آزمایش را دارا باشند. در وسط ضلع کوچک‌تر به فاصله ۳cm پایینتر از لبه بالایی، سوراخی به قطر۱۰mmدر تمام نمونه‌ها برای نصب ایجاد شد و تمام این پوششها از محصولات داخلی می‌باشند.

تمام نمونه‌ها با سه حالت آماده سازی سند بلاست، طبق استاندارد سوئدی تا درجهSa۳، وایر برس طبق استاندارد E NAC تا درجه NO.۲ و بدون آماده‌سازی تهیه شدند. پس از آماده سازی سطح نمونه‌ها، بلافاصله برای اعمال رنگ به اتاق مخصوص منتقل شدند. شرایط جوی (دما و رطوبت) اعمال، نسبتهای هاردنر و تینر، زمان خشک شدن سطحی برای اعمال لایه بعدی، زمان خشک شدن کامل برای نصب و ... به طور کامل در مشخصات فنی (دیتا شیت) رنگها مشخص شدند. در این پروژه، رنگها به وسیله قلم مو با ضخامتی که شرکت سازنده آن مشخص کرده است به کار رفت. در نهایت بعد از گذشت زمان خشک شدن کامل هر پوشش نمونه‌های میدانی در ناحیه غوطه‌وری اسکله فولاد بندرعباس به وسیله نخ ماهیگیری آلمانی به قطر ۱mm نصب شدند و آزمونهای آزمایشگاهی نیز در پژوهشگاه صنعت نفت ایران انجام شد.

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

- بیشترین دما: ۳۷°C
- مقدار شوری: ۳۷/۴g/L
- مقدار اکسیژن محلول در آب: ۸ppm–۱۰
- pH آب در سطح دریا: بیشتر از ۸
- محل نصب نمونه: ۲m پایینتر از بیشترین جزر [۱].

۲-۳- مشخصات پوششها

۲-۳-۱- زینک اتیل سیلیکات[1]

این پوشش به عنوان آستر ضدخوردگی روی سطوح آهنی و فولادی که بخوبی ماسه پاشی شده‌اند به کار می‌رود و خواص ضدخوردگی فوق العاده‌ای را دارد. این پوشش می‌تواند در دمای پایین و حتی در شرایط رطوبت بسیار بالا به کار رود. زینک اتیل سیلیکات که یک پوشش معدنی می‌باشد به صورت دو جزئی تهیه می‌شود؛ بدین صورت که پودر روی (Zn) به طور جداگانه نگهداری شده و قبل از اعمال پوشش با رزین آن که به صورت مایع می‌باشد، ترکیب می‌شود. چسبندگی بسیار زیاد پوششهای معدنی فلز روی به سطح فولاد به دلیل واکنش شیمیایی اسیدسیلیسیک با سطح فولاد است که باعث تشکیل یک لایه سیلیکات آهن در فصل مشترک پوشش و فولاد می‌شود.

پوشش به کار رفته بعد از ۳۰ دقیقه در دمای ۲۰°C قابل لمس[2] است. زمان خشک شدن این پوشش، ۸ ساعت در دمای ۲۰°C می‌باشد و نسبت ترکیب وزنی بخش مایع این پوشش (اتیل سیلیکات) به بخش جامد آن (پودر روی) ۳/۲ به ۶/۸ و نسبت حجمی همان بخشها ۷/۴ به ۲/۶ می‌باشد[۱۰، ۱۱].

۲-۳-۲- کولتار اپوکسی[3]

این پوشش تلفیقی از رزین اپوکسی با قیر ذغال سنگی است. قیر ذغال سنگی در حالت مایع با رزین اپوکسی مخلوط شده و از عامل سخت کننده آمینی یا پلی‌آمید استفاده می‌شود. عملکرد این پوشش به مقدار زیادی به کیفیت و نوع قیر به کار رفته بستگی دارد.

1. Zinc ethyl silicate
2. Touch dry
3. Coal tar epoxy

Archive of SID
www.SID.ir

تلفیق قیر و اپوکسی باعث می‌شود پوشش خواص هر دو ماده را به دست آورد. زمان لازم برای اعمال لایه بعدی این پوشش ۹ ساعت و درصد جامد حجمی آن ۷۰ می‌باشد.

این پوشش به ضخامت ۱۲۵ و۶۵µ 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 کولتار اپوکسی با بخش سخت کننده آن ۴ به ۱ می‌باشد[۱۰، ۱۱].

۲-۳-۳- اپوکسی پلی‌آمید[1]

پوشش اپوکسی پلی آمید به عنوان لایه میانی در سیستمهای ۱و۳ (جدول ۱) به کار رفته است و چسبندگی عالی روی سطوح آستر شده با پوششهای معدنی وآلی فلز روی دارد. این پوشش زمانی که از قلم مو برای اعمال آن استفاده می‌شود، بعد از ۸ ساعت در دمای ۲۰°C به طور سطحی خشک می‌شود و زمان خشک شدن کامل آن در دمای ۲۰°C، ۷ روز می‌باشد[۱۰، ۱۱].

۲-۳-۴- اپوکسی سیلر[2]

پوشش اپوکسی سیلر به عنوان لایه رابط در لایه زیرین ضد خزه در دو سیستم پوشش به کار رفته است که از جنس اپوکسی پلی آمید می‌باشد.

گاهی اتفاق می‌افتد به دلیل کم کردن تعداد لایه‌های پوشش در لایه میانی به همان ضخامت مورد نیاز (۱۰۰- ۵۰µ) به جای اپوکسی سیلر، لایه میانی اپوکسی پلی آمید را بیشتر اجرا می‌کنند تا همان وظیفه لایه رابط را نیز انجام دهد. اما در این تحقیق از اپوکسی سیلر استفاده شد. زمان لازم برای اعمال لایه بعدی این پوشش ۶ ساعت و درصد جامد حجمی آن ۴۶ می‌باشد. زمان خشک شدن کامل آن در دمای ۲۰°C، ۷ روز است و نسبت حجمی ترکیب آن با عامل سخت کننده ۴ به ۱ می‌باشد[۱۰، ۱۱].

۲-۳-۵- ضد خزه[3]

سطوحی که به طور دائم در حالت غوطه‌وری قرار دارند یا اینکه مرتب مرطوبند پس از گذشت زمانی چند، دچار رشد جلبک، میکروارگانیسمها و قارچها روی سطح خود می‌شوند. این پدیده باعث تخریب فیلم رنگ، تشدید خوردگی، کاهش سرعت کشتیها و در نتیجه افزایش مصرف سوخت خواهد شد. برای مقابله با این پدیده باید در هنگام فرمولبندی در انتخاب رزین و سایر موارد تشکیل دهنده رنگ توجه لازم را مبذول داشت، حتی اگر لازم باشد از افزودنیهایی که مانع رشد باکتری می‌شوند و برای آنها شرایط سمی فراهم می‌کنند استفاده کرد. بنابراین در این تحقیق در لایه نهایی سیستم ۱و۲ (جدول ۱) از ضد خزه استفاده شد که بدون عامل سخت کننده است. این لایه به ضخامت ۱۲۰µ اعمال شده و بعد از ۵ ساعت در دمای ۲۰°Cخشک می‌شود[۱۱-۱۰].

۲-۴- آزمایشهای انجام شده

به منظور بررسی خواص مکانیکی و مقاومت خوردگی در سیستمهای پوشش به کار رفته، نمونه‌های تهیه شده از این سیستمهای پوشش مورد آزمایشهای مکانیکی و شیمیایی قرار گرفت. آزمایشهای مکانیکی و شیمیایی انجام شده، مطابق با آزمایشهای پیشنهاد شده در استاندارد NACE RPO۱۷۶-۶۴ برای بررسی عملکرد پوششهای دریایی و استاندارد ASTM بود[۱۲].

1. Epoxy poly amide
2. Epoxy sealer
3. Anti fouling

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۴-۱- آزمایش چسبندگی

براساس استاندارد ASTM D۳۳۵۹ تعیین میزان چسبندگی پوشش بر روی سطح، به صورت زیر تعیین شد:

۵B: هیچ تغییری در شبکه ایجاد نشد و گوشه‌ها کاملاً قائم بودند؛

۴B: کمتر از ۵٪ از ناحیه تخریب شد و به صورت نقطه‌ای، بخشهای کوچکی کنده شدند؛

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

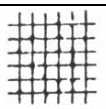
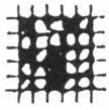
۲B: ناحیه تخریب بین ۱۵٪ تا ۳۵٪ است و بخشهایی از مربعها کاملاً کنده شدند؛

۱B: ناحیه تخریب بین ۳۵٪ تا ۶۵٪ است و تمام مربعها صدمه دیدند؛

۰B: ناحیه تخریب بیشتر از ۶۵٪ شبکه است[۱۳].

طبقه‌بندی میزان چسبندگی براساس استاندارد مذکور در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ طبقه‌بندی میزان چسبندگی براساس استاندارد ASTM D۳۳۵۹ [۱۳]

سطح شبکه که تخریب و کنده شده است. (مثال برای شش برش موازی)	طبقه بندی
هیچ تغییری در شبکه ایجاد نشده است	۵B
	۴B
	۳B
	۲B
	۱B
بیشتر از ٦٥ درصد	۰B

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۴-۲- آزمایش سختی

آنچه 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 D۴۳۶۶ با استفاده از دستگاه پرسوز به روش آونگ صورت گرفت. در این روش سختی پوشش با استفاده از خاصیت تلف شدن انرژی در اثر نوسان آونگ اندازه‌گیری شد[۱۴].

۲-۴-۳ آزمایش ضربه

هدف از انجام این آزمایش اندازه‌گیری مقاومت پوشش در برابر ضربه و اندازه‌گیری میزان انبساط پوشش است. این آزمایش مطابق استاندارد ASTM D۲۷۹۴ صورت گرفت[۱۵].

۲-۴-۴ آزمایش سایش

در این آزمایش مطابق استاندارد ASTM D۴۰۶۰ مقاومت پوششهای اعمال شده بر روی نمونه‌ها در برابر سایش تعیین می‌شود. در این آزمایش مقاومت سایشی پوششها براساس کاهش وزن برحسب گرم به ازای ۲۰ دور چرخ ساینده، اندازه‌گیری شد[۱۶].

۲-۴-۵- آزمایش پاشش نمک[1]

در این آزمایش مطابق استاندارد ASTM B۱۱۷ یک محیط خورنده تحت کنترل ایجاد شد و براساس آن اطلاعاتی درخصوص مقاومت خوردگی پوششهای آلی و معدنی به دست آمد. نتایج حاصل از این آزمایش مقایسه‌ای است و نمی‌توان براساس نتایج به دست آمده مدت زمان مقاومت هر یک از پوششها را در محیط دریایی پیش‌بینی کرد [۱۲].

۲-۴-۶- آزمایش مقاومت در برابر رطوبت

در این آزمایش مطابق استاندارد ASTM D۲۲۴۷، مقاومت پوششهای آلی در برابر نفوذ رطوبت اندازه‌گیری شد. در این آزمایش نمونه‌های پوشش داده شده در یک محفظه بسته با دمای ۳۸°C و رطوبت ۱۰۰٪ قرار گرفتند. با توجه به شرایط محیطی خلیج‌فارس و روش در نظر گرفته شده و همچنین برای بررسی مقاومت خوردگی پوششها، این آزمایش در دستگاه پاشش نمک با دمای ۳۸°C و رطوبت نسبی ۱۰۰٪ بدون پاشش محلول آب و نمک صورت گرفت[۱۷].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج و تحلیل آزمایشهای میدانی

در این بخش سعی شد ابتدا نتایج میدانی نمونه‌ها بررسی شوند؛ به این صورت که شاخصهای رشد خزه، زنگ‌زدگی و تخریب نمونه‌ها با توجه به نتایج مشاهدات هفتگی آنها بررسی شدند و نمونه‌هایی که در بعضی لایه‌ها با هم مشترک بودند، برای تکمیل تحقیقات با یکدیگر مقایسه شدند و نتایج تحلیل گردید.

سپس نتایج آزمایشگاهی سه سیستم که در بخش قبل مشخص شد از طریق جدولهای مقایسه، بررسی شدند و طی این بررسیها برای معتبرسازی نتایج آزمایشها، این نتایج با نتایج نمونه‌های مشابه میدانی مقایسه گردید. لازم به ذکر است که برهمکنش لایه‌ها با هم در تحقیق دیگری قابل بررسی است.

۳-۱-۱- سیستم ۱

این سیستم به ترتیب از چهار لایه، زینک اتیل سیلیکات، اپوکسی پلی آمید، اپوکسی سیلر و ضد خزه تشکیل شده است. پس از گذشت زمان ۶ ماه، هیچگونه تخریب یا تاول زدگی در نمونه‌های این سیستم پوشش با هر سه نوع آماده سازی اتفاق نیفتاد.

تنها عاملی که در نتیجه رشد خزه و زنگ زدگی مؤثر بود، نوع آماده سازی آن است. با بررسی نمونه‌ها مشاهده شد که در نمونه‌هایی که بدون آماده‌سازی بودند پس از گذشت یک ماه بتدریج زنگ زدگی از لبه‌ها شروع شد و پس از ۶ ماه نزدیک به ۵٪ کل سطح آنها نیز دچار زنگ زدگی (به شکل لکه‌های نارنجی) شد. همزمان با شروع زنگ زدگی این نمونه، رشد خزه نیز در سطح آن به آرامی شروع شد، به طوری که

1. Salt spray

Archive of SID
www.SID.ir

پس از گذشت ۶ ماه، ۵٪ کل نمونه را خزه فرا گرفت. اما در نمونه‌هایی که سند بلاست و وایر برس شده بودند، هیچگونه رشد خزه یا زنگ زدگی مشاهده نگردید.

با بررسی نتایج مذکور می‌توان گفت، تنها عاملی که می‌تواند برای این سیستم مشکل ایجاد کند، آماده سازی نامناسب می‌باشد، چون هر سه نمونه با یک ضخامت و با یک نوع پوشش آماده شد، اما در سیستمی که بدون آماده‌سازی تهیه شد چند درصدی رشد خزه مشاهده شد. بنابراین این سیستم با آماده سازی سندبلاست تا درجه Sa۳ سیستم پوششی کاملاً مناسب برای ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس می‌باشد.

۳-۱-۲- سیستم ۲

با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که در مدت زمان آزمایش، هیچگونه تخریب و تاول‌زدگی در این سیستم با هر سه نوع آماده‌سازی مشاهده نشد. اما درصد کمی رشد خزه در سطح نمونه‌ها (۱٪-۵٪) مشاهده گردید و چند نقطه در لبه‌ها دچار زنگ زدگی شد.

در نمونه‌ای که آماده‌سازی سند بلاست اعمال گردید، بعد از گذشت ۶ ماه تنها حدود ۲٪ رشد خزه در سطح نمونه مشاهده شد، اما در نمونه‌های بدون آماده سازی در همین مدت، حدود ۵٪ خزه به سطح چسبیده بود که این تفاوت به اختلاف آماده‌سازی آنها مربوط می‌شود.

شکل ۱ سیستم ۱ با آماده سازی وایر برس بعد از ٦ ماه

شکل ۲ سیستم ۲ با آماده سازی سند بلاست بعد از ۶ ماه

Archive of SID
www.SID.ir

۳-۱-۳- سیستم ۳

نتایج مشاهدات رشد خزه و تخریب پوشش (لایه رویه) نمونه‌های بدون آماده سازی و نمونه‌های سند بلاست شده در جدول ۳ آمده است:

همانطور که در جدول ۳ مشخص شده است، پس از گذشت زمانی کوتاه، رشد خزه به سرعت سطح این نمونه را می‌پوشاند و پوشش آن را بتدریج از بین می‌برد. با مشاهده درصدهای رشد خزه و مقایسه آن با میزان تخریب لایه نهایی پوشش معلوم می‌شود که روند تغییرات به این صورت است که ابتدا رشد خزه تا جایی ادامه پیدا می‌کند که تقریباً تمام سطح نمونه را می‌پوشاند، سپس یک لایه نازکی از لایه نهایی پوشش به این خزه‌ها می‌چسبد و به همراه آن به شکل تاول زدگی از نمونه جدا می‌شود. پس از آنکه این خزه از سطح جدا شد، مجدداً روند افزایش رشد خزه شروع می‌شود تا زمانی که تمام سطح نمونه را بپوشاند و به همین ترتیب مکانیزم قبلی تکرار می‌شود. حال اگر ضخامت کولتار کم باشد بعد از یک بار جدا شدن خزه‌ها از نمونه، لایه نهایی به طور کامل از بین می‌رود، اما اگر ضخامت زیاد باشد زمان این اتفاق به تأخیر می‌افتد.

در نمونه‌های مربوط به این پروژه که ۱۲۵ میکرون کولتار در لایه نهایی اعمال شده بود، پس از گذشت ۲ ماه، حدوداً ۱۰٪ سطح کولتار کامل از بین رفت و لایه اپوکسی پلی آمید نمایان گردید. با اینکه اپوکسی پلی آمید پوششی مناسب برای لایه میانی می‌باشد، اما در لایه نهایی به سرعت تخریب می‌شود. بنابراین با از بین رفتن لایه کولتار، کل پوشش در مدت کوتاهی از بین خواهد رفت.

جدول ۳ نتایج میدانی سیستم ۳ بعد از ۸۰ روز

روز	نوع آماده سازی	درصد رشد خزه	درصد تخریب
۲۰	سند بلاست	۲۰	۰
۲۰	بدون آماده سازی	٤۰	۲
٤۰	سند بلاست	۲۵	۰
٤۰	بدون آماده سازی	۸۰	۱۰
٦۰	سند بلاست	۸۰	۰
٦۰	بدون آماده سازی	۹۵	۲۰
۸۰	سند بلاست	٦۰	۱۰ (لایه رویه)
۸۰	بدون آماده سازی	٦۰	۵۰ (جدا شدن یک لایه از رویه به همراه جلبک)

شکل۳ سیستم ۳ با آماده سازی وایر برس بعد از ٦ ماه

Archive of SID
www.SID.ir

یکی دیگر از دلایل این تخریب، عدم چسبندگی کافی کولتار با اپوکسی پلی آمید می‌باشد. این امر باعث می‌شود لایه‌های کولتار به سادگی همراه خزه‌ها از سطح پوشش جدا شوند. پس این سیستم برای ناحیه غوطه‌وری مناسب نیست.

مکانیزم تخریب پوشش برای نمونه‌های با آماده سازی سطح وایر برس نیز همانطور که در شکل ۳ مشخص است مانند ماسه‌پاشی و بدون آماده سازی است ولی از نظر زمانی با نمونه‌هایی که ماسه پاشی شده‌اند حدود ۳ هفته اختلاف فاز دارند یعنی ۳ هفته زودتر از نمونه‌های ماسه پاشی شده به میزان تخریب مشخصی می‌رسند.

۳-۲- نتایج و تحلیل آزمایشهای آزمایشگاهی

آماده‌سازی در همه نمونه‌های آزمایشگاهی از طریق سندبلاست تا درجه Sa۳ مطابق استاندارد سوئدی انجام گرفت. اعمال پوشش در هر ۳ سیستم به روش اسپری انجام شد، بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها در دمای معمولی اتاق (۲۱°C) قرار گرفتند تا خشک شوند تا بتوان لایه بعدی را اعمال کرد. مشخصات فیلمهای خشک مورد آزمایش در جدولهای ۴-۶ آورده شده است.

جدول٤ مشخصات فیلم خشک سیستم ۱

شماره ورقه	پرایمر		میانی		رویه		رویه		مجموع ضخامت (µm)
	تعداد لایه	ضخامت (µm)	تعداد لایه	ضخامت (µm)	تعداد لایه	ضخامت (µm)	تعداد لایه	ضخامت (µm)	
۱	۱	۵۱	–	–	–	–	–	–	۵۱
۲	۱	۵۰	۱	۸۰	–	–	–	–	۱۳۰
۳	۱	۵۲	۱	۸۱	۱	۱۰۲	–	–	۲۳۵
٤	۱	۵۰	۱	۸۰	۱	۱۰۰	۱	۱۲۳	۳۵۳
۵	۱	۵۰	۱	۸۰	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	۳۵۰
٦	۱	۵۵	۱	۸۵	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	۳٦۰
۷	۱	۵۰	۱	۸۰	۱	۱۰۰	۱	۱۲۵	۳۵۵
۸	۱	۵۰	۱	۸۰	۱	۱۰۰	۱	۱۲۲	۳۵۲
۹	۱	۵۵	۱	۸۵	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	۳٦۰
۱۰	۱	۵۰	۱	۸۳	۱	۱۰۲	۱	۱۲۳	۳۵۸
۱۱	۱	۵۰	۱	۸۰	۱	۱۰۲	۱	۱۲۱	۳۵۳

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۵ مشخصات فیلم خشک سیستم ۲

شماره ورقه	پرایمر		میانی		رویه		رویه		مجموع ضخامت
	تعداد لایه	ضخامت (µm)	تعداد لایه	ضخامت (µm)	تعداد لایه	ضخامت (µm)	تعداد لایه	ضخامت (µm)	
۱	۱	۵۱	–	–	–	–	–	–	۵۱
۱۲	۱	۵۲	۱	۱۲۶	–	–	–	–	۱۷۸
۱۳	۱	۵۰	۱	۱۲۵	۱	۱۰۲	–	–	۲۷۵
۱٤	۱	۵۱	۱	۱۲۵	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	۳۹٦
۱۵	۱	۵۰	۱	۱۲٦	۱	۱۰۰	۱	۱۲۱	۳۹۸
۱٦	۱	۵۳	۱	۱۲۷	۱	۱۰۰	۱	۱۲۱	٤۰٦
۱۷	۱	۵۰	۱	۱۲٦	۱	۱۰۰	۱	۱۲۱	۳۹۸
۱۸	۱	۵۱	۱	۱۲۸	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	٤۰۰
۱۹	۱	۵۰	۱	۱۲۵	۱	۱۰۰	۱	۱۲۰	۳۹۵
۲۰	۱	۵۲	۱	۱۲٦	۱	۱۰۲	۱	۱۲۱	٤۰۰
۲۱	۱	۵۰	۱	۱۲۵	۱	۱۰۲	۱	۱۲۰	۳۹۷

جدول ٦ مشخصات فیلم خشک سیستم ۳

شماره ورقه	پرایمر		میانی		رویه		مجموع ضخامت
	تعداد لایه	ضخامت (µm)	تعداد لایه	ضخامت (µm)	تعداد لایه	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	۲٦۰
۲٤	۱	۵۳	۱	۸۷	۱	۱۲٦	۲٦٦
۲۵	۱	۵۲	۱	۸۲	۱	۱۳۱	۲٦۵
۲٦	۱	۵۰	۱	۸۰	۱	۱۳۰	۲٦۰
۲۷	۱	۵۰	۱	۸۵	۱	۱۲۵	۲٦۰
۲۸	۱	۵۰	۱	۸۷	۱	۱۲٦	۲٦۳
۲۹	۱	۵۰	۱	۸۵	۱	۱۲۵	۲٦۰

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۲-۲- مقاومت مکانیکی فیلم خشک

۳-۲-۲-۱- مقاومت سایشی

مقاومت سایشی یکی از مهمترین خواص مکانیکی است که در طراحی سیستمهای پوشش دریایی باید مدنظر قرار گیرد. پوششهای دریایی در نواحی جزر و مدی و پاشش آب همواره در معرض جریان آب و سایش قرار دارند. علیرغم اینکه در ناحیه مورد بحث ما (ناحیه غوطه‌وری)، مشکل سایش حاد وجود ندارد اما برای تکمیل مطالعات و اخذ نتایج جانبی، این آزمایش نیز انجام شد. با توجه به جدول نتایج، مقاومت سایشی سیستم ۳ که در لایه نهایی آن از کولتار استفاده شد از سیستمهای ۱ و ۲ که در لایه نهایی آنها از ضد خزه استفاده شد، بیشتر است. از بررسی نتایج ۱و۲ مشخص می‌شود با توجه به اینکه در لایه نهایی هر دو سیستم از ضد خزه استفاده شد، اما مقاومت سایشی سیستم ۲ از سیستم ۱ بیشتر است. به نظر می‌رسد که علت این امر مربوط به استفاده از کولتار اپوکسی در لایه میانی باشد. در نتیجه استفاده از کولتار اپوکسی مقاومت سایشی سیستم را بالا خواهد برد. بنابراین می‌توان در نواحی پاشش آب و جزر و مدی که مسأله سایش بسیار مهم است در لایه میانی از کولتار اپوکسی استفاده کرد.

جدول ۷ مقاومت مکانیکی فیلم خشک هر ۳ سیستم

سیستم	شماره ورقه	سختی (ثانیه) ASTM D-۴۳۳۶۶	چسبندگی ASTM D-۳۳۵۹	ضربه مستقیم (lb/in) ASTM D-۲۷۹۴	سایش، کاهش وزن به ازای ۲۰دور-گرم
۱	۱	۱۹۹	۳ B	–	–
	۲	۱۸۴	۳A	۱۰	–
	۳	۱۲۰	٤A	۱۰	–
	٤	۸۲	٤A	۱۰	–
	۵	–	–	–	۰/۰۱۰۰
۲	۱	۱۹۹	۳ B	–	–
	۱۲	۱٤۲	۳A	۱۰	–
	۱۳	۹٦	۳A	۱۰	–
	۱٤	۷۵	۳A	۱۰	–
	۱۵	–	–	–	۰/۰۰۷۸
۳	۱	۱۹۹	۳ B	–	–
	۲	۱۸٤	۳A	۱۰	–
	۲۲	۱۳۸	٤A	۱۰	–
	۲۳	–	–	–	۰/۰۰۳٦

Archive of SID
www.SID.ir

۳-۲-۲-۲- ضربه‌پذیری

ضربه‌پذیری از دیگر خواصی است که سیستمهای پوشش دریایی باید دارا باشند. این خاصیت بخصوص در مورد سیستمهای پوششی که در نواحی جزر و مدی و پاشش آب سازه‌های دریایی اعمال می‌شوند اهمیت زیادی دارد. این نواحی همواره در معرض برخورد شناورها بوده‌اند و سیستم پوشش اعمال شده در این نواحی باید قابلیت ضربه پذیری زیادی داشته باشند. این آزمایش نیز مانند آزمایش سایش برای تکمیل مطالعات و بررسی کلی سیستم پوشش انجام شد و در نهایت هر ۳ سیستم با وجود لایه‌های متفاوت، دارای ضربه پذیری یکسانی بودند. بنابراین قضاوت در مورد رد یا تأیید سیستم با توجه به آزمایشهای دیگر انجام خواهد شد.

۳-۲-۲-۳- چسبندگی

در شرح آزمایش 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 ۱۲۰μ می‌باشد. برای ضخامتهای بالاتر از ۱۲۰μ تقسیم‌بندی درجات از ۰A تا ۵A بود، به نحوی که به جای ایجاد شبکه‌های مستطیلی، دو شیار به صورت ضربدر با زاویه ۳۵-۴۵ درجه طوری بر روی پوشش ایجاد می‌شوند که به فلز زمینه برسند، سپس به همان صورت قبلی با استفاده از چسب، میزان تخریب از روی همین استاندارد مشخص می‌شوند [۱۳].

همانطور که در جدول نتایج چسبندگی آمده است، در هر ۳ سیستم، چسبندگی لایه اولیه (زینک اتیل سیلیکات) به سطح فولاد ۳B بود. از طرفی در آزمایش مه نمکی و رطوبت طبق استاندارد ASTM D-۱٦٥٤ قبل از انجام این آزمایشها در سطح فیلم خراشی ایجاد شد و در پایان آزمایش به بررسی خوردگی در اطراف خراش پرداخته شد. با دقت در این نتایج ملاحظه می‌شود که پس از حذف فیلم هیچگونه عارضه‌ای در اطراف یا دور از خراش دیده نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که چسبندگی لایه اولیه در هر ۳ سیستم به سطح فلز مناسب است و هیچ مشکلی را ایجاد نخواهد کرد. با دقت در میزان چسبندگی لایه‌های بعدی، مشاهده می‌شود که لایه‌های سیستم ۱ نسبت به بقیه سیستمها چسبندگی بهتری دارند. بنابراین احتمال نفوذ مواد خورنده، رطوبت و خزه‌ها به زیر این لایه‌ها کمتر می‌باشد.

در سیستم ۲ ملاحظه می‌شود که چسبندگی اپوکسی سیلر که از جنس پلی آمید است با کولتار اپوکسی ۳A بوده، در حالی که در سیستم ۳ چسبندگی کولتار به پلی آمید ۴A می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم ۲ به منظور افزایش چسبندگی سیستم، بهتر است به جای اپوکسی سیلر از اپوکسی پلی آمید استفاده شود.

۳-۲-۲-٤- سختی

سختی سیستمهای پوشش به طور عمده با سختی پوشش لایه نهایی و سپس پوشش لایه‌های میانی ارتباط دارد. در صورتی که لایه نهایی یک سیستم پوشش از سختی لازم برخوردار نباشد، در اثر به وجود آمدن خراش روی آن، عوامل خورنده از ناحیه خراشیده شده به داخل سیستم نفوذ می‌کنند و باعث خوردگی در این ناحیه می‌شوند.

با توجه به جدول نتایج مقاومت مکانیکی فیلم خشک، مشاهده می‌شود که سیستم ۳ که در لایه نهایی آن از کولتار اپوکسی استفاده شد بیشترین سختی را دارد و همچنین سختی سیستمهای ۱و۲ نزدیک به هم می‌باشند. سختی پوشش نیز مانند سایش و ضربه در نواحی جزر و مدی و پاشش آب که احتمال ایجاد خراش بیشتر است، حایز اهمیت است.

۳-۲-۳- مقاومت فیلم خشک در محیطهای خورنده

۳-۲-۳-۱- مه نمکی (ASTM B-۱۱۷)

همانطور که در جدول ۸ آمده است، سیستمهای ۱و۲ بعد از ۱۰۰۰ ساعت پاشش نمک (مه نمکی)، به طور کامل سالم ماندند. اما در سیستم ۳ بعد از همین زمان پاشش نمک، تاولهای بین لایه‌ای مشاهده شد. این تاولها[1] مابین لایه اولیه و

۱. مشخصات این تاولها طبق استاندارد ASTM D٧١٤ تعیین می شوند. در این استاندارد اندازه تاولها به ترتیب از کوچک به بزرگ با علامت، NO.٨، NO.٦، NO.٤ و NO.٢ نشان داده می‌شود و همچنین تعداد آنها با سه دسته Few، Medium و Dence مشخص شده است[۱۲-۱۷].

Archive of SID
www.SID.ir

لایه میانی تشکیل شدند که تعداد آنها در حد متوسط و اندازه آنها No.۸ بود.

با توجه به اینکه لایه‌های اولیه و میانی در سیستمهای ۱ و ۳ یکسان بودند. اما در سیستم ۳ همانطور که گفته شد تاولهای بین لایه‌ای دیده شد که این امر به علت کاهش تعداد لایه‌ها در سیستم ۳ و همچنین چسبندگی بالای اپوکسی سیلر و ضد خزه در سیستم ۱ است.

۳-۲-۳-۲- رطوبت (ASTM D۲۲٤۷)

همانطور که در جدول ۹ آمده است، تنها در سیستم ۲ بعد از ۱۰۰۰ ساعت رطوبت ۱۰۰٪، هیچگونه تغییری در پوشش ایجاد نشد. در سیستم ۱ تعداد تاولهای بین لایه‌ای در حد کم و در سیستم ۳، تعداد این تاولها در حد متوسط مشاهده شد. دلیل این مقاومت عالی در سیستم ۲، وجود کولتار اپوکسی در لایه میانی است. چون کولتار اپوکسی، همانطور که قبلاً ذکر شد، یک پوشش با نفوذپذیری بسیار پایین است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که وجود کولتار اپوکسی در لایه میانی سیستم پوشش در هر ناحیه‌ای از سازه‌های دریایی مقاومت در برابر رطوبت را بسیار بالا می‌برد. همچنین با مقایسه میزان تاولهای بین لایه‌ای سیستم ۱ و۳ مشاهده می‌شود که تعداد تاولها در سیستم ۱، کمتر با اندازه بزرگ‌تر و در سیستم ۳ تعداد بیشتر با اندازه کوچک‌تر می‌باشند.

جدول ۸ نتایج آزمایش مه نمکی (پاشش نمک)

سیستم	شماره ورقه	مدت آزمایش (ساعت)	عوارض ظاهری پوشش	عوارض خوردگی پس از حذف فیلم (ASTM D-۱٦٥٤)	
				اطراف خراش	دور از خراش
۱	٦	۱۰۰۰	تغییر فام	بدون عارضه	بدون عارضه
	۷				
	۸				
۲	۱٦	۱۰۰۰	تغییر فام	بدون عارضه	بدون عارضه
	۱۷				
	۱۸				
۳	۲٤	۱۰۰۰	تاول No.۸ در حد Medium (که بین لایه‌ای می‌باشند- مابین پرایمر و میانی)	بدون عارضه	بدون عارضه
	۲٥				
	۲٦				

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۹ نتایج آزمایش رطوبت

سیستم	شماره ورقه	مدت آزمایش (ساعت)	عوارض ظاهری پوشش	عوارض خوردگی پس از حذف فیلم (ASTM D-۱٦٥٤)	
				اطراف خراش	دور از خراش
۱	۹	٦٧٢	تاولهای No.٦ درحد Few (تاولها بین لایه‌ای می‌باشند مابین لایه اولیه و میانی)	بدون عارضه	بدون عارضه
	۱۰				
	۱۱				
۲	۱۹	۱۰۰۰	تغییر فام	بدون عارضه	بدون عارضه
	۲۰				
	۲۱				
۳	۲۷	۱۲۰	تاول زدگی از نوع No.۸ در حد Medium (که بین لایه‌ای می باشند مابین لایه اولیه و میانی)	بدون عارضه	بدون عارضه
	۲۸				
	۲۹				

۳-۲-٤- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج میدانی

ابتدا به بررسی سیستم ۳ پرداخته می‌شود؛ در بخش نتایج آزمایشگاهی سیستم ۳ در محیط خورنده ملاحظه شد که در این سیستم بعد از ۱۲۰ ساعت رطوبت و ۱۰۰۰ ساعت مه نمکی تاولهای بین لایه‌ای در حد متوسط مشاهده می‌شود. از طرفی در بررسی میدانی این سیستم نیز ملاحظه شد که به دلیل استفاده از کولتار در لایه نهایی، ابتدا خزه‌ها به کولتار می‌چسبند، تا جایی که کل سطح را خزه بپوشاند. سپس یک لایه از کولتار به همراه خزه‌ها کنده می‌شود و مجدداً روند رشد خزه تا زمانی که کل پوشش از بین برود ادامه پیدا می‌کند. پس نتیجه می‌گیریم که این سیستم در ناحیه غوطه‌وری عملکرد مطلوبی ندارد اما مطلوبیت این سیستم در ناحیه اتمسفری به دلیل نبود خزه و همچنین رطوبت کمتر قابل بررسی است.

اما در نتایج میدانی سیستم ۱ ملاحظه شد که بعد از ٤ ماه هیچگونه مشکلی در پوشش ایجاد نشد. اما در نتایج آزمایش رطوبت همین سیستم مشاهده می‌شود که پس از ٦٧٢ ساعت رطوبت ۱۰۰٪ این سیستم دچار تاولهای بین لایه‌ای شد. پس از بررسیهای لازم مشخص شد که این عارضه به علت وجود اکسیژن در هنگام آزمایش رطوبت بود. در حالی که در نمونه نصب شده در محیط واقعی دریا به دلیل نبود اکسیژن، هیچگونه مشکلی مشاهده نمی‌شود. بنابراین این سیستم، علیرغم به وجود آمدن تاولهای بین لایه‌ای بعد از آزمایش رطوبت، به عنوان یکی از سیستمهای مناسب در ناحیه غوطه‌وری پیشنهاد می‌گردد. چون در واقع در این ناحیه از سازه‌های دریایی مقدار اکسیژن به قدری کم است که هیچ مشکلی برای پوشش ایجاد نخواهد شد.

در سیستم ۲ این مسأله برعکس بود؛ یعنی در آزمونهای آزمایشگاهی رطوبت و پاشش نمک بعد از ۱۰۰۰ ساعت، هیچگونه عارضه‌ای در نمونه‌ها مشاهده نشد، درحالی که در نمونه‌های میدانی پس از ٤ ماه در حدود ۲٪ نمونه‌ها را خزه می‌پوشاند که این خزه‌ها در اطراف گوشه نمونه‌ها به چشم می‌خورند.

با بررسی نتایج چسبندگی دریافتیم که این سیستم کمترین چسبندگی را دارد. بنابراین خزه‌ها می‌توانند از بین این لایه‌ها، خود را به کولتار برسانند، پس از مدتی رشد پیدا کنند، سپس از لایه رویه نیز بیرون زنند.

Archive of SID
www.SID.ir

بنابراین نتیجه گرفته می‌شود، چون نفوذ خزه‌ها از مناطق بحرانی نمونه‌ها (در این پروژه گوشه‌ها) انجام می‌گیرد، از اینرو در سازه‌های با اضلاع گوشه‌دار، استفاده از این سیستم مناسب نمی‌باشد. چون گوشه‌های تیز نقاط بحرانی برای اعمال پوشش است و بسختی می‌توان آنها را پوشش کامل داد. اما از آنجا که در ناحیه غوطه‌وری اکثر شمعها و لوله‌های انتقال نفت، گاز و آب شکل استوانه‌ای دارند، پیش‌بینی می‌شود این سیستم عملکرد مطلوب‌تری نسبت به سیستم۱ داشته باشد که این امر نیز قابل بررسی است.

٤- نتیجه‌گیری

۱. زینک اتیل‌سیلیکات یکی از پوششهای مناسبی است که می‌توان به منظور جلوگیری از خوردگی در لایه اولیه سیستم پوششهایی که روی فولاد ST۳۷ در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس اعمال می‌شوند، استفاده کرد.

۲. حداقل درجه آماده سازی که زینک اتیل سیلیکات وظیفه پوشش را در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس بدون هیچ عارضه‌ای انجام می‌دهد، آماده سازی واير برس تا درجه No۲ استاندارد NACE می باشد.

۳. زینک اتیل سیلیکات در لایه اولیه پوششهای اعمال شده روی فولاد ۳۷ST، در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس با پوششهای اپوکسی پلی‌آمید یا کولتار اپوکسی در لایه میانی، سازگاری قابل قبولی دارد.

٤. طبق استاندارد ASTM D-۴۳۶۶ سختی زینک اتیل سیلیکات اعمال شده روی فولاد ST۳۷، ۱۹۹ ثانیه و چسبندگی آن طبق استاندارد ASTM D-۳۳۵۹، ۳B می‌باشد.

۵. یکی از بهترین پوششهایی که در ناحیه غوطه‌وری خلیج فارس عملکرد مطلوبی دارد، زینک اتیل سیلیکات، اپوکسی پلی آمید، اپوکسی سیلر و ضد خزه می باشد که تمام لایه‌های آن تولید شرکتهای داخلی است.

۵- منابع

[1] Anonymous; Specification for Paint Procedure, South Pars Gas Field Offshore Jacket; National Iranian Oil Company; 1998.

[2] Alumbaugh R. L.; Corrosion Protection of Steel Piles in Natural Seawater Environment; National Bureau of Standards; 1987.

[3] Graff W. J.; Introduction to Offshore structures; Gulf publishing; 1981.

[4] Munger C. G.; Marine and Offshore Corrosion Control, Materials Performance; 1993; 9:

[5] Charles G. M.; Corrosion Prevention by Protective Coating, National Association of Corrosion Engineers; 1984.

[6] Aylor D.; Anti corrosion barriers: chemistry and applications, Paper Presented at the Philadelphia Symposium, American Chemical Society; 1984;8:

[7] Rdgers S., Drisko R.; «Painting Navy Ships»; Steel structures Painting Manual American Iron and steel Institute; 1998.

[8] Carew J., Al – Hashem A., Raid W. T.; Performance of coating system in industrial atmosphere on Persian Gulf, Materials Performance; 1994; 12:

[9] Keneth I. R.; Performance of marine and industrial coating in Persian Gulf, Materials Performance; 1980; 4:

[10] Anonymous; Annual Book of Marine Coatings Specification Bajak Marine and Industrial Co; 1998.

[11] Turner G.P.A; «Introduction to Paint Chemistry»; *3rd Ed, Chapman and Hall*; 1988.

[12] «Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus»; Annual Book of ASTM Standards; 1989; vol. 06. 01.

Archive of SID
www.SID.ir

[13] «Standard Test Method for Measuring Adhesion by Tape Test»; Annual Book of ASTM Standards; 1989. vol. 06. 01.

[14] «Standard Test Method for Hardness of Organic Coatings by Pendulum Damping Test»; Annual Book of ASTM Standards. Vol.06.01. 1989.

[15] «Standard Test Method for Resistance of Organic Coatings to the Effect of Rapid Deformation (Impact)»; Annual Book of ASTM Standards; 1989. Vol. 06. 01.

[16] «Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by Taber Abrasor»; Annual Book of ASTM Standards.; 1989. Vol. 06. 01.

[17] «Standard Practice for Testing Water Resistance of Organic Coatings in 100% Relative Humidity»; Annual Book of ASTM Standards; 1989. Vol. 06. 01.

Archive of SID

www.SID.ir