

# بررسی رفتار الکتروشیمیایی امیدانس پیگمان فسفات روی و نقش محافظتی آن به عنوان پوشش اولیه

سعید میرفندرسکی

پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشگاه حفاظت صنعتی و  
محیط زیست، واحد خوردگی فلزات

علی اصغر سرابی

دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

محمد رضا باقرزاده

پژوهشگاه صنعت نفت،  
پژوهشگاه شیمی و پتروشیمی، مرکز تحقیقات رنگ

عماد رعایایی

دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

در این بررسی عملکرد محافظتی فسفات روی با (PVC (Pigment volume concentration) های مختلف (۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰) قبیل، آزمایش چسبندگی و مه آب نمک مقایسه گردید. نتایج بدست آمده نشان میدهد که در الکترولیت حاوی ۳/۵ درصد کلرور سدیم مقادیر Log Z برای نمونه هایی که به مدت ۲۴ ساعت در محیط مه آب نمک قرار داده شده اند نسبت به نمونه شاهد افزایش می یابد. در حالی که رفتار نمونه هایی که به مدت یک هفته در محیط مه آب نمک قرار داده شده، به گونه ای است که موجب کاهش آن می گردد. تغییرات مذکور نشان میدهد که مقدار امیدانس، با میزان جذب آب، تغییرات ثابت دی الکتریک و ظرفیت الکتریکی پوشش نسبت عکس دارد. نتایج فوق بیانگر آنست که بهترین عملکرد این پرایمر در محدوده ۴۰-۳۰ PVC است.

## کلمات کلیدی

فسفات روی - امیدانس - غلظت حجمی پیگمان (PVC)

## Investigation on the behavior of zinc Phosphate Pigment and its Protective Role in a Primer by Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

M.R. Bagherzadeh

Paint Research Center, N.I.O.C,  
Research Institute of Petroleum Industry

S. Mirfendereski

Corrosion Department, N. I. O. C,  
Research Institute of Petroleum

A.A. Sarabi

Department of Polymer Eng.,  
Amir kabir University of Technology

E. Roayaie

Corrosion Department, N. I. O. C,  
Research Institute of Petroleum



## Abstract

*In this study, the protective performance of zinc Phosphate at various PVCs (Pigment Volume Concentration = 25, 30, 35, 40, 45, 50) in epoxy ester resin was evaluated through electrochemical impedance technique. The obtained data were compared with those of routine tests, including adhesion and salt spray fog chamber. The results show that in electrolyte with 3.5 % sodium chloride content, the values of log Z Increase for the samples exposed to salt spray for 24 hours, Comparing with the blank, while the behavior of samples exposed to salt spray chamber for two weeks decrease it. These findings indicate that the impedance value changes in inverse proportion to the amount of water absorption, dielectric constant, and electrical capacitance of the coating. The results imply that the best performance of this primer is in the PVC range of 30-40.*

## Keywords

*Zinc Phosphate, Impedance, PVC (Pigment Volume Concentration)*

## مقدمه

پیشرفت و توسعه فرمولاسیون و ساخت پوشش‌های آلی با کیفیت مناسب و رضایت بخش در صورتی میسر و محقق می‌شود که روشهای مناسب ارزیابی برای تعیین عوامل مختلف چسبندگی، بازدارندگی و barrier بکار گرفته شود. یکی از ویژگیهای مهم و مورد نظر، آزمایشهایی است که با سرعت کافی و مدت زمانی کم بتواند نتایج مطلوب را به دست دهد. چند روش ارزیابی غیرمخرب برای تعیین رفتار محافظت از خوردگی توسط پوشش‌ها، آزمایشهای چسبندگی و تاول زدن آنها معرفی و به کار گرفته شده است که با روش تطبیقی خواص ضد خوردگی و مکانیزم لایه لایه شدن (delamination) پوشش‌های اعمالی بر فولاد را مشخص می‌کند. برای درجه‌بندی تاول زدن پوشش‌ها ارزیابی‌ها ASTM D-417-87 و ASTM D-3359-87 به طور گسترده کاربرد پیدا کرده‌اند. [۱ و ۲]

قابلیت روشهای الکتروشیمیایی در اندازه‌گیری سریع کمیت‌های خوردگی، نظر مهندسی خوردگی را به خود جلب نموده است. و با اندازه‌گیری عوامل مختلف الکتروشیمیایی، مکانیزم تخریب و پیش‌بینی زمان عمر یک سیستم پوشش / فلز بحث شده است. Leidheiser (و همکاران) و Nguyen (و همکاران) در مقالات خود نشان داده‌اند که خواص barrier، بازدارندگی و چسبندگی نقش مهمی در زمان عمر پوشش دارند و افزایش دوام یک سیستم پوشش / فلز متناسب با زمان تماس با محیط خوردنده، تغییرات خواص چسبندگی، بازدارندگی و barrier می‌باشد. به طوری که با گذشت زمان و تجمع عوامل خوردنده نظیر آب، اکسیژن و یون‌ها می‌تواند با ایجاد تاول موجب کاهش پایداری پیوندهای چسبندگی شود که منجر به لایه لایه شدن پوشش و افزایش سرعت واکنش کاتدی می‌گردد. [۳ و ۴ و ۵]

بهبود بعضی از خواص پوشش‌ها با انتخاب و استفاده از پیگمان در PVC های مناسب میسر است. از آنجا که اکثر پوشش‌های اعمالی با جذب آب متورم می‌شوند که اغلب موجب از بین رفتن چسبندگی و یا کاهش آن می‌گردد کاربرد پیگمانهای ضد خوردگی می‌تواند نقش مهمی در محافظت سطح ایفا نماید زیرا پیگمانهای بازدارنده خوردگی بر اساس مکانیزمهای ذیل بر رفتار خوردگی فلز تأثیر می‌گذارد. [۶ و ۷ و ۸ و ۹]

۱- پیگمانهایی نظیر سرب قرمز که به سختی محلول هستند بر فعالیت مراکز آندی و کاتدی خوردگی سطح فلز اثر می‌گذارند. بدین صورت که نتیجه واکنش سرب قرمز با binder، محصولی است که به عنوان بازدارنده خوردگی عمل می‌کند و مراکز آندی خوردگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۲- پیگمانهای محلولی که یونهای غیر فعال کننده آزاد می‌کنند و بر فعالیت مراکز آندی و کاتدی خوردگی موجود بر سطح



فلزی اثر می‌گذارد. پیگمانهای کرومات نظیر روی زرد (Zinc yellow) را می‌توان در این گروه طبقه‌بندی کرد.  
۳- پیگمانهایی نظیر مولیبدات روی و یا کلسیم با یونهای آهن آزاد شده از واکنش آندی خوردگی تشکیل ترکیب کمپلکس را می‌دهد که به صورت فیلمی نازک سطوح فعال مذکور را می‌پوشاند.

۴- پیگمانهایی که با نفوذ آب به داخل پوشش موجب افزایش غلظت یونهای هیدروکسیل می‌شود و ترکیباتی نظیر ارتوپلمبات کلسیم می‌تواند با Binder ترکیب شود و pH آب نفوذی را به حدود ۸ برساند. هر چند که به نظر می‌رسد این مقدار pH برای غیر فعال کردن سطح فلز خیلی کم باشد، شرایط را برای تقویت نقش بازدارنده خوردگی ایجاد شده ناشی از ترکیب پیگمان binder فراهم می‌کند.

۵- پیگمانهای فلزی که سطوح فلزی را محافظت کاتدی می‌کند. معدودی از پودر فلزات هستند که می‌تواند این عمل را انجام دهند که مهمترین و متداولترین آنها پودر روی است.

۶- بعضی از ترکیبات آلی نظیر کروماتهای آلی، ترکیبات ازته آلی به عنوان بازدارنده خوردگی عمل می‌کنند ولی کاربرد آنها به گستردگی پیگمانهای ضد خوردگی معدنی تاکنون مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است.

از آنجا که با جذب آب، پوشش متورم می‌شود، اغلب چسبندگی آن به سطح فلز کاهش یافته و یا از بین می‌رود. این پدیده ناشی از تفاوت سختی بین فلز و پوشش گزارش شده است. احتمالاً بر اثر افزایش تنش داخلی برای PVC معین یک پوشش، منجر به تشکیل چین و چروکها و از بین رفتن چسبندگی می‌گردد. اغلب اندازه‌گیری و تعیین مقدار حجم آب جذب شده در پوشش‌های آلی توسط روش EIS (Electrochemical AC Impedance Spectroscopy) میسرگردیده است. که بر طبق معادله Brasher-Kingsbury و با ارزیابی ظرفیت پوشش صورت می‌گیرد.

$$\phi = \frac{\log(ct/c_0)}{\log 80}$$

که  $C_t$  ظرفیت الکتریکی پوشش در زمان  $t$  غوطه‌وری،  $C_0$  ظرفیت الکتریکی پوشش قبل از غوطه‌وری (فیلم خشک) می‌باشد. درستی معادله فوق برای غلظت‌های کم و توزیع یکنواخت آب در پوشش صادق است و بستگی به اجزاء تشکیل دهنده پوشش دارد. مقدار ثابت دی الکتریک پوشش نیز از رابطه  $E = \frac{d.c}{E_0 A}$  بدست می‌آید که در معادله مزبور

$E$  = ثابت دی الکتریک

$d$  = ضخامت پوشش

$C$  = ظرفیت الکتریکی پوشش

$E_0$  = ثابت دی الکتریک خلاء

$$8.9 \times 10^{-14} \text{ F/Cm}$$

$A$  = مساحت سطح نمونه ( $\text{Cm}^2$ ) می‌باشد.

از این رو با اعمال فرکانس در محدوده‌ای مشخص مقادیر امپدانس تعیین می‌گردد و از آنجا که در

$\omega = 1$  ( $f = 0.16 \text{ HZ}$   $\log \omega = 0$ ) مقدار امپدانس معادل با ظرفیت خازنی پوشش است از رابطه  $|Z| = \frac{1}{C}$  برای زمانهای

مختلف غوطه‌وری پوشش در محیط الکترولیت اندازه‌گیری و مشخص می‌شود. بدین منظور بیشتر می‌توان از منحنی‌های

Bode که تغییرات  $\log z$  بر حسب  $\log f$  و  $\log \theta$  حاصل می‌گردد عوامل مورد نظر را تعیین نمود. [۱۰ و ۱۱ و ۱۲]

## کارهای عملی

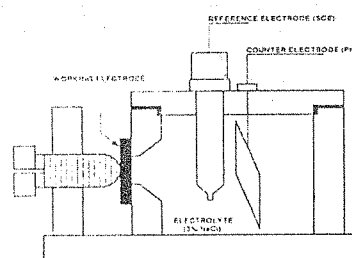
به منظور اعمال پوشش، قطعاتی از فولاد SAE1010 با ضخامت یک میلی‌متر و با ابعاد ( $10 \times 15 \text{ Cm}$ ) تهیه شد و سطح آنها توسط کاغذ سمباده صیقل داده شد سپس برای زدودن چربی از محلول تیتروکسیدسدیم با غلظت ۳ درصد استفاده شد، برای

اکسید زدایی نیز از محلول ۱۰٪ اسید کلریدریک حاوی ۱٪ بازدارنده خوردگی هگزا متیلن تترآمین در دمای محیط برای ۵ دقیقه اسیدشویی استفاده شد و سپس تمام نمونه ها سند بلاست شدند. پرایمر با سیستم حلالی بر پایه رزین اپوکسی استر همراه با پیگمان ضد خوردگی فسفات روی در PVC های مختلف (۵۰، ۴۵، ۴۰، ۳۵، ۳۰، ۲۵) به طور جداگانه ساخته شد و روی قطعات سند بلاست شده توسط پیستوله با فشار ۳ بار با ضخامت  $100 \pm 1$  میکرون اعمال شد. فرمولاسیون رنگ آستری در جدول (۱) نوشته شده است.

جدول (۱) فرمولاسیون رنگ آستری.

نام مواد	درصد مصرفی
رزین اپوکسی استر ۶۰٪	۱۴/۱
پودر تالک	۱۱/۲
پودر سولفات باریوم	۱۶/۷
پیگمان حفاظتی فسفات روی	PVC%
بنتون ژل	۶/۸
سویالیستین	۰/۳
اروزیل	۰/۱
حلال زایلین	۹/۱
رزین اپوکسی استر ۶۰٪	۸/۴
خشک کن های سرب، کلسیم، کبالت	۰/۸
ضد رویه	۰/۲
حلال زایلین	۷/۸

قطعات مذکور در محیط مه آب نمک براساس استاندارد ASTM B117 قرار داده شد و سپس توسط دستگاه کراس کات مطابق با استاندارد ASTM D3929 میزان چسبندگی پوشش بر سطح فلز اندازه گیری شد. برای بررسی رفتار الکتروشیمیایی امیدانس پوشش از محلول الکترولیت ۳/۵ درصد کلرور سدیم در پیل مسطح شامل الکتروود کمکی پلاتین و الکتروود مرجع نقره- کلرور نقره اشباع استفاده شد (شکل ۱).



شکل (۱) سل شیشه ای مورد استفاده در تست الکتروشیمیایی امیدانس.

مجموعه دستگاههای به کار گرفته شده شامل (HF Frequency Response Analyzer V2.81) از شرکت Solarton و پتانسیواستات A 278 از شرکت E G&G و رایانه IBM personal system/2 model 80386 و مجهز به نرم افزار M-388 می باشد و تغییرات امیدانس هر یک از نمونه ها در پتانسیل خوردگی و در محدوده های اعمال فرکانس از  $10^5$  تا  $10^{-2}$  هرتز با AC Amplitude=10 میلی ولت بررسی شد. [۱۳]

## بحث و نتایج

### ۱- نتایج آزمایش میزان چسبندگی

میزان چسبندگی براساس استاندارد ASTM D3959 اندازه‌گیری شد و نتایج آن در زیر آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش PVC مقدار چسبندگی کم می‌شود

جدول (۲) نتایج تست چسبندگی برای پوشش اپوکسی استر با پیگمان ذکر شده در PVC های مختلف.

PVC \ پیگمان	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
فسفات روی	5B	5B	5B>	4B>	4B	3B>4B

حفظ میزان چسبندگی برای نمونه‌هایی که در معرض عوامل خورنده قرار دارند می‌تواند از جذب و نفوذ عوامل خورنده بر سطح فلز جلوگیری نماید، در حقیقت به این معنی است که هر قدر چسبندگی فیلم پوششی به سطح زیرین بیشتر باشد با نفوذ عوامل خورنده به داخل فیلم پوششی، لایه دیرتر از سطح جدا می‌شود. [۱۴ و ۱۵]

### ۲- نتایج آزمایش مه آب نمک

آزمایش استاندارد ASTM B117 مه آب نمک نشان می‌دهد که با افزایش PVC، مقدار نفوذ آب از شیارها بیشتر می‌شود. [۱۶]

جدول (۳) نتایج تست مه آب نمک برای پوشش اپوکسی استر با پیگمان فسفات روی برای مدت زمان ۲ ماه.

توضیحات	PVC%
۸ الی ۹ تاول کوچک بر روی سطح مشاهده گردید که در زیر تاولها آثار زنگ زدگی وجود نداشت و نفوذ آب از شیارها حدود ۱ میلی متر بود.	۲۵
۷ الی ۸ تاول کوچک بر روی سطح مشاهده گردید که در زیر تاولها آثار زنگ زدگی وجود نداشت و نفوذ آب از شیارها حدود ۱ میلی متر بود.	۳۰
۵ الی ۶ تاول کوچک بر روی سطح مشاهده گردید که در زیر تاولها هیچگونه آثار زنگ زدگی وجود نداشت و نفوذ آب از شیارها بداخل پوشش ۲ میلی متر بود.	۳۵
۳ الی ۴ تاول کوچک بر روی سطح مشاهده گردید که در زیر تاولها آثار زنگ زدگی وجود نداشت و نفوذ آب از شیارها بداخل لایه پوشش ۳ میلی متر بود.	۴۰
نقاط بسیار زیادی بر روی سطح بود که نفوذ آب در آنها به وضوح مشاهده می‌شد و حالت تاول زدگی وجود نداشت و نفوذ آب از شیارها به داخل لایه پوشش ۴ الی ۵ متر بود	۴۵
نقاط بسیار زیادی بر روی سطح بود که نفوذ آب در آنها به وضوح مشاهده می‌شد و حالت تاول زدگی نداشت در زیر این نقاط کاملاً آثار زنگ زدگی وجود داشت و نفوذ آب از شیارها حدوداً ۵ میلی متر بود.	۵۰

نفوذپذیری آب در ترکیبات با حجم پودری کمتر به موجب کاهش تراکم شبکه، تورم فیلم پوششی را در بر دارد و در ترکیبات با حجم پودری بالاتر، ماتریس پلیمری ناقص است و دانه‌های پودر با ایجاد سوراخهایی بر سطح و با امتداد دادن بزرگراههای انتشار آب، قابلیت نفوذ پذیری آب را بداخل فیلم پوشش افزایش میدهد. [۱۲]

تعبیر و تفسیر رفتار پیگمان روی با تلفیق اطلاعات حاصل از آزمایشهای مزبور به شرح ذیل است:

در PVC های کم ( $PVC < 30$ ) به دلیل اینکه حجم آزاد پلیمر زیاد است مواد خورنده راحت تر می توانند از طریق تونلهای موجود در پوشش به داخل آن نفوذ کرده و به سطح فلز برسند از این رو مقدار آب جذب شده در آنها بیشتر خواهد بود که منجر به افزایش ثابت دی الکتریک و کاهش امیدانس پوشش می شود. [۱۷]

- نفوذ آب از فیلم پوشش آلی به تدریج موجب تجمع آن در حد فاصل سطوح پیگمان و رزین می گردد و با افزایش مقدار آن ذرات پیگمان توسط آب احاطه می گردد. زمانیکه غلظت حجمی پیگمان نسبت به کل پوشش افزایش داده می شود. آب تجمع یافته از طریق تونلهای موجود در رزین به یکدیگر راه پیدا می کند و باعث عبور سریعتر آب می شود. در واقع وقتی غلظت حجمی پیگمان زیاد باشد محل تجمع آب در فواصل ذرات پیگمان در رزین مانند یک گذرگاه آب عمل می نمایند. ولی زمانیکه غلظت حجمی پیگمان پایین باشد و ذرات از یکدیگر فاصله کافی داشته باشند، آب جمع شده تاثیری در عبور آب از پوشش ندارند [۱۸]. به همین دلیل است که در PVC های بالا ( $PVC > 40$ ) آب به مقدار بیشتری به داخل پوشش عبور می کند و ثابت دی الکتریک پوشش را افزایش میدهد که در نتیجه آن امیدانس فیلم پوششی به طور محسوسی کاهش می یابد.

- از آنجا که وقوع خوردگی برای فلز کربن استیل مستلزم وجود یک انرژی فعال برای انحلال آهن و حرکت و انتقال الکترونها به منظور ایجاد زنگ آهن است، چسبندگی پوشش، موجب کاهش سینتیک واکنشهای آندی و کاتدی می شود و از تشکیل زنگ آهن جلوگیری به عمل می آورد [۵]. در نمونه هایی با چسبندگی کم ( $PVC > 40$ ) نفوذ و جذب آب بیشتر است که در نتیجه آن امیدانس پوشش کاهش و ظرفیت الکتریکی و ثابت دی الکتریک آن افزایش می یابد.

اگر سطح فلز آهن بوسیله یک فیلم طوری پوشانده شود که نفوذ یونهای آهن را مسدود کند در این صورت یونهای آهن به داخل الکتروولیت وارد نمی شود و خوردگی کاهش می یابد. در این خصوص پیگمانهای ضد خوردگی می تواند نقش عمده ای داشته باشند. پیگمانهای فعال نظیر بعضی از پیگمانهای محلول یا کم محلول در آب پس از انجام یک سری واکنشهای الکتروشیمیایی سطح آهن را پلاریزه آندی کرده و با افزایش مقاومت پلاریزاسیون سیستم مانع از انحلال آن و یا واکنش اکسیداسیون می شود. [۱۹]

اثر محافظتی رنگدانه فسفات متکی بر این واقعیت است که رطوبت سبب هیدرولیز رنگدانه شده، و از آن یونهای فسفات ثانویه ناشی می شود. این یونها در فرآیند خوردگی آندی از طریق شکل گیری یک لایه فعال موثر واقع می شوند. یونهای فسفات می توانند لایه های محافظتی فسفاتهای  $Fe^{3+}$  اولیه را بر روی فولاد تولید کنند و یا به عبارتی می توان این لایه را ایجاد یک کمپلکس بین آهن و رنگدانه فسفات دانست. در اینجا نیز  $Zn(OH)_2$  تشکیل شده تا حد کمی در حفاظت کاتدی نقش بازی می کند. [۲۰ و ۲۱]

نمودارهای (۳ و ۲ و ۱) نشان میدهند بعد از اینکه فلز پوشش داده شده، در محیط خورنده (مه آب نمک) قرار داده می شود بعد از مدت زمان یک روز، امیدانس پوشش های با PVC پائین ( $PVC < 40$ ) بیشتر شده و ظرفیت الکتریکی و ثابت دی الکتریک کاهش یافته و درصد مقدار آب عبوری از پوشش منفی شده است تصور اینکه در طی این مدت مقداری از آب درون پوشش وارد محیط شده باشد، منطقی نیست و می توان این پدیده را ناشی از آن دانست که احتمالاً آب محیط بر اثر پدیده اسمزی از طریق منافذ پوشش وارد شده ولی نمی تواند به سطح فلز برسد، در این حالت لایه ای از آب خالص که ثابت دی الکتریک آن کم است، در زیر نزدیکترین لایه پوشش به سطح تشکیل می شود که در حقیقت می توان اینچنین فرض کرد که ضخامت پوشش افزایش یافته و باعث می شود که امیدانس پوشش بیشتر و ثابت دی الکتریک آن کم شده است.

البته همچنان که ذکر شد این پدیده برای پوشش های با PVC پایین صادق می باشد زیرا در PVC های بالا آب جذب شده راحت تر در پوشش پراکنده شده (بزرگراههای آبی بیشتر شده) و به سطح فلز میرسد که در این حال امیدانس پوشش کم می شود و ثابت دی الکتریک آن افزایش می یابد. ولی در PVC های پایین به علت تراکم بیشتر از نظر ماتریس پلیمری و کم شدن بزرگراههای آبی و چسبندگی بیشتر پوشش به سطح فلز، آب در همان لایه های اولیه و نزدیک به سطح متوقف می شود و ایجاد یک لایه می کند همانطور که از نمودارهای (۳، ۲، ۱) پیداست مقاومت پوشش در زمانهای بالاتر با شدت کمتری نسبت به

زمانهای پایین تر کاهش می یابد که این احتمالا منتج شده از دو علت زیر باشد:

۱- نفوذ یون کلر از الکترولیت به داخل پوشش می تواند منجر به تشکیل کلرور روی شود و منافذ پوشش را مسدود نماید همچنین این احتمال وجود دارد که یونهای آهن ایجاد شده از واکنش آندی خوردگی نیز به داخل پوشش نفوذ کرده و با تجمع  $FeCl_2$  و یا  $FeCl_3$  این عمل را انجام دهد.

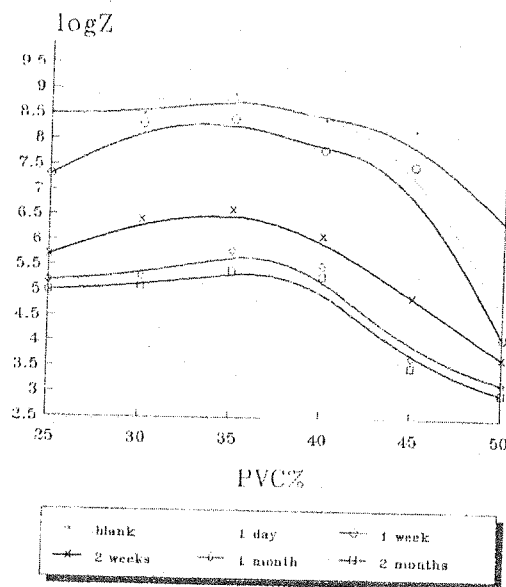
۲- به محض ورود آب یا عوامل خورنده به فیلم، آب تمایل به فرار خود از فیلم را از دست میدهد، و به همین علت نفوذ آب نسبت به زمانهای اولیه از شدت کمتری برخوردار است. نقش محصولات واکنشهای الکتروشیمیایی حاصل از پیگمانهای ضد خوردگی، که بر سطح فلز تشکیل می شوند، در بروز پدیده مزبور نیز مهم است. شایان ذکر است که این سیستم تا زمان مشخصی با مکانیزم مذکور عمل می کند و بعد از مدت زمان طولانی که پوشش خاصیت چسبندگی خود را از دست میدهد، نفوذ آب به مراتب بیشتر می شود [۲۲].

## نتیجه گیری

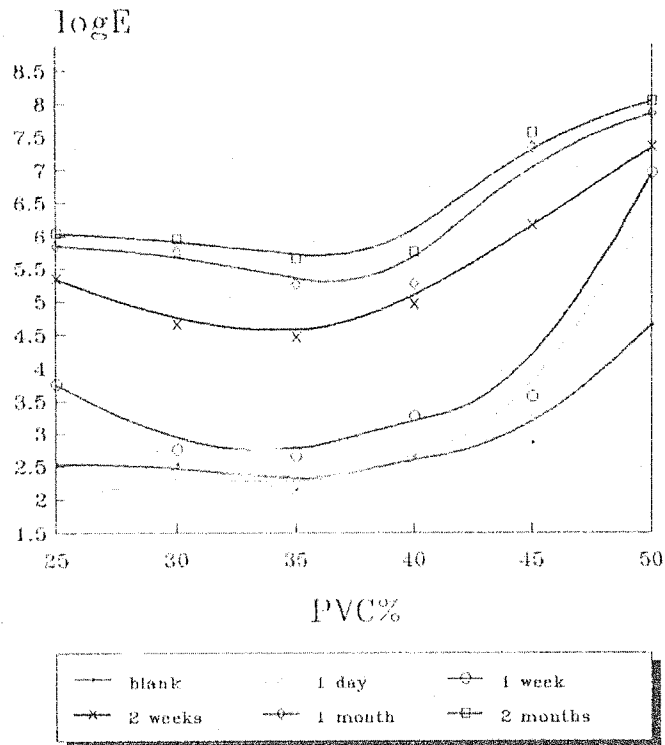
فرآیند خوردگی و تخریب پوشش اعمالی به چگونگی پدیده نفوذ مواد خورنده به داخل فیلم پوششی و عملکرد رزین و پیگمان محافظتی در محیط خورنده، بستگی دارد.

نتایج بدست آمده حاکی از آنست که:

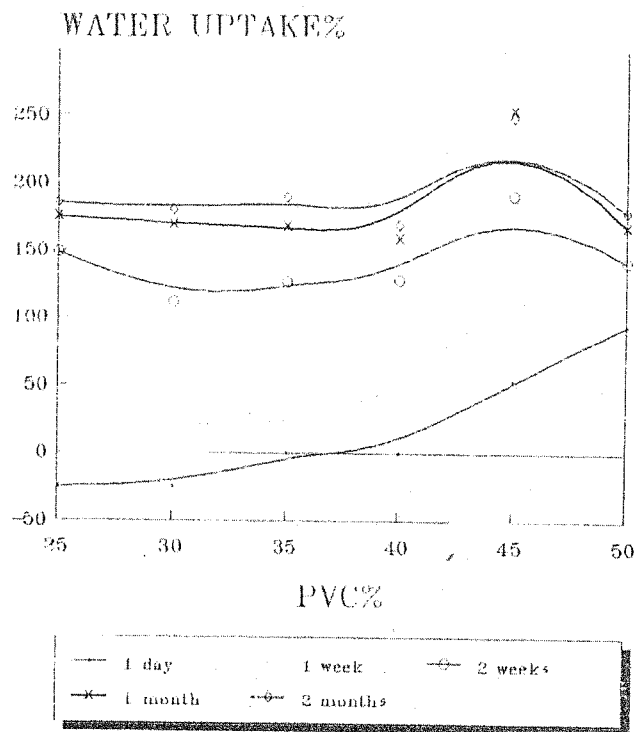
- ۱- چون آزمایشهای الکتروشیمیایی امیدانسان بر اساس اطلاعاتی چون ظرفیت الکتروود، ثابت دی الکتریک، آب نفوذی و کنتیکهای انتقال بار می باشد، این تکنیک می تواند اطلاعات مفیدی از مکانیزم پدیده در اختیار بگذارد و همچنین قابل قیاس با دیگر آزمایشهای متداول خوردگی بوده و نسبت به آنها از نظر صرفه جویی در زمان آزمایش برتری دارد.
- ۲- با توجه به مکانیزم گفته شده پیگمان محافظتی فسفات روی در محدوده غلظت حجمی ۳۰ تا ۴۰ بهترین عملکرد را از خود نشان می دهد.



نمودار (۱) منحنی  $LogZ$  در مقابل PVC برای پوشش اپوکسی استر با پیگمان فسفات روی در مه آب نمک.



نمودار (۲) منحنی LogE در مقابل PVC برای پوشش اپوکسی استر با پیگمان فسفات روی در مه آب نمک.



نمودار (۳) منحنی درصد water uptake در مقابل PVC برای پوشش اپوکسی استر با پیگمان فسفات روی در مه آب نمک.



- [1] G.V. Akimov, Onsovy uchenija o Korrozii zashtite Metallov, Metallurgizdat, Moscow, 1964.
- [2] M.I. Karyakian and AE. Kuzmak, J, Prog. in. org. Coat, 18(1990) 325.
- [3] Standish, J.V.; Leidheiser, Jr. H" The Electrical Properties of organic Coating on a Local Scale-Relation ship to Corrosion" Corrosion, 36 (1980) 390-395
- [4] Leidheiser, Jr. H. "towards a Better understanding of Corrosion Beneat organic Coatings" Corrosion, 39 (1983) 189-201
- [5] V.A. Kargin et al., Rep. USSR Acad. Sci., 170(1978)
- [6] M.I. Karyakina and V.E. Poptsov, the Technology of Polymer Coatings, Khimiya, Moscow, (1983)335.
- [7] J.E.O. Mayne, Trans. Inst Met. Finish, 41(1964)121.
- [8] J. Ruf, Farbe and Lack, 19(1973)22.
- [9] H. Wienand and W. Ostertag, Farbe and lack,88(1982)183. [9] J.R. Macdonald, J. Schoonman and A.P.Lehnen, J. Electroanal. Chem.131, 77(1982)
- [10] Mansfeld, F.; Kending, M.W.; Tsai, S. "Evaluation of Corrosion Behavior of coated Metals with AC Impedance Measurments", Corrosion 38 (1982)478-485.
- [11] Padget, J.C.; Moreland, P.J"use of AC Impedance in the study of the Anti corrosive properties of chlorine-Containing vinyl Acrylic latex Copolymers" J. Coating Tech. (1985)55.
- [12] A.S.L. Castela, A.M. Simoes, M.G.S. Ferreira, prog. Org. coat.38(1)(2001)1-7
- [13] E. Fehette, C. Compere and E. Ghali, Corrosin sci., Vol. 33, No.7, pp. 1067- 1081, 1992.
- [14] V.A. Murov and A.A. Schevchenko, Itogi Nauki Tekh., Korroz. Zashch. Korroz., 11(1986)54.
- [15] G.E. Zaikov, A.A. Iordanski and V.S. Mirkin, Diffusion of Electrolytes in polymers, khimiya, Moscow, (1984)296.
- [16] Standard Method of Saltspray (fog) Testing, B117-73(1979), Part 27. 1980 Annual Book of ASTM standards, American society for testing and Materials, Philadelphia, PA(1980).
- [17] G.A.M. Sussex, J.D. Scantlebury, JOCCA. 5(1983)142
- [18] J.E.O. Mayne, in: L.L. shreir et al. (Ed.), Corrosion Vol.2, Corrosion Control, Butterworth, London, 1976
- [19] H.Yasuda, Q.S. Yu, M. Chen, Prog. Org. Coat. 41(4)(2001)273,276
- [20] J.Ruf, Chimia, 27 (1973) 493
- [21] Anon., Paint Tenhnol., 34 (1940) 30.
- [22] C.Perez, A. Collazo, M. Izquierdo, P. Merino and X.R.Novoa, Corrosion 56(12)(2000)1231

