

# بررسی خواص پوشش محافظتی اپوکسی- پلی آمین تقویت شده با رنگدانه پرک شیشه در حضور رنگدانه اکسید آهن میکایی

رضا امینی<sup>i</sup>؛ علی اصغر سرابی<sup>ii</sup>

## چکیده

در مقاله حاضر نوعی پوشش محافظتی بر پایه رزین اپوکسی- پلی آمین شامل دو رنگدانه سدگر پرک شیشه و اکسید آهن میکایی در نظر گرفته شد و بر اساس سه متغیر نسبت رنگدانه به رزین کل، نسبت رنگدانه پرک شیشه کل به رنگدانه اکسید آهن میکایی و نسبت دو نوع رنگدانه پرک شیشه با اندازه ذرات متفاوت، با استفاده از طراحی آزمایش مکعب ویژه فرمول‌های متفاوتی ساخته شد. پس از اعمال نمونه‌های رنگ بر روی صفحه‌های فولادی شن‌پاشی شده شده، آزمون‌های متعددی چون تعیین میزان چسبندگی پوشش، مقاومت سایشی پوشش، مقاومت در برابر مه نمک و آزمون طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی بر روی پوشش انجام گرفت. سپس با توجه به نتایج آزمایش‌ها، مناسب‌ترین فرمول برای دستیابی به بهترین خواص پوشش مورد مطالعه ارائه شد.

## کلمات کلیدی

رزین اپوکسی، رزین پلی آمین، اکسید آهن میکایی، پرک شیشه، طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی.

## *Study of the Properties of an Epoxy-Polyamine Protective Coating Reinforced with Glass Flake Pigment in Presence of Micaceous Iron Oxide Pigment*

R. Amini, A. A. Sarabi

### ABSTRACT

In this paper, a protective coating based on epoxy-polyamine resin with two different pigments, micaceous iron oxide and glass flake, is investigated. Coating formulations are designed based on three variable parameters: "pigment to total resin" ratio, "total glass flake pigment to MIO pigment" ratio and ratio of "two different particle size GF pigments". Special Cubic experimental design is used to minimize the number of experiments. The samples are applied on sand-blasted steel plates. Various tests like as evaluation of adhesion, abrasion resistance of coatings, salt spray resistance and electrochemical impedance spectroscopy are performed. Regarding to the obtained results, the optimum formulation which provides the coating with appropriate properties, is achieved.

### KEYWORDS

Epoxy resin, Polyamine resin, Micaceous Iron Oxide, Glass Flake, Electrochemical Impedance Spectroscopy.

<sup>i</sup> دانشجوی دکتری مهندسی پلیمر- صنایع رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر: rezaamini@aut.ac.ir

<sup>ii</sup> عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی پلیمر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر: sarabi@aut.ac.ir

## ۲-۱- مواد

برای ساخت پوشش مورد مطالعه به صورت پر جامد از رزین اپوکسی مایع D.E.R.358 محصول شرکت DOW، سخت کننده پلی آمین RUTADUR ADDUCT H550/L محصول شرکت BAKELITE، رنگدانه اکسید آهن میکایی (MIO) به نام EURO MICA AS محصول شرکت DETTER Grade GF005، رنگدانه های پرک شیشه MINERALIEN Grade GF300M و محصولات شرکت GLASS FLAKE LIMITED استفاده شد.

همچنین برای رقیق کردن رزین اپوکسی از رقیق کننده Cardura E10 محصول شرکت SHELL استفاده شد. از ضد کف efka-2722 محصول شرکت EFKA و غلظت دهنده HDK N20 محصول شرکت WACKER نیز در فرمول استفاده شد.

## ۲-۲- طراحی آزمایش [۷]

برای انجام کارهای عملی از یک طراحی آزمایش به نام مکعب ویژه یا Special Cubic استفاده شد. سه متغیر نسبت رنگدانه به رزین کل ( $X_1$ ) و نسبت رنگدانه GF کل به رنگدانه MIO ( $X_2$ ) و نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> ( $X_3$ ) در نظر گرفته شد که خطوط همتراز مربوط به هر خاصیت براساس معادله آن در یک مثلث متساوی الاضلاع رسم می شود.

محدوده تغییرات عامل نسبت رنگدانه به رزین کل ۲۶/۲٪-۸/۸٪ و محدوده تغییرات عامل نسبت رنگدانه GF کل به رنگدانه MIO از صفر تا یک است. در نقطه صفر محور  $X_2$  مقدار رنگدانه GF کل صفر و مقدار رنگدانه MIO یک است و در نقطه یک محور  $X_2$  مقدار رنگدانه GF کل یک و مقدار رنگدانه MIO صفر است.

محدوده تغییرات عامل نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> نیز از صفر تا یک است. در نقطه صفر محور  $X_3$  مقدار رنگدانه GF<sub>1</sub> صفر و مقدار رنگدانه GF<sub>2</sub> یک است و در نقطه یک محور  $X_3$  مقدار رنگدانه GF<sub>1</sub> یک و مقدار رنگدانه GF<sub>2</sub> صفر است. نمونه یک مثلث متساوی الاضلاع در شکل (۱) آمده است. هفت نقطه برای به دست آوردن ضرایب معادله و سه نقطه دیگر برای محاسبه خطای معادله است. معادله به صورت زیر است:

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3$$

که در آن تعریف شده است:

یکی از سازوکارهای مختلف که برای محافظت از فلز در برابر خوردگی در پوششهای آلی به کار می رود، استفاده از رنگدانه های ضد خوردگی است [۱-۳]. این سازوکارها عبارتند از:

۱. اثر ممانعتی فیلم یا محمل
۲. اثر ممانعتی رنگدانه
۳. استفاده از رنگدانه های سدگر فعال معدنی
۴. افزایش کارایی محمل
۵. رنگدانه های فدا شونده

رنگدانه ها عموماً به عنوان مواد ایجاد فام و پوشش شناخته می شوند؛ ولی رنگدانه ها برای مقاصد ویژه زیادی کاربرد دارند که یکی از آنها محافظت فلز است. بیشتر رنگدانه ها مقداری اثر ممانعتی دارند و علاوه بر آن ساختار فیلم را تقویت نموده، و نفوذپذیری را کاهش می دهند. تعدادی از این رنگدانه ها نظیر میکا و اکسید آهن میکایی یا پولک های فلزی آلومینیوم و برنز و همچنین پرک شیشه به رنگدانه های ورقه ای معروف هستند و این رنگدانه ها در فیلم رنگ با حالت ورقه ای خود، موازی با سطح چیده می شوند و موجب مسدود شدن نفوذ آب و اکسیژن در برابر دیوار مسطح و نازک می گردد؛ بنابراین آب مسیری طولانی را تا رسیدن به سطح فلز باید طی کند.

از جمله رنگدانه های ورقه ای، پرک شیشه است که به عنوان رنگدانه ممانعت کننده در سیستم پوشش ضد خوردگی به کار می رود. ساختار شیمیایی پرک شیشه بر اساس تولیدات شرکت های مختلف، متفاوت بوده و دارای محدوده ای از ترکیب درصد عناصر تشکیل دهنده است. بسته به نوع استفاده و کاربرد در صنایع مختلف، ابعاد و ضخامتهای متفاوتی از پرک شیشه مورد استفاده قرار می گیرند [۴].

از جمله رنگدانه های ورقه ای دیگر که همانند پرک شیشه با سازوکار ممانعتی برای محافظت از فلز در برابر خوردگی در پوشش های آلی مورد استفاده قرار می گیرد، رنگدانه اکسید آهن میکایی است. اکسید آهن میکایی یک شکل طبیعی ایجاد شده هماتیت با محتوای  $Fe_2O_3$  تقریباً ۹۲ تا ۹۵ درصد و مابقی سیلیس ( $SiO_2$ ) است [۵، ۶].

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر حضور همزمان دو رنگدانه ممانعتی اکسید آهن میکایی (MIO) و پرک شیشه در فرمولاسیون پوشش اپوکسی- پلی آمین، و بررسی تنوع اندازه ذرات رنگدانه پرک شیشه بر روی مقاومت پوشش مورد مطالعه در برابر خوردگی است.

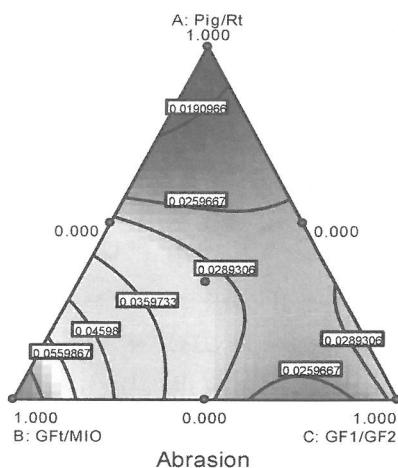
استاندارد [۹] به وسیله دستگاه TABER ABRASER مدل ۱۵۵ شرکت BRAIVE انجام گرفت و عددی که گزارش شد، درصد کاهش وزن نمونه پس از انجام آزمون سایش است. آزمایش چسبندگی بر اساس استاندارد [۱۰] به وسیله دستگاه Pull-off مدل ۱۰۸ شرکت Elcometer و آزمایش مه نمک بر اساس استاندارد [۱۱] به وسیله دستگاه Salt spray tester مدل SF/IPUSO/C شرکت C+W انجام شد و عددی که گزارش شد اولین ساعات شروع به خوردگی پوشش در نظر گرفته شد. آزمایش‌های طیف‌سنجی ایمپدانس الکتروشیمیایی جریان متناوب نیز برای هر یک از نمونه‌ها با استفاده از دستگاه AUTOLAB G12 صورت پذیرفت.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- نتایج آزمایش سایش

نتایج آزمایش سایش در شکل (۲) آمده است. براساس خطوط هم‌تراز مربوط به آزمون سایش، با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل درصد کاهش وزن کاهش پیدا می‌کند. این بدان معناست که با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل مقاومت سایشی افزایش می‌یابد. علت این امر آن است که با افزایش نسبت رنگدانه به رزین مسأله منجر به افزایش مقاومت پوشش در برابر سایش می‌گردد. همچنین با افزایش میزان حضور رنگدانه MIO در سیستم نیز درصد کاهش وزن، کاهش پیدا می‌کند که این به معنی افزایش مقاومت سایشی پوشش در اثر افزایش میزان رنگدانه MIO در پوشش است [۶].

براساس خطوط کانتور مربوط به آزمون سایش نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> تأثیر چندانی بر روی مقاومت سایشی پوشش ندارد.



شکل (۲): نمودار آزمایش سایش

Y: واکنش (چسبندگی، مقاومت سایشی، ...)

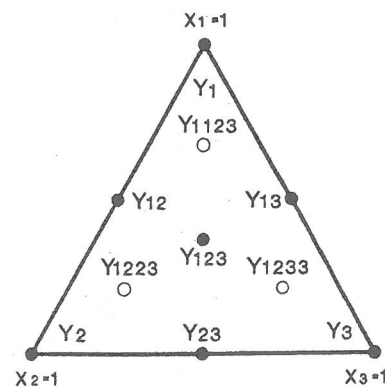
$b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ : ضرایب معادله

$X_1$ : نسبت رنگدانه به رزین کل

$X_2$ : نسبت رنگدانه GF به رنگدانه MIO

$X_3$ : نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub>

همان‌طور که در شکل (۱) دیده می‌شود، محور  $X_1$  از  $X_1=0$  در سمت راست قاعده مثلث تا  $X_1=1$  در بالا (نوک مثلث) تغییر می‌کند. محور  $X_2$  از  $X_2=0$  در بالا (نوک مثلث) تا  $X_2=1$  در سمت چپ قاعده مثلث تغییر می‌کند. محور  $X_3$  از  $X_3=0$  در سمت چپ قاعده مثلث تا  $X_3=1$  در سمت راست قاعده مثلث تغییر می‌کند. برای رسم کانتورها و به دست آوردن نقاط بهینه در مثلث مکعب ویژه از نرم افزار Stat-Ease استفاده شد.



شکل (۱): مثلث مکعب ویژه

#### ۳-۲- فرمول‌سازی و روش انجام آن

بر اساس طراحی آزمایش فرمول‌های متفاوتی ساخته شد که در جدول (۱) آمده است.

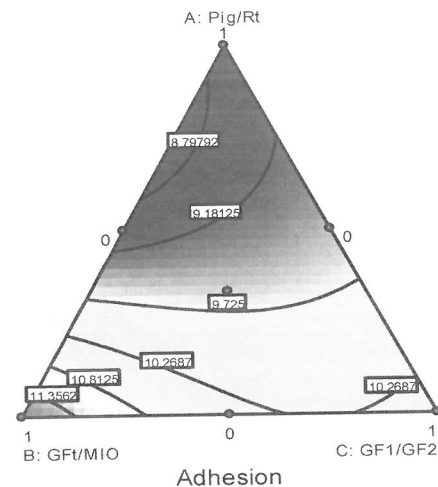
پس از ساختن هر یک از نمونه‌ها، با استفاده از اسپری معمولی این نمونه‌ها با ضخامت  $5 \pm 14$  میکرون بر روی ورقهای فولادی از جنس ST37 شن پاشی شده، با ابعاد  $16 \times 11$  سانتی‌متر مربع اعمال گردید. نحوه آماده‌سازی ورق‌های مزبور با توجه به استاندارد [۸] صورت گرفته است. اعمال این پوشش‌ها در شرایط آزمایشگاهی در دمای  $2 \pm 23$  درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی  $5 \pm 50$  درصد انجام گرفته است. پس از گذشت یک هفته تا ده روز از اعمال پوشش و نگهداری آن در همین شرایط، آزمایش‌های مورد نظر بر روی فیلم خشک انجام گرفت.

#### ۲-۴- آزمایش‌ها

ضخامت پوشش‌ها با استفاده از یک دستگاه ضخامت‌سنج دیجیتال مدل ۱۵۰۰ محصول شرکت آزمایش سایش بر اساس

### ۳-۲- نتایج آزمایش چسبندگی

نتایج آزمایش چسبندگی در شکل (۳) آمده است. براساس خطوط همتراز مربوط به آزمون چسبندگی با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل میزان چسبندگی کاهش می‌یابد که علت این امر کاهش میزان رزین کل در سیستم است. از آنجا که چسبندگی از جمله خواصی است که به واسطه حضور رزین در سیستم معنا پیدا می‌کند؛ بنابراین کاهش میزان رزین منجر به کاهش چسبندگی خواهد شد. همچنین با افزایش میزان حضور رنگدانه MIO در سیستم میزان چسبندگی کاهش می‌یابد که این موضوع به دلیل دانسیته بالای ذرات MIO است که پس از اعمال پوشش در اثر دانسیته بالایی که دارند با ساختار ورقه‌ای خود در پایین‌ترین قسمت پوشش در تماس با سطح فلز قرار می‌گیرند و در نقاط بسیار زیادی از تماس مستقیم رزین با سطح جلوگیری می‌کنند و در نتیجه چسبندگی پوشش را به سطح فلز کاهش می‌دهند [۶]. براساس خطوط کانتور مربوط به آزمون چسبندگی نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به GF<sub>2</sub> تأثیر چندانی بر روی میزان چسبندگی پوشش ندارد. البته به صورت مقایسه‌ای با افزایش نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> میزان چسبندگی تا حدی کاهش می‌یابد.

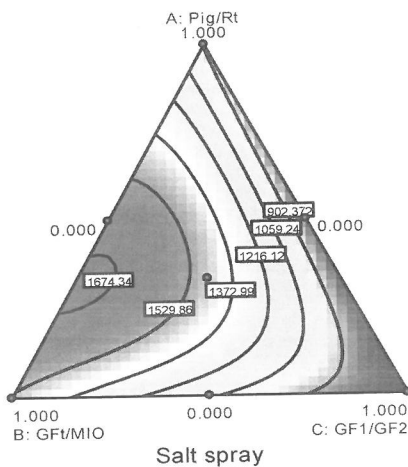


شکل (۳): نمودار آزمایش چسبندگی

### ۳-۳- نتایج آزمایش مه نمک

نتایج آزمایش مه نمک در شکل (۴) آمده است. براساس خطوط همتراز مربوط به آزمون مه نمکی، با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل، میزان مقاومت در شرایط آزمون مه نمکی افزایش می‌یابد؛ زیرا با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل، پوشش مانع قوی‌تری ایجاد می‌شود که مسیر عبور و نفوذ رطوبت و یون‌های خورنده را طولانی‌تر می‌کند و شروع خوردگی را به تأخیر می‌اندازد. همچنین با افزایش میزان

حضور رنگدانه MIO در سیستم میزان مقاومت در شرایط آزمون مه نمکی کاهش می‌یابد. البته می‌توان یک درصد وزنی بهینه برای حضور رنگدانه MIO در سیستم پیدا کرد که در آن درصد وزنی، پوشش بالاترین مقاومت را در شرایط آزمون مه نمکی داشته باشد؛ اما به طور کلی از آن جایی که رنگدانه MIO یک نوع هماتیت Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> است و در ساختار آن یون Fe<sup>3+</sup> وجود دارد، در بعضی مواقع یون فریک موجود می‌تواند با گرفتن الکترون و انجام واکنش کاتیی  $Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$  تبدیل به یون فرو شود و باعث شود که فلز زمینه دستخوش واکنش آندی  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$  شود و خوردگی آغاز گردد؛ بنابراین خود رنگدانه MIO در بعضی مواقع می‌تواند با انجام واکنش کاتیی، خوردگی فلز بستر را تسریع کند [۱۲، ۱۲، ۶]. براساس خطوط کانتور مربوط به آزمون مه نمکی با افزایش نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> میزان مقاومت در شرایط آزمون مه نمکی کاهش می‌یابد. این موضوع را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که به کارگیری رنگدانه GF با اندازه ذرات کوچک‌تر GF<sub>2</sub> در پوشش منجر به طولانی‌تر شدن مسیر عبور و نفوذ رطوبت و یون‌های خورنده خواهد شد و زمان شروع خوردگی را بیشتر به تأخیر می‌اندازد.



شکل (۴): نمودار آزمایش مه نمک

### ۳-۴- نتایج آزمایش طیف سنجی الکتروشیمیایی

#### امپدانس جریان متناوب

نتایج آزمایش الکتروشیمیایی امپدانس جریان متناوب در شکل (۵) آمده است. براساس خطوط همتراز مربوط به آزمون امپدانس جریان متناوب با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل در یک محدوده میانی مقاومت پلاریزاسیون افزایش می‌یابد و پس از گذر از محدوده میانی با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل این مقاومت کاهش می‌یابد؛ بنابراین در یک درصد وزنی

#### ۴- بهینه سازی

اگر مقدار سایش، چسبندگی، مه نمکی و مقاومت پلاریزاسیون را در محدوده قابل قبولی انتخاب کنیم، آنگاه می‌توان در مثلث مکعب ویژه محدوده‌ای را یافت که خواص هر نقطه از آن در محدوده قابل قبول قرار دارد.

برای فرمول‌سازی حاضر محدوده‌ای که تعیین شده به صورت زیر است:

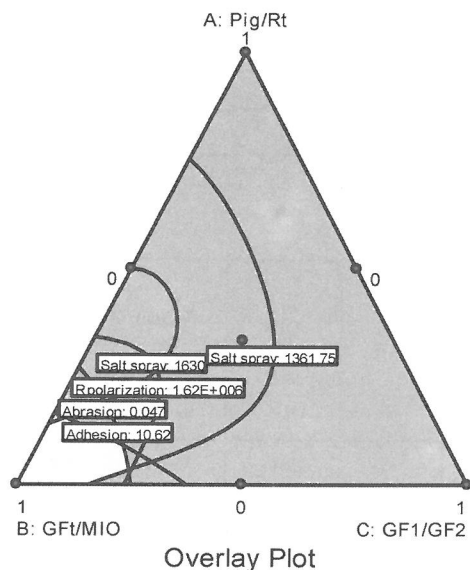
سایش (درصد):  $0.047 - 0.076$

چسبندگی (مگا پاسکال):  $10.62 - 11.9$

سالت اسپری (ساعت):  $1361.75 - 1361.75$

مقاومت پلاریزاسیون (مگا اهم):  $1.62E+006 - 3.7$

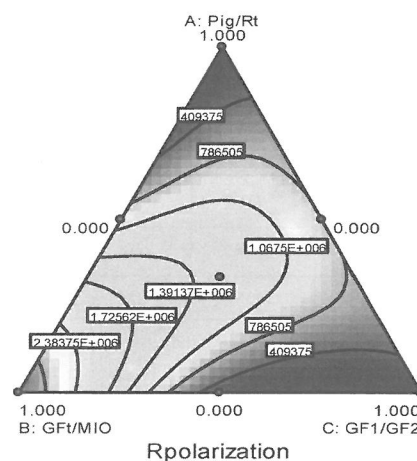
محدوده بهینه تغییرات نسبت رنگدانه به رزین کل و نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> کل به رنگدانه MIO و نسبت رنگدانه GF<sub>2</sub> به رنگدانه GF<sub>1</sub> در شکل (۴) آمده است.



#### ۵- نتیجه گیری

در این مقاله سه عامل نسبت رنگدانه به رزین کل، نسبت رنگدانه پرک شیشه کل به رنگدانه اکسید آهن میکایی (MIO) و نسبت دو نوع رنگدانه پرک شیشه با اندازه ذرات متفاوت مورد بررسی قرار گرفت؛ از میان این سه عامل، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر روی خواص فیزیکی- شیمیایی پوشش مورد مطالعه، نسبت رنگدانه پرک شیشه کل به رنگدانه اکسید آهن میکایی است. به صورتی که حضور رنگدانه MIO در کنار رنگدانه پرک شیشه، مقاومت به خوردگی را به شدت افزایش می‌دهد.

بهینه از رنگدانه MIO می‌توان به مقاومت بالایی در پوشش دست یافت [۱۳]. این امر چنین توجیه می‌شود که در درصدی وزنی پایین MIO، به دلیل وجود خلل و فرج بین ذرات MIO، نفوذ رطوبت و یون‌های خورنده از داخل پوشش به راحتی صورت می‌گیرد و به تبع آن مقاومت پوشش کاهش می‌یابد. اما در درصدی وزنی بالای MIO، شرایط کمی متفاوت است. در درصدی وزنی بالای MIO به دلیل ایجاد پیل گالوانیکی که در آن ذرات MIO که تعداد آنها خیلی زیاد است به صورت یک توده‌ای درآمده، واکنش کاتدی  $Fe^{2+} + e^- \rightarrow Fe^{3+}$  را همان‌طور که در قبل نیز آمد، انجام می‌دهند و باعث می‌شوند که فلز بستر نیز واکنش آندی  $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$  را انجام دهد و خوردگی مجدداً آغاز شود و ادامه پیدا کند؛ بدین ترتیب، مقاومت پلاریزاسیون پوشش کاهش می‌یابد [۱۳، ۶]. همچنین با کاهش میزان حضور رنگدانه MIO در سیستم و افزایش میزان حضور رنگدانه GF نیز مقاومت پلاریزاسیون افزایش می‌یابد که علت اصلی این موضوع، ایجاد یک مانع قوی است که به دلیل تنوع اندازه ذرات یک ساختار کاملاً محکم و تقویت شده پیدا کرده است و با حضور رنگدانه GF در سیستم مسیر عبور و نفوذ رطوبت و یون‌های خورنده در پوشش طولانی‌تر شده است و شروع خوردگی به تأخیر افتاده است [۱۴، ۱۲]. براساس خطوط هم‌تراز مربوط به آزمون امپدانس جریان متناوب، دو نسبت رنگدانه به رزین کل و رنگدانه GF کل به رنگدانه MIO تقریباً به یک میزان بر روی آزمون امپدانس جریان متناوب تأثیرگذارند؛ اما تأثیر نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> بر روی آزمون امپدانس جریان متناوب به طور چشمگیری قابل توجه است. علت این امر تشکیل یک سیستم مانع (barrier) در این شرایط است که تقریباً به صورت یک عایق بر روی فلز عمل می‌کند و دارای مقاومت پلاریزاسیون بسیار بالایی است [۱۴].



شکل (۵): نمودار آزمایش امپدانس جریان متناوب

با افزایش میزان حضور رنگدانه MIO در پوشش مقاومت سایشی پوشش افزایش می‌یابد و با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل نیز مقاومت سایشی افزایش پیدا می‌کند؛ اما نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> تأثیر چندانی بر روی مقاومت سایشی پوشش ندارد.

با افزایش میزان حضور رنگدانه MIO در پوشش میزان چسبندگی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل میزان چسبندگی کم می‌شود. و این در حالی است که نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> تأثیر چندانی بر روی میزان چسبندگی پوشش ندارد.

با افزایش میزان حضور رنگدانه MIO در پوشش میزان مقاومت در شرایط آزمون مه نمکی کاهش می‌یابد؛ البته می‌توان یک درصد وزنی بهینه برای حضور رنگدانه MIO در پوشش پیدا کرد که در آن درصد وزنی، پوشش بالاترین مقاومت را در شرایط آزمون مه نمکی داشته باشد. با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل میزان مقاومت در شرایط آزمون مه نمکی افزایش می‌یابد، در حالی که با افزایش نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> این میزان کاهش می‌یابد.

با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل در محدوده میانی، مقاومت پلاریزاسیون افزایش می‌یابد و پس از گذر از محدوده

میانی با افزایش نسبت رنگدانه به رزین کل این مقاومت کاهش می‌یابد؛ یعنی در یک درصد وزنی بهینه از رنگدانه MIO می‌توان به مقاومت بالایی در پوشش دست یافت. همچنین با کاهش میزان حضور رنگدانه MIO در سیستم و افزایش میزان حضور رنگدانه پرک شیشه نیز مقاومت پلاریزاسیون افزایش می‌یابد. اما مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر مقاومت پلاریزاسیون، نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> است.

همچنین بهترین خواص فیزیکی- شیمیایی پوشش مورد مطالعه، در محدوده تغییرات نسبت رنگدانه به رزین کل در محدوده ۱۱-۸/۸ درصد و نسبت رنگدانه پرک شیشه کل به رنگدانه اکسید آهن میکایی در محدوده ۱۰۰-۸۱/۲۵ درصد و نسبت رنگدانه GF<sub>1</sub> به رنگدانه GF<sub>2</sub> در محدوده ۲۷-۰ درصد حاصل شد.

## ۶- تقدیر و تشکر

از همکاری صمیمانه مسئولان محترم دانشکده مهندسی پلیمر دانشگاه صنعتی امیرکبیر، همچنین همراهی بی‌وقفه آقایان مهندس محمد فراهانی، مهندس مرتضی گنجایی و مهندس مجید احمدی تشکر و قدردانی می‌شود.

جدول (۱): فرمول انواع نمونه‌ها

نمونه	P/R <sub>t</sub> X <sub>1</sub>	GF <sub>1</sub> /MIO X <sub>2</sub>	GF <sub>1</sub> /GF <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	رنگدانه P	GF <sub>1</sub>	MIO	GF <sub>1</sub>	GF <sub>2</sub>	رزین کل R <sub>t</sub>	رقیق کننده D	هاردرن H
Y <sub>1</sub>	۱	۰	۰	۲۰۶	۰	۲۰۶	۰	۰	۷۸۷/۴	۸۳/۱	۲۶۶/۹
Y <sub>۲</sub>	۰	۱	۰	۸۰	۸۰	۰	۰	۸۰	۹۱۲/۳	۹۶/۳	۳۰۹/۱
Y <sub>۳</sub>	۰	۰	۱	۸۰	۰	۸۰	۰	۰	۹۱۲/۳	۹۶/۳	۳۰۹/۱
Y <sub>۱۲</sub>	۰/۵	۰/۵	۰	۱۴۷/۸	۷۳/۹	۷۳/۹	۰	۷۳/۹	۸۴۴/۷	۸۹/۱	۲۸۶/۳
Y <sub>۱۳</sub>	۰/۵	۰	۰/۵	۱۴۷/۸	۰	۱۴۷/۸	۰	۰	۸۴۴/۷	۸۹/۱	۲۸۶/۳
Y <sub>۲۳</sub>	۰	۰/۵	۰/۵	۸۰	۴۰	۴۰	۲۰	۲۰	۹۱۲/۳	۹۶/۳	۳۰۹/۱
Y <sub>۱۲۳</sub>	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۱۲۶/۴	۴۲/۱	۸۴/۳	۱۴	۲۸	۸۶۶	۹۱/۴	۲۹۳/۵
Y <sub>۱۱۲۳</sub>	۰/۶۶	۰/۱۷	۰/۱۷	۱۶۸/۱	۲۸	۱۴۰/۱	۴/۷	۲۳/۳	۸۲۴/۳	۸۷	۲۷۹/۳
Y <sub>۱۲۳۳</sub>	۰/۱۷	۰/۶۶	۰/۱۷	۱۰۳/۹	۶۹/۳	۳۴/۶	۱۱/۵	۵۷/۸	۸۸۸/۵	۹۳/۸	۳۰۱/۱
Y <sub>۱۱۲۳۳</sub>	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۶۶	۱۰۳/۹	۱۷/۳	۸۶/۶	۱۱/۵	۵/۸	۸۸۸/۵	۹۳/۸	۳۰۱/۱

- ASTM D4060-90; Standard test method for abrasion resistance of organic coatings by the taber abraser. [۹]
- ASTM D4541-85; Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers [۱۰]
- ASTM B117; ASTM American Society for Testing of Materials. ASTM B117-07a Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, 2007 [۱۱]
- Hochmannova, Libuse; Zinc-Rich Primers With Micaceous Iron Oxide; Industrial Paint and Powder; 2004, Vol 80, No.4, pp 27-32. [۱۲]
- رضا امینی، علی اصغر سرابی، سید محمود کتیریا، بررسی مقاومت به خوردگی پوشش اپوکسی حاوی پیگمنت اکسید آهن میکایی (MIO) با استفاده از ایمپدانس الکتروشیمیایی (EIS)، هفتمین سمینار ملی مهندسی سطح و عملیات حرارتی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۸۵. [۱۳]
- داود زارعی، علی اصغر سرابی، بررسی خواص شیمیایی و الکتروشیمیایی یک نوع پوشش ضد خوردگی سایش و ضربه بر پایه اپوکسی-پرک شیشه، نشریه امیرکبیر، سال چهاردهم، شماره ۵۳، زمستان ۱۳۸۱. [۱۴]
- J. E. O. Mayne; RANS.INST.MET.FINISH; 41 (1964) 121. [۱]
- Heinz Barnert, Otto Stolz; Lamellar Micaceous Iron Oxide for Anti-corrosive Coatings; Eurocoat, 1991, Vol. 11, pp 728-739. [۲]
- G. Greenwood-Sole and C. J. Watkinson; New Glass Flake Coating Technology for Offshore Applications; Corrocoat Ltd, 2004. [۳]
- Glass Flake Limited Catalogue; Glass Flake; 2000. [۴]
- Stephen G. Fannin BSc, GrSc; Specifications of Coatings Containing Micaceous Iron Oxide Pigments; JCPL-PMC; July 1999. [۵]
- NAYAK Chinmaya; Role of Micaceous Iron Oxide in Protective Coatings; Paint India; 2002, Vol. 52, No. 11, pp 57-72. [۶]
- R.Woodbridge; Principles of paint formulation; Chapman and Hall; 1991. [۷]
- ASTM D609-95; Standard Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products ASTM International ; 15-Apr-1995 ; 2 pages. [۸]

