

## بررسی دو ترکیب آلی دارای گروه عاملی نیترو به عنوان محافظ موقت خوردگی فولاد

فریبرز اتابکی<sup>۱\*</sup> و مهران رادور<sup>۲</sup>

۱- استادیار دانشکده شیمی کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران  
۲- کارشناس ارشد دانشکده شیمی کاربردی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان، ایران

دریافت: خرداد ۱۳۹۶، بازنگری: آبان ۱۳۹۶، پذیرش: آبان ۱۳۹۶

**چکیده:** قطعه‌های فولادی را می‌توان با استفاده از پوشش‌های محافظ موقت در برابر خوردگی اتمسفری محافظت کرد. بازدارنده‌ها به‌عنوان یکی از اجزای پوشش محافظ موقت، با جذب شدن بر سطح فلز، مکان‌های فعال سطح را اشغال کرده و در نتیجه سرعت خوردگی را کاهش می‌دهند. در این پژوهش، دو ترکیب ۳- نیتروفنیل مالنامیک اسید (NPMA) و ۲و۴- دی نیتروفنیل مالنامیک اسید (DNPMA) تهیه و هر دو ترکیب به‌وسیله طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FT-IR) شناسایی شدند. بازده تهیه NPMA و DNPMA به ترتیب ۸۰٪ و ۸۴٪ به‌دست آمد. در ادامه، عملکرد این ترکیب‌ها به‌عنوان بازدارنده خوردگی مورد بررسی قرار گرفته به طوری که از آن‌ها در پوشش موقت محافظ روغنی استفاده شده است. برای این منظور، بازدارنده‌های تهیه‌شده با غلظت‌های ۳۰۰ تا ۳۶۰۰ ppm به روغن افزوده و به‌عنوان پوشش محافظ موقت برای پوشش‌دهی سطوح نمونه‌های فولاد نرم به کار گرفته شدند. قطعه‌های پوشش داده شده درون اتاقکی با رطوبت نسبی ۱۰۰٪ و بر اساس ASTM D1748، قرار داده و بازدارندگی خوردگی آن‌ها به کمک میکروسکوپ نوری و روش کاهش وزن بررسی شد. نتایج بیانگر تأثیر قابل توجه پوشش‌های دارای بازدارنده در کاهش خوردگی است. غلظت بهینه بازدارنده‌ها ۹۰۰ ppm بود و بازدارنده DNPMA عملکرد بهتری از خود نشان داد.

**واژه‌های کلیدی:** خوردگی اتمسفری، بازدارنده خوردگی، پوشش محافظ موقت، فولاد نرم

### مقدمه

نیست و به‌سادگی دچار خوردگی می‌شود [۳]. باتوجه به کاربرد گسترده فولاد و نداشتن مقاومت آن در مقابل خوردگی، سالانه خسارات مالی و جانی بسیاری به‌وجود می‌آید. این موضوع باعث توجه بسیاری از افراد و نهادها به پدیده خوردگی شده و این پدیده را به یکی از موضوع‌های مهم در صنعت تبدیل کرده است [۴ تا ۷]. به منظور کاهش این خسارات و افزایش کارایی فولاد می‌بایست از روش‌های جلوگیری از خوردگی استفاده کرد. چندین

فولاد به دلیل ویژگی مکانیکی عالی و قیمت مناسب یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین آلیاژها است. از جمله کاربردهای فولاد می‌توان به استفاده در ساخت واکنشگاه‌های شیمیایی، دیگ بخار<sup>۱</sup>، تانک‌های ذخیره‌سازی، برج‌های تقطیر، لوله‌های انتقال نفت و گاز، صنعت خودروسازی، سازه‌های فلزی، ابزارآلات و لوازم خانگی و ... اشاره کرد [۱ و ۲]. فولاد در مقابل پدیده خوردگی<sup>۲</sup> مقاوم

1. Boiler 2. Corrosion

دارای یک یا چند هترواتم نیتروژن هستند. از جمله این ترکیبها می توان به ترکیبات ایمیدازولین [۲۴ و ۲۵]، بنزایمیدازول [۲۶]، تترازولیوم [۲۷]، پیریدین [۲۸]، بی پیرازول [۲۹]، پلی آنیلین [۳۰] و تیواوره [۳۱] اشاره کرد. فی<sup>۶</sup> و همکارانش نمک ایمیدازولین را به عنوان یک ترکیب آلی مناسب برای جلوگیری از خوردگی گزارش کردند. این نمک دارای اتم نیتروژن و گروه عاملی COO<sup>-</sup> است که نقش مهمی در عملکرد بازدارنده ایفا می کند [۳۲].

هدف از این پژوهش، بررسی عملکرد بازدارندگی خوردگی ترکیبهای ۳- نیتروفنیل مالئامیک اسید (NPMA) و ۴و۲- دی نیتروفنیل مالئامیک اسید (DNPMA) است، که با وجود گروههای عاملی و ساختار مناسب، تاکنون به عنوان بازدارنده خوردگی در هیچ محیط و شرایطی مورد استفاده قرار نگرفته اند. این دو ترکیب به عنوان بازدارندههای خوردگی در پوششهای محافظ موقت روغنی برای فولاد نرم در معرض شرایط اتمسفری قرار گرفته اند. همچنین، برای بررسی نتایج از محاسبه های کاهش وزن و تصویربرداری با میکروسکوپ نوری استفاده شده است.

### بخش تجربی

مواد

فلز مورد استفاده در این پژوهش از نوع فولاد نرم است که به صورت قطعههایی در ابعاد ۲۰ mm × ۱۰ mm با ضخامت ۱ mm برش و سپس، با کاغذهای سمباده به شماره ۴۰۰، ۸۰۰، ۱۲۰۰ و ۲۴۰۰ صیقل داده شدند. پس از آن قطعههای برش داده شده با اتانول و آب دوبار تقطیر شده شستشو شدند. درصد عناصر موجود در فولاد استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است. روغن صنعتی به کار رفته در این پژوهش که ویژگیهای فیزیکی آن در جدول ۲ بیان شده، از نوع (SN500SAE40) و تولید شرکت نفت سپاهان بود. ترکیبهای شیمیایی ۳- نیترو آنیلین، ۴و۲- دی نیترو آنیلین، مالئیک انیدرید، دی متیل فرامید (DMF) و متانول از شرکت مرک<sup>۷</sup> تهیه و مورد استفاده قرار گرفتند.

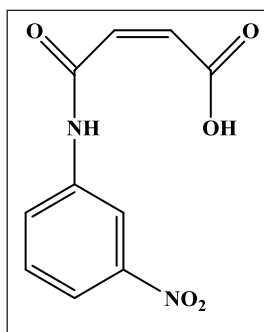
روش برای جلوگیری یا کاهش خوردگی وجود دارد که با توجه به شرایط و نوع خوردگی مورد نظر، مناسبترین روش جلوگیری از خوردگی انتخاب می شود. یکی از انواع خوردگی که بسیار متداول است، خوردگی اتمسفری<sup>۱</sup> است [۸]. قطعهها و صفحههای فولادی در زمان ساخت، انبارداری و یا حمل و نقل ممکن است دچار خوردگی اتمسفری شوند. یکی از روشهای جلوگیری از خوردگی اتمسفری قطعهها و صفحههای فولادی استفاده از پوششهای محافظ موقت<sup>۲</sup> است. ویژگی مهم این پوششها چگونگی اعمال و همچنین، پاک کردن راحت آن از سطح فلز است که استفاده از آن را بسیار ساده کرده است. از پوششهای محافظ موقت برای جلوگیری از خوردگی اتمسفری در مراحل تولید یا انبارداری و پیش از اعمال پوشش دائمی استفاده می شود. یکی از متداولترین پوششهای محافظ موقت روغن صنعتی است. روغن به صورت قابل توجهی مقدار خوردگی اتمسفری را کاهش می دهد. روغن همانند سدی در مقابل عوامل خوردنده قرار می گیرد و از نزدیک شدن این عوامل به سطح فلز جلوگیری می کند. افزایش بازدارنده خوردگی<sup>۳</sup> به روغن عملکرد پوشش را افزایش داده و در کاهش خوردگی فلز مؤثر است [۹ و ۱۰]. بازدارندهها به طور معمول ترکیبهای آلی شامل یک یا چند ناجوراتم<sup>۴</sup> با چگالی الکترونی بالا همانند اکسیژن، نیتروژن، فسفر، گوگرد و پیوندهای غیراشباع و حلقههای آروماتیک و همچنین، گروههای عاملی هستند [۱۱ تا ۱۵]. این ترکیبها از طریق جذب<sup>۵</sup> بر سطح فلز جایگزین عوامل خوردنده موجود بر سطح فلز می شوند و بدین شکل عوامل خوردنده را از سطح فلز دور می کنند. جذب به هر دو صورت شیمیایی و فیزیکی می تواند رخ دهد. گروههای عاملی و هترواتمها به همراه پیوندهای غیراشباع بر مقدار جذب سطحی بازدارنده بر سطح فلز و در نتیجه عملکرد بازدارنده تأثیر گذار هستند [۱۶ تا ۲۰]. ترتیب تأثیر هترواتمها بر مقدار جذب سطحی بازدارنده بدین صورت است:  $O < N < S < P$  که در آن فسفر بیشترین و اکسیژن کمترین تأثیر را دارد [۲۱ تا ۲۳]. تاکنون ترکیبهای آلی بسیاری به عنوان بازدارنده تهیه و مورد بررسی قرار گرفته اند. برخی از این ترکیبها

1. Atmospheric corrosion 2. Temporary protective coatings 3. Corrosion inhibitor 4. Heteroatom 5. Adsorption 6. Fei 7. Merck Co.

جدول ۱ درصد وزنی (wt%) عناصر موجود در صفحه فولادی

Fe	C	P	S	Si	Mn	Cr	Mo
باقیمانده	۰.۰۵۳	۰.۰۱	۰.۰۰۶	۰.۰۱۳	۰.۱۹۲	۰.۰۰۶	۰.۰۰۲>
Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
۰.۰۲۷	۰.۰۵۴	۰.۰۰۸	۰.۰۱۱	۰.۰۰۳>	۰.۰۰۱>	۰.۰۰۲	۰.۰۱۰>
Zr	Pb	Sn	As	Bi	Ca	B	Sr
۰.۰۰۲>	۰.۰۰۳>	۰.۰۰۱>	۰.۰۰۶	۰.۰۰۲>	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱>	-

شبانروز و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد این فراورده خشک شد. نقطه ذوب فراورده ۱۲۸ تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد و بازده این واکنش ۸۰٪ بود. درنهایت فراورده به روش طیف‌سنجی FT-IR و با دستگاه JASCO FTIR 680 شناسایی شد. ساختار شیمیایی NPMA در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ ساختار شیمیایی NPMA

تهیه ۲ و ۴- دی‌نیتروفنیل مالئامیک اسید

برای تهیه ۲ و ۴- دی‌نیتروفنیل مالئامیک اسید طبق روش گزارش شده توسط هیران<sup>۲</sup> و همکارانش، ابتدا مقدار mmol ۵/۴۶، مالئیک انیدرید در ۵ میلی‌لیتر DMF حل شد. پس از آن mmol ۵/۴۶ از ۲ و ۴- دی‌نیترو آنیلین در ۱۰ میلی‌لیتر DMF حل و محلول مالئیک انیدرید به آن افزوده شد. محلول به‌دست آمده در مرحله پیش به مدت ۳ ساعت در دمای محیط به خوبی هم‌زده شد. رسوب زرد پررنگ ایجاد شده، جدا و خشک شد. نقطه ذوب فراورده تهیه شده ۱۹۱-۱۹۳ درجه سانتی‌گراد است و بازده این واکنش ۸۴٪ به‌دست آمد. در شکل ۲ ساختار شیمیایی DNPMA نشان داده شده است [۳۴].

جدول ۲ ویژگی‌های فیزیکی روغن پایه صنعتی (SN500SAE40)

ویژگی	روغن صنعتی (SN500SAE40)	مرجع آزمون
ظاهر	شفاف	Visual
رنگ	۱،۷	ASTM D1500
فلش پوینت <sup>۱</sup> (°C)	۲۴۶	ASTM D92
نقطه جاری شدن <sup>۲</sup> (°C)	-۳	ASTM D97
گرانروی در ۱۰۰°C (mm <sup>۲</sup> s <sup>-۱</sup> )	۱۱،۱۷۸	ASTM D445
گرانروی در ۴۰°C (mm <sup>۲</sup> s <sup>-۱</sup> )	۱۰۶،۲۲	ASTM D445
شاخص گرانروی <sup>۳</sup> (min)	۸۹،۲	ASTM D2270

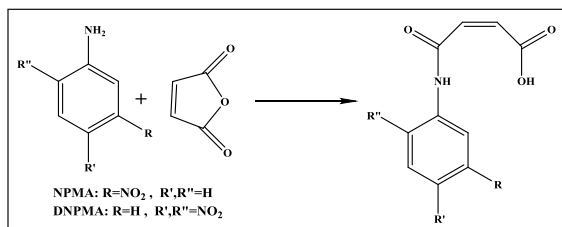
1. Flash point  
2. Pour point  
3. Viscosity index

تهیه ۳ - نیتروفنیل مالئامیک اسید

ترکیب ۳ - نیتروفنیل مالئامیک اسید بر اساس روش گزارش شده توسط باوارج<sup>۱</sup> و همکارانش تهیه شد [۳۳]. به این منظور، ابتدا mmol ۵/۷۷ از ۳- نیترو آنیلین در ۱۰ میلی‌لیتر DMF حل شد. سپس، محلول مالئیک انیدرید شامل mmol ۵/۷۷ مالئیک انیدرید در ۵ میلی‌لیتر DMF تهیه و به محلول ۳- نیترو آنیلین افزوده شد. محلول به‌دست آمده به مدت ۳ ساعت در دمای محیط هم‌زده تا رسوب زرد کم‌رنگ تشکیل شود، در ادامه فراورده صاف شد. سپس در آن به مدت یک

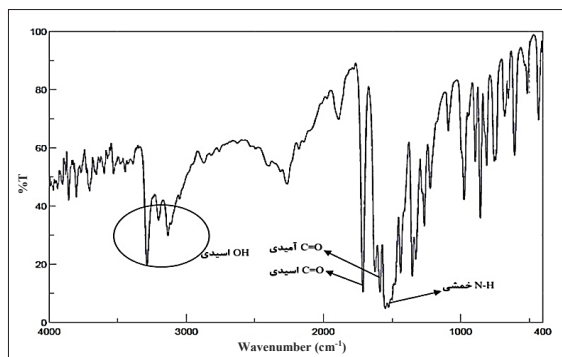
1. Yavaraj 2. Hiran

با مالئیک انیدرید در حلال DMF تهیه شدند. فراورده مورد نظر پس از ۳ ساعت هم‌زدن مخلوط مربوط در دمای محیط به صورت رسوب زردرنگ به دست آمد. ساز و کار این واکنش در شکل ۳ نشان داده شده است.

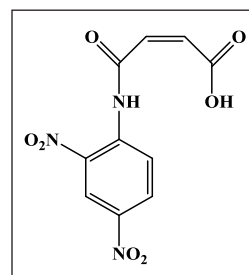


شکل ۳ ساز و کار تهیه NPMA و DNPMA

ساختار ترکیب ۳- نیترو فنیل مالئامیک اسید با طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FT-IR) تأیید شد. طیف فروسرخ تبدیل فوریه این ترکیب در شکل ۴ آورده شده است. این ترکیب دارای جذبی در محدوده  $2400-3400 \text{ cm}^{-1}$  است که به دلیل کششی اسیدی است. همچنین، جذب‌های  $1710 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1631 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1569 \text{ cm}^{-1}$  و  $1546 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب مربوط به  $\text{C=O}$  اسیدی،  $\text{C=O}$  آمیدی،  $\text{C=C}$  آروماتیک،  $\text{N-H}$  خمشی هستند. نوارهای جذبی  $1528 \text{ cm}^{-1}$  و  $1355 \text{ cm}^{-1}$  ناشی از گروه  $\text{NO}_2$  است. پیدایش نوارهای جذبی مربوط به  $\text{CO}$  آمیدی و  $\text{NH}$  آمیدی که در واکنش‌گرهای اولیه وجود ندارد، گواهی بر تهیه این فراورده است.



شکل ۴ طیف فروسرخ تبدیل فوریه NPMA



شکل ۲ ساختار شیمیایی DNPMA

### آزمون‌های خوردگی

برای تهیه پوشش‌های محافظ موقت، مقادیری از بازدارنده‌ها درون روغن صنعتی ریخته شد تا غلظت‌های  $300$  تا  $3600 \text{ ppm}$  به دست آید. سپس، قطعه‌های فولادی به روش غوطه‌وری، با این پوشش‌ها، پوشانده شدند. برای بررسی عملکرد پوشش‌های محافظ موقت تهیه‌شده و مقایسه آن با پوشش روغن بدون بازدارنده، قطعه‌های پوشیده شده درون اتاقکی با رطوبت  $100\%$  قرار گرفتند. رطوبت نسبی بحرانی<sup>۱</sup> برای فولاد  $60\%$  است و این اتاقک با ایجاد بیش‌ترین رطوبت، شدیدترین شرایط خوردگی اتمسفری را فراهم می‌کند [۸]. اتاقک رطوبت  $100\%$  بر اساس استاندارد ASTM D1748 و توسط دانشگاه صنعتی مالک اشتر ساخته شد. نمونه‌ها پس از  $60$ ،  $120$ ،  $180$  و  $240$  ساعت از اتاقک رطوبت خارج شدند و مورد بررسی قرار گرفتند. نمونه‌های خارج‌شده ابتدا با میکروسکوپ نوری (ساخت شرکت MLCO) با بزرگنمایی  $64$  برابر بررسی و سپس کاهش وزن آن‌ها محاسبه شد. برای محاسبه کاهش وزن، نمونه‌های خارج‌شده از اتاقک رطوبت طبق استاندارد ASTM G1-03 شستشوی شیمیایی شدند تا تمام آثار خوردگی از روی آن‌ها پاک شود. سپس، وزن هر کدام از نمونه‌ها با ترازویی با دقت  $10^{-4}$  به دست آمد. وزن‌های به دست آمده برای هر قطعه با وزن اولیه آن مقایسه و کاهش وزن، محاسبه شد.

### نتیجه‌ها و بحث

تهیه و بررسی بازدارنده‌ها

بازدارنده‌ها از واکنش ۳- نیتروآنیلین یا ۲و۴- دی‌نیتروآنیلین

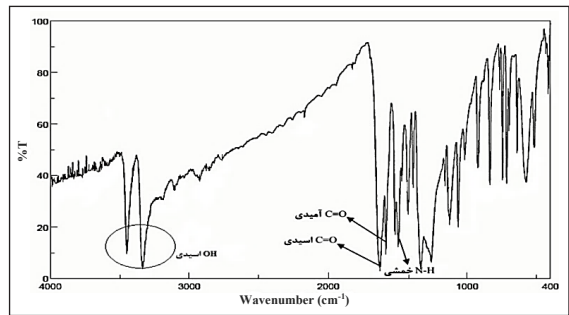
1. Critical relative humidity

پس از آن مقدار کاهش وزنشان محاسبه شد. با استفاده از فرمول شماره ۱ درصد محافظت پوشش‌ها محاسبه شد.

$$\text{درصد محافظت} = \frac{W_0 - W_i}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله  $W_0$  و  $W_i$  به ترتیب بیانگر کاهش وزن در غیاب و در حضور پوشش محافظ موقت هستند. درصد محافظت تمام پوشش‌ها در زمان‌های متفاوت محاسبه شد و در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، افزودن بازدارنده به روغن باعث افزایش کارایی آن شده است. بازدارنده‌ها از طریق به اشتراک گذاشتن الکترون بین هترواتم‌ها و اتم آهن و همچنین، واکنش بین الکترون‌های  $\pi$  موجود در حلقه آروماتیک و سطح فلز، جذب سطح فلز می‌شوند [۳۵]. بازدارنده‌ها با جذب شدن بر سطح فولاد، جایگزین قطره‌های آب و عوامل خورنده می‌شوند و آن‌ها را از سطح فولاد دور می‌کنند، درحالی‌که روغن قادر به انجام چنین کاری نیست. با توجه به جدول‌های ۳ و ۴ غلظت بهینه برای بازدارنده‌ها ppm ۹۰۰ است و در غلظت‌های کمتر به علت کمبود بازدارنده و در غلظت‌های بیشتر به دلیل مقدار افزوده شده بازدارنده، پوشش عملکرد ضعیف‌تری دارد. مقدار اضافی بازدارنده تشکیل لایه یکنواخت و غیر قطبی روغن را دچار مشکل می‌کنند و با قرارگیری در لایه روغنی تا حدودی به انتقال آب و عوامل خورنده کمک می‌کنند [۳۶]. بیش‌ترین درصد محافظت برای پوشش روغن بدون بازدارنده ۵۳/۷۷٪ است، درحالی‌که برای پوشش‌های دارای بازدارنده درصد محافظت‌های ۹۴/۸۵٪ و ۹۶/۹۲٪ وجود دارد. در بین پوشش‌های استفاده شده بهترین عملکرد مربوط به پوشش‌های دارای بازدارنده DNPMA است، زیرا این ترکیب دارای گروه نیترو بیشتری بوده و بدین صورت توانایی جذب سطحی بهتری دارد. همچنین، چگونگی قرار گرفتن گروه‌های نیترو در مولکول نیز اثر مهمی بر بازدارندگی ترکیب‌های آلی دارد [۳۷].

ساختار ۲ و ۴-دی‌نیتروفنیل مالنامیک اسید تهیه شده با طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه اثبات شد. در این طیف نوارهای جذبی موجود در گستره عدد موجی  $3400-2400 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1706 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1629 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1568 \text{ cm}^{-1}$  و  $1550 \text{ cm}^{-1}$  به ترتیب نشان‌دهنده OH اسیدی، C=O اسیدی، C=O آمیدی، C=C آروماتیک، N-H خمشی هستند. دو نوار جذبی موجود در  $1507 \text{ cm}^{-1}$  و  $1338 \text{ cm}^{-1}$  متعلق به گروه نیترو است. طیف فروسرخ تبدیل فوریه ۲ و ۴-دی‌نیتروفنیل مالنامیک اسید در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵ طیف فروسرخ تبدیل فوریه DNPMA

### بررسی‌های خوردگی

#### درصد محافظت

بازدارنده‌های تهیه شده به روغن صنعتی افزوده شدند و پوشش‌های محافظ موقت با غلظت‌های ppm ۳۰۰، ppm ۶۰۰، ppm ۹۰۰، ppm ۱۲۰۰، ppm ۱۵۰۰ و ppm ۱۸۰۰ به دست آمد. برای مقایسه پوشش روغن بدون بازدارنده با پوشش‌های روغنی دارای بازدارنده و همچنین، به دست آوردن غلظت بهینه بازدارنده‌ها، قطعه‌های فولادی با این پوشش‌ها پوشانده شدند و درون اتاقک رطوبت قرار گرفتند. نمونه‌ها در زمان‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ ساعت از اتاقک خارج شده و مقدار کاهش وزن هر یک محاسبه شد. نمونه‌های خارج شده بر اساس استاندارد ASTM G1-03 شستشوی شیمیایی شد تا آثار خوردگی از روی آن‌ها پاک و

$$MPY = \frac{534W}{DAT} \quad (2)$$

سرعت خوردگی در این معادله برحسب میل در سال<sup>۱</sup> (یک میل برابر یک هزارم اینچ است) محاسبه شده است و W بیانگر کاهش وزن برحسب میلی گرم، D نشان دهنده چگالی قطعه (g/cm<sup>۳</sup>)، A مساحت سطح نمونه (in<sup>۲</sup>) و T مدت زمان آزمون برحسب ساعت است. سرعت خوردگی های محاسبه شده برای تمام قطعه های فولادی در جدول های ۵ و ۶ آورده شده است. سرعت خوردگی قطعه های پوشیده شده با روغن کمتر از قطعه های بدون پوشش است. این نکته بیانگر مؤثر بودن روغن در کاهش خوردگی اتمسفری است. هرچند روغن خوردگی فولاد را به شکل قابل توجهی کاهش داد، اما کافی نیست. با افزودن بازدارنده به روغن، مقدار خوردگی به صورت چشمگیری کاهش می یابد. داده های موجود در جدول های ۵ و ۶ نتایج به دست آمده از درصد محافظت را تأیید می کنند. سرعت خوردگی با افزودن بازدارنده ها به روغن کاهش یافته و کمترین سرعت خوردگی مربوط به غلظت ۹۰۰ ppm از بازدارنده ها است.

جدول ۵ سرعت خوردگی قطعه های پوشیده شده با پوشش های محافظ موقت حاوی بازدارنده NPMA

سرعت خوردگی (MPY)				غلظت بازدارنده در روغن پایه (ppm)
پس از ۲۴۰ ساعت	پس از ۱۸۰ ساعت	پس از ۱۲۰ ساعت	پس از ۶۰ ساعت	
۲۰٫۷۹	۲۳٫۱۰	۳۱٫۷۳	۳۴٫۴۲	نمونه بدون پوشش
۱۸٫۹۱	۱۸٫۶۳	۱۸٫۰۸	۱۷٫۹۰	روغن بدون بازدارنده
۱۲٫۶۷	۱۲٫۲۸	۸٫۰۴	۴٫۳۷	۳۰۰
۶٫۰۱	۷٫۱۵	۶٫۲	۳٫۴۶	۶۰۰
۲٫۷۸	۲٫۴۵	۱٫۴۷	۱٫۴۵	۹۰۰
۳٫۱۰	۴٫۳۷	۳٫۱	۲٫۱۸	۱۲۰۰
۴٫۴۶	۵٫۹۵	۵٫۶۵	۲٫۱۸	۱۵۰۰
۱۰٫۳۹	۷٫۷۸	۶٫۷۴	۳٫۶۴	۱۸۰۰
۶٫۲۹	۸٫۰۲	۵٫۳۲	۴٫۰۱	۳۶۰۰

1. Mills per Year

جدول ۳ درصد محافظت پوشش های محافظ موقت حاوی بازدارنده NPMA

درصد محافظت				غلظت بازدارنده در روغن پایه (ppm)
پس از ۲۴۰ ساعت	پس از ۱۸۰ ساعت	پس از ۱۲۰ ساعت	پس از ۶۰ ساعت	
۳۰٫۳۰	۳۹٫۷۶	۴۶٫۲۰	۵۳٫۷۷	روغن بدون بازدارنده
۳۹٫۰۳	۵۲٫۶۷	۵۵٫۷۴	۷۸٫۵۷	۳۰۰
۷۱٫۰۵	۸۱٫۰۵	۸۴٫۵۰	۸۲٫۱۴	۶۰۰
۹۰٫۲۹	۹۱٫۶۸	۹۳٫۵۲	۹۴٫۸۵	۹۰۰
۵۸٫۰۸	۷۴٫۲۱	۹۰٫۲۲	۸۹٫۲۸	۱۲۰۰
۵۰٫۷۸	۶۶٫۳۱	۸۲٫۱۸	۸۹٫۲۸	۱۵۰۰
۶۵٫۰۰	۶۵٫۲۶	۷۸٫۷۳	۸۱٫۴۲	۱۸۰۰
۶۳٫۷۹	۶۵٫۲۷	۷۲٫۵۱	۸۰٫۳۵	۳۶۰۰

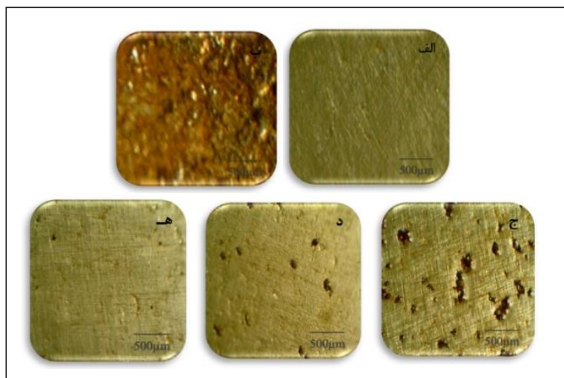
جدول ۴ درصد محافظت پوشش های محافظ موقت حاوی بازدارنده DNPMA

درصد محافظت				غلظت بازدارنده در روغن پایه (ppm)
پس از ۲۴۰ ساعت	پس از ۱۸۰ ساعت	پس از ۱۲۰ ساعت	پس از ۶۰ ساعت	
۳۰٫۳۰	۳۹٫۷۶	۴۶٫۲۰	۵۳٫۷۷	روغن بدون بازدارنده
۶۷٫۷۱	۷۳٫۱۵	۷۷٫۵۸	۷۸٫۷۶	۳۰۰
۷۱٫۰۵	۹۰٫۲۱	۹۰٫۲۲	۹۲٫۱۴	۶۰۰
۹۰٫۹۸	۹۲٫۳۱	۹۶٫۵۵	۹۶٫۹۲	۹۰۰
۸۸٫۱۵	۸۹٫۷۰	۹۰٫۱۰	۹۰٫۰۰	۱۲۰۰
۸۷٫۹۱	۸۹٫۶۳	۹۰٫۲۲	۹۰٫۵۷	۱۵۰۰
۸۱٫۱۴	۸۲٫۵۲	۸۴٫۷۸	۸۵٫۴۲	۱۸۰۰
۷۱٫۹۶	۷۸٫۴۹	۷۸٫۷۳	۸۵٫۶۷	۳۶۰۰

سرعت خوردگی

با استفاده از کاهش وزن به دست آمده از نمونه ها، افزون بر درصد محافظت، سرعت خوردگی را نیز می توان محاسبه کرد. مقایسه سرعت خوردگی قطعه های فولادی اطلاعات مفیدی در مورد پوشش ها و تأثیر آن ها در جلوگیری از خوردگی اتمسفری به ما می دهد. برای محاسبه سرعت خوردگی از معادله ۲ استفاده شد.

عملکرد پوشش روغنی را به روشنی مشاهده کرد. برتری پوشش دارای بازدارنده DNPMA در این تصاویر به طور کامل مشهود است.



شکل ۶ تصاویر سطح قطعه‌های فولادی پس از ۶۰ ساعت قرارگیری در اتاقک رطوبت. (الف)؛ پیش از خوردگی (ب)؛ نمونه بدون پوشش پس از خوردگی (ج)؛ نمونه پوشیده شده با روغن، پس از خوردگی (د) نمونه پوشیده شده با پوشش محافظ موقت حاوی NPMA پس از خوردگی و (ه) نمونه پوشیده شده با پوشش محافظ موقت حاوی DNPMA پس از خوردگی

### نتیجه‌گیری

ترکیب‌های آلی ۳ - نیترونیل مالتامیک اسید و ۴۲- دی‌نیترونیل مالتامیک اسید تهیه و به‌عنوان بازدارنده خوردگی اتمسفری به روغن افزوده شدند. روغن به‌عنوان یکی از متداول‌ترین پوشش‌های محافظ خوردگی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. افزایش بازدارنده‌ها به روغن، تأثیر قابل توجهی بر کاهش خوردگی اتمسفری فولاد داشت. غلظت بهینه بازدارنده‌ها در روغن ۹۰۰ ppm و عملکرد بازدارنده DNPMA با داشتن گروه عاملی بیشتر، مطلوب‌تر بود. بیش‌ترین درصد محافظت برای هر کدام از پوشش‌های محافظ موقت شامل ۵۳/۷۷٪، ۹۴/۸۵٪ و ۹۶/۹۲٪ بود که به ترتیب مربوط به پوشش روغنی، پوشش حاوی NPMA و پوشش حاوی DNPMA بود. تصاویر میکروسکوپ نوری نیز بیانگر تأثیر مطلوب پوشش‌های موقت در کاهش خوردگی فولاد بودند و نتایج به‌دست آمده از سایر آزمون‌ها را تأیید کردند.

جدول ۶ سرعت خوردگی قطعه‌های پوشیده شده با پوشش‌های محافظ موقت

حاوی بازدارنده DNPMA

سرعت خوردگی (MPY)				غلظت بازدارنده در روغن پایه (ppm)
پس از ۲۴۰ ساعت	پس از ۱۸۰ ساعت	پس از ۱۲۰ ساعت	پس از ۶۰ ساعت	
۲۰٫۷۹	۲۳٫۱۰	۳۱٫۷۳	۳۴٫۴۲	نمونه بدون پوشش
۱۸٫۹۱	۱۸٫۶۳	۱۸٫۰۸	۱۷٫۹۰	روغن بدون بازدارنده
۱۲٫۹۵	۶٫۲۰	۷٫۱۱	۴٫۷۴	۳۰۰
۶٫۰۱	۳٫۳۳	۳٫۱۰	۳٫۶۴	۶۰۰
۲٫۰۹	۱٫۸۵	۱٫۰۹	۰٫۸۵	۹۰۰
۲٫۴۶	۲٫۹۷	۲٫۱۸	۳٫۲۸	۱۲۰۰
۳٫۴۵	۳٫۲۰	۳٫۱۰	۴٫۳۷	۱۵۰۰
۳٫۹۲	۳٫۲۸	۴٫۱۹	۵٫۸۳	۱۸۰۰
۳٫۹۱	۳٫۵۵	۶٫۷۴	۶٫۵۶	۳۶۰۰

### بررسی سطح نمونه‌ها

از آثار خوردگی به‌جا مانده بر سطح فلز می‌توان اطلاعات مفیدی در رابطه با خوردگی به‌دست آورد. بدین دلیل نمونه‌های خارج‌شده از اتاقک رطوبت پیش از شستشوی شیمیایی و محاسبه کاهش وزن، ابتدا مورد عکس‌برداری با میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۶۴ برابر قرار گرفتند. شکل ۶ نشان‌دهنده نمونه‌ها پس از ۶۰ ساعت حضور در اتاقک رطوبت است. شکل ۶-الف سطح فولاد پیش از پوشیده شدن با پوشش‌ها و قرارگیری در اتاقک رطوبت را نشان می‌دهد. سطح فولاد بدون پوشش پس از ۶۰ ساعت حضور در اتاقک رطوبت در شکل ۶-ب و فولاد پوشیده شده با روغن بدون بازدارنده در شکل ۶-ج نشان داده شده است. شکل‌های ۶-د و ۶-ه مربوط به سطوح پوشیده شده با روغن دارای بازدارنده است. سه شکل آخر، تأثیر مطلوب پوشش‌های محافظ موقت روغنی را نشان می‌دهد. استفاده از این پوشش‌ها به شکل قابل توجهی مقدار خوردگی اتمسفری را کاهش داده است. همچنین، از مقایسه این تصاویر می‌توان اثر بازدارنده در افزایش







- [26] Amar, H.; Tounsi, A.; Makayssi, A.; Derja, A.; Benzakour, J.; Outzourhit, A.; Corrosion Science 49, 2936-2945, 2007.
- [27] Li, X.; Deng, S.; Fu, H.; Corrosion Science 53, 302-309, 2011.
- [28] Mert, B.D.; Yüce, A.O.; Kardaş, G.; Yazıcı, B.; Corrosion Science 85, 287-295, 2014.
- [29] Tebbji, K.; Bouabdellah, I.; Aouniti, A.; Hammouti, B.; Oudda, H.; Benkaddour, M.; Ramdani, A.; Materials Letters 61, 799-804, 2007.
- [30] Mostafaei, A.; Nasirpouri, F.; Progress in Organic Coatings 77, 146-159, 2014.
- [31] El Haleem, S.A.; El Wanees, S.A.; El Aal, E.A.; Farouk, A.; Corrosion Science 68, 1-13, 2013.
- [32] Fei, F.L.; Hu, J.; Yu, Q.J.; Wei, J.X.; Nong, Y.B.; Materials and Corrosion 66, 1039-1050, 2015.
- [33] Yavaraj, G.; Nema, R.K.; American Journal of Biological and Pharmaceutical Research 4, 356-362, 2011.
- [34] Hiran, B.L.; Boriwal, R.; Paliwal, S.N.; Singh, D.; Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 3, 793-799, 2011.
- [35] Bouklah, M.; Hammouti, B.; Lagrenee, M.; Bentiss, F.; Corrosion Science 48, 2831-2842, 2006.
- [36] Ali, M.F.; Alqam, M.H., Fuel 79, 1309-1316, 2000.
- [37] Bhagat, S.; Bhagat, T.; Unchadkar, A.; Deshpande, M.; Oriental Journal of Chemistry 26, 1545-1548, 2010.