



## تاثیر نمک‌های محلول بر عملکرد پوشش‌های آلی

نرگس طهماسبی\*

استادیار، گروه مهندسی پلیمر، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران، کد پستی: ۶۳۵۱۹

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱۶ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۴/۷/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۶ در دسترس به صورت الکترونیک: ۹۴/۸/۶

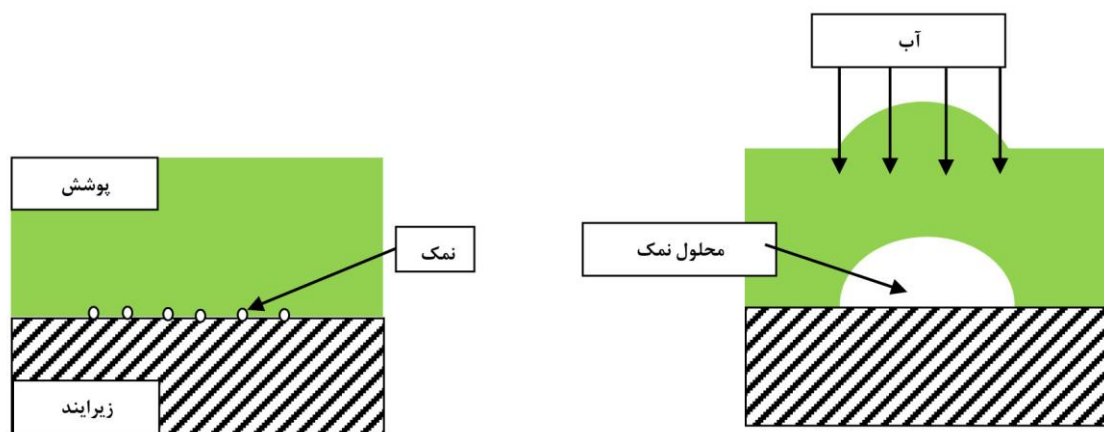
### چکیده

وجود نمک‌های محلول در فصل مشترک زیرآیند/ پوشش، افت زود هنگام عملکرد پوشش‌ها را در پی دارد. اتمسفرهای دریایی و صنعتی، آماده‌سازی با ساینده‌های آلوده به نمک و نمک‌های مورد استفاده در یخ‌زدایی جاده‌ها از جمله راه‌های آلوده‌شدن سازه‌های فلزی به انواع نمک‌های کلرید، سولفات و نیترات پیش از اعمال پوشش هستند. در این مقاله علاوه بر مطالعه تاثیر نوع و غلظت نمک‌های محلول بر عملکرد انواع پوشش‌های آلی، روش‌های تشخیص و تعیین میزان و نوع نمک، حد مجاز نمک و روش‌های زدودن نمک مورد بررسی قرار گرفته است.

### واژه‌های کلیدی

نمک‌های محلول، پوشش‌های آلی، خوردگی زیر فیلم، تاول‌زدگی اسمزی، حد مجاز نمک.

### چکیده تصویری





## The effects of soluble salts on performance of organic coatings

Nargess Tahmassebi\*

Department of polymer Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran.

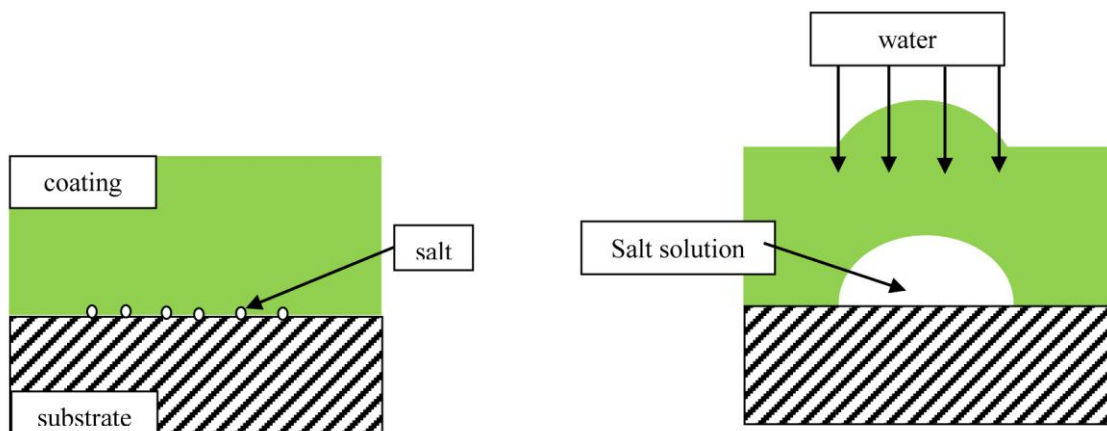
### Abstract

The presence of soluble salts at the substrate/coating interface can lead to the premature deterioration of organic coatings. Industry and marine atmospheres, pretreatment with contaminated abrasives and de-icing salts are main sources to contaminate substrates. In this paper, the effects of soluble salts on coating performance are studied. The analyzing methods of type and quantity of salts and also the methods for removing soluble salts are described. In addition, permissible level of soluble salts for different coatings is explained.

### Keywords

Soluble salt, Organic coatings, Under film corrosion, Osmotic blistering, Salt threshold level.

### Graphical abstract



۱- مقدمه

اولین بار در سال ۱۹۵۹ ماین<sup>۱</sup> دریافت که وجود حداقل  $938 \text{ mg/m}^2$  سولفات آهن بر سطح فولاد می‌تواند موجب تخریب سریع سامانه‌های پوششی اعمال شده بر آن گردد. اگرچه این یافته برای مدت‌های طولانی مورد توجه قرار نگرفت، بروز خوردگی و تاول زدگی زود هنگام برخی از سامانه‌های پوششی بویژه در مناطق صنعتی و دریایی طی ۳۰ سال گذشته، موجب توجه گسترده سازندگان و مصرف‌کنندگان پوشش‌های صنعتی به این موضوع شده است، بطوری که تعدادی از موسسات فعال در زمینه تدوین استانداردهای ارزیابی پوشش‌ها مانند ASTM، ISO و SSPC در حال تهیه دستورالعمل‌های اجرایی ارزیابی نوع و میزان نمک‌های محلول موجود بر سطح سازه‌های فلزی پیش از اعمال پوشش بر آنها هستند [۱۱-۱].

آماده‌سازی توسط ساینده‌های آلوده به نمک، شستشو با آب آلوده، اتمسفرهای دریایی و صنعتی و نمک‌های مورد استفاده در یخ‌زدایی جاده‌ها از جمله راه‌های آلوده‌شدن سازه‌های فلزی به انواع نمک‌های کلرید، سولفات و نیترات پیش از اعمال پوشش هستند [۱۴-۱۲].

آب‌دوست بودن نمک‌ها فرآیند جذب و نفوذ آب به داخل پوشش و رسیدن آن به فصل مشترک پوشش/ زیرآیند را آسان‌تر می‌نماید. آب نفوذ کرده با حل نمودن نمک موجود در سطح زیرآیند و تولید یون، افزایش رسانایی و لذا بروز خوردگی زود هنگام در زیر فیلم پوشش را در پی دارد. بعلاوه بدلیل اختلاف غلظت یون در زیر و خارج از پوشش، فشارهای اسمزی با هدف یکسان‌سازی غلظت، ایجاد می‌گردد که با نفوذ آب بیشتر به داخل پوشش جهت کاهش غلظت یون در زیر آن همراه است. آب نفوذ کرده به داخل و زیر پوشش موجب تشکیل تاول‌های اسمزی<sup>۲</sup> می‌شود. تاول‌های تشکیل شده با اعمال فشار به اطراف خود می‌توانند زمینه افت چسبندگی و یا ترک خوردگی زود هنگام پوشش را فراهم نمایند [۱۵، ۳-۱].

۲- تاثیر نمک بر عملکرد پوشش‌ها

پژوهش‌های متعددی در زمینه چگونگی تاثیر نوع و میزان نمک‌های محلول بر عملکرد انواع پوشش‌های آلی انجام شده است که به برخی از آنها در این بخش اشاره می‌گردد.

مورسیل لو<sup>۳</sup> و همکارش با ارزیابی عملکرد جوی انواع سامانه‌های پوششی شامل الکیدها، رابر کلردار، وینیل، پلی یورتان، اپوکسی/ پلی یورتان، سیلیکات روی، سیلیکات روی/ رابر کلردار و سیلیکات روی/ وینیل اعمال شده بر زیرآیندهای فولادی آلوده به نمک، به مدت ۱۴ سال در اتمسفرهای روستایی، شهری و صنعتی دریافتند که وجود  $303/4 \text{ mg/m}^2$  آلودگی کلرید سدیم موجب افت شدید عملکرد جوی تمام پوشش‌های مورد مطالعه بجز آستر سیلیکات روی می‌گردد. به‌علاوه آنها نشان دادند که آلودگی سولفات

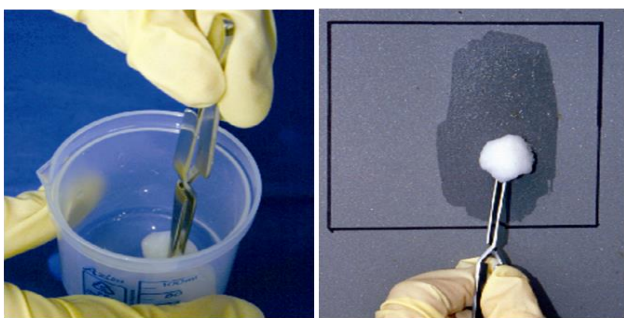
آهن به میزان  $315/8 \text{ mg/m}^2$  تاثیر چندانی بر عملکرد جوی پوشش‌های مورد بررسی ندارد. آنها همچنین دریافتند که وجود  $500 \text{ mg/m}^2$  کلرید سدیم و یا  $100 \text{ mg/m}^2$  سولفات آهن بر روی زیرآیندها می‌تواند موجب افت شدید کارایی کلیه پوشش‌های مورد بررسی در اتمسفرهای دریایی گردد [۱۲]. در مطالعه دیگری، همین محقق نشان داد که لاستیک‌های کلردار حاوی اکسید آهن میکایی و سامانه‌های وینیلی/ اکریلیکی اعمال شده بر زیرآیندهای گالوانیزه آلوده به کلرید سدیم به ترتیب دارای کمترین و بیشترین حساسیت به میزان آلودگی نمک هستند [۱]. پژوهش‌های انجام شده توسط مورسیل لو و همکارانش بر روی تاثیر غلظت کلرید سدیم بر خوردگی زیر فیلم نیز آشکار نمود که عامل کنترل‌کننده خوردگی زیر فیلم در غلظت‌های کم و زیاد نمک به ترتیب رسانایی محلول موجود در تاول‌ها و سرعت نفوذ اکسیژن به داخل پوشش‌ها است [۱۶، ۲]. نیل و ایت هرست<sup>۴</sup> با بررسی تاثیر غلظت یون کلرید بر عملکرد پوشش FBE<sup>۵</sup> نشان دادند که یک رابطه خطی میان شعاع جدایش کاتدی این پوشش با میزان یون کلرید وجود دارد و عملکرد قابل قبول پوشش فقط در آلودگی‌های کمتر از  $20 \text{ mg/m}^2$  مشاهده می‌گردد. در مطالعه مشابه دیگری بر روی پوشش‌های اپوکسی پلی آمین بدون حلال و پلی یورتان آروماتیک ۱۰٪ جامد اعمال شده بر زیرآیندهای آلوده شده به غلظت‌های مختلف از نمک کلرید سدیم، ضمن مشاهده رابطه خطی میان غلظت آلودگی کلرید سدیم و شعاع جدایش کاتدی هر دو پوشش، مشخص گردید که جدایش کاتدی این پوشش‌ها فقط برای آلودگی‌های کم‌تر از  $50 \text{ mg/m}^2$  قابل قبول است. نتایج آزمایش‌های مه نمکی، رطوبت ۱۰٪ و غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم ۳/۵٪ نیز نشان داد که برای هر دو پوشش آلودگی‌های کم‌تر و مساوی با  $50 \text{ mg/m}^2$  می‌تواند محدوده بدون تاثیر و یا با تاثیر کم در نظر گرفته شود [۱۹-۱۷].

بررسی تاثیر میزان کلرید سدیم ( $300 \text{ mg/m}^2$  و  $50$ ،  $100$  و  $25$ ) و سولفات آهن ( $600 \text{ mg/m}^2$  و  $300$ ،  $100$ ،  $50$ ) موجود بر سطح زیرآیندهای پوشش داده شده با سه نوع اپوکسی توسط استینزمو و اکلسن<sup>۶</sup> نشان داد که عملکرد این پوشش‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای طی آزمایش غوطه‌وری در آب  $40^\circ\text{C}$  با افزایش میزان هر دو نمک کاهش می‌یابد [۱۷]. بررسی تاثیر میزان کلرید سدیم بر عملکرد انواع پوشش‌های اعمال شده بر جداره داخلی مخازن نگهداری نفت خام نیز نشان داد که افزایش دما و وجود آب در نفت می‌تواند منجر به افت عملکرد این پوشش‌ها در مقادیر کم آلودگی گردد [۱۴]. همچنین در بررسی تاثیر غلظت کلرید سدیم ( $300 \text{ mg/m}^2$ ،  $250$ ،  $200$ ،  $150$ ،  $100$ ،  $50$ ) بر عملکرد سامانه‌های الکیدی طی آزمایش‌های مه‌نمکی، رطوبت ۱۰٪ و غوطه‌وری در محلول کلرید سدیم ۳/۵٪ مشخص

<sup>4</sup> Neal and Whitehurst  
<sup>5</sup> Fusion Bonded Epoxy  
<sup>6</sup> Steinsmo and Axelsen

<sup>1</sup> Mayne  
<sup>2</sup> Osmotic blister  
<sup>3</sup> Morcillo

با استفاده از یک تکه پنبه جدید تکرار می‌گردد [۲۱، ۲۲].



شکل ۱- چگونگی استخراج نمک به روش روبش سطح [۲۲].

غلاف چسب‌دار یک استوانه کوچک منعطف لاتکسی به قطر ۳/۵ cm است که با ۱۰ ml آب دیونیزه پر شده و بر سطح سازه فلزی چسبانده می‌شود. برای استخراج نمک، آب دیونیزه موجود در لوله بر سطح سازه به مدت دو تا پنج دقیقه ماساژ داده شده و سپس لوله حاوی محلول استخراج شده از سطح جدا می‌گردد، (شکل ۲) [۲۱، ۲۲]. در روش برسلی یک صفحه لاتکسی مربع ( $12/25 \text{ cm}^2$ ) و یا دایره ای شکل ( $12/5 \text{ cm}^2$ ) با لبه های چسب‌دار بر سطح سازه فلزی چسبانده شده و توسط سرنگ ۳-۲/۵ میلی لیتر آب دیونیزه به زیر آن تزریق می‌گردد. آب تزریق شده تا چهار بار توسط سرنگ از زیر صفحه جمع‌آوری و جهت حصول اطمینان از استخراج کامل نمک‌های موجود در سطح زیرآیند، مجدداً به داخل سل تزریق می‌گردد. در شکل ۳ مراحل انجام روش برسلی نشان داده شده است [۲۴-۲۱].

گردید که افزایش غلظت آلودگی کلرید سدیم موجب افزایش اندازه، تراکم و فراوانی تاول‌ها و کاهش زمان شروع تاول‌زدگی و چسبندگی می‌شود [۲۰].

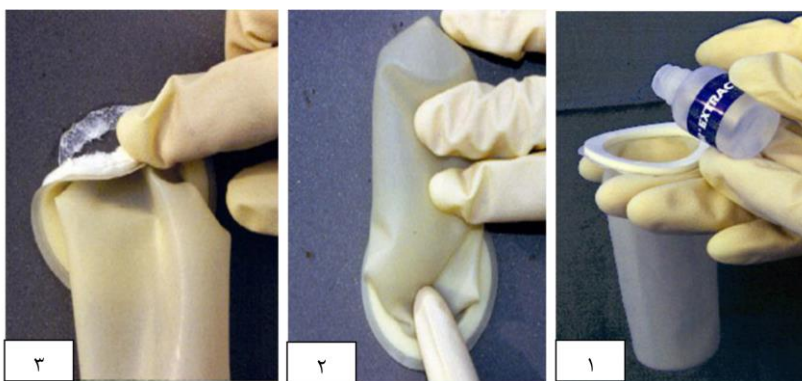
### ۳- روش‌های تعیین میزان و نوع نمک

تعیین میزان و نوع نمک موجود بر سطح زیرآیندها، مستلزم استخراج نمک و آنالیز محلول استخراج شده است. میزان نمک و یا یون‌های موجود در سطح سازه‌های فلزی اغلب برحسب  $\text{mg/m}^2$  و یا  $\mu\text{g/cm}^2$  بیان می‌شود. نظر به این که کلریدها متداول‌ترین و مشکل‌سازترین نمک آلوده‌کننده سطوح سازه‌های فلزی هستند، بیشتر روش‌های استخراج و آنالیز در رابطه با این ماده هستند.

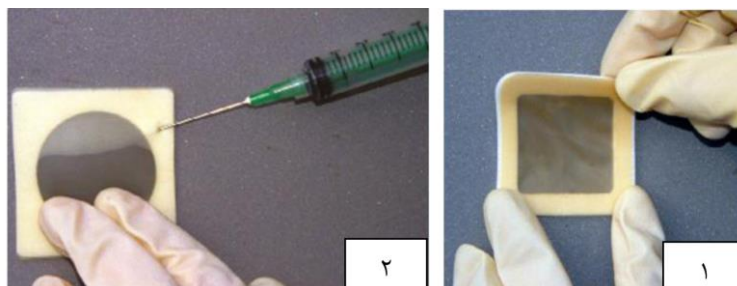
### ۳-۱- روش‌های استخراج نمک

روش‌های روبش سطح<sup>۱</sup>، غلاف چسب‌دار<sup>۲</sup> و برسلی<sup>۳</sup> (وصله یا سل چسب دار)<sup>۴</sup> از جمله رایج‌ترین روش‌های استخراج آلودگی نمک از سطح سازه‌های فلزی هستند [۲۱، ۲۲]. در روش روبش سطح، یک گلوله پنبه‌ای استریل خیس شده در ۲۲/۵ ml آب دیونیزه بر سطح مشخصی از سازه فلزی به ابعاد ۱۵ در ۱۵ سانتی‌متر کشیده شده و سپس پنبه در آب دیونیزه چلانده می‌شود، (شکل ۱). این کار حداقل چهار بار و هر بار

- 1 Surface swabbing
- 2 Adhesive sleeve
- 3 Bresle
- 4 Adhesive patch or cell

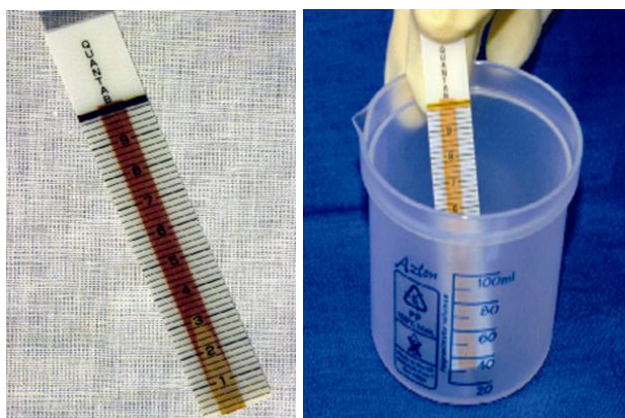


شکل ۲- مراحل استخراج نمک به روش غلاف چسب‌دار [۲۲].

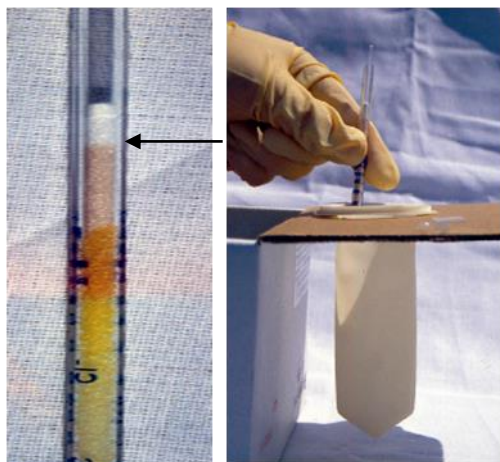


شکل ۳- مراحل انجام استخراج نمک به روش برسلی [۲۲].

یون کلرید (C) بر حسب  $mg/m^2$  محاسبه می‌گردد [۲۱، ۲۲].



شکل ۴- چگونگی استفاده از نوارهای آزمایش یون کلرید [۲۲].



شکل ۵- لوله آشکارساز یون کلرید [۲۲].

علاوه بر روش‌های ذکر شده کیت‌های متعددی توسط شرکت‌های مختلف برای اندازه‌گیری غلظت یون‌های کلرید، آهن، سولفات و نیترات به بازار عرضه شده است که اساس اندازه‌گیری بیشتر آنها استفاده از انواع روش‌های تیتراسیون شیمیایی است. همچنین دستگاه‌هایی تحت عنوان نمک محلول‌سنج<sup>۴</sup> وجود دارد که با اتصال مغناطیسی به سطح سازه می‌توانند هم‌زمان نمک را استخراج و غلظت آن را تخمین بزنند [۲۲].

#### ۴- روش‌های زدودن نمک

بررسی چگونگی توزیع نمک‌ها بر سطح زیرآیندهای آلوده نشان می‌دهد که نمک‌ها اغلب در انتهای حفرات<sup>۵</sup> موجود در سطح فلز و یا در فصل مشترک فلز/ محصولات خوردگی متمرکز شده‌اند که موجب مشکل شدن زدودن آنها می‌گردد. روش‌های سایشی خشک<sup>۶</sup> متداول‌ترین روش آماده‌سازی سطح سازه‌های فلزی است که طی آن محصولات خوردگی و

شرایط سطح زیرآیند (زبری و درجه زنگ‌زدگی)، غلظت و چگونگی توزیع نمک در سطح سازه فلزی، دما و مدت زمان استخراج از جمله عوامل تاثیرگذار بر کارایی روش‌های استخراج نمک هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که کارایی استخراج نمک با روش‌های روبش سطح و انواع سل‌های چسب‌دار به ترتیب ۳۵-۱۵٪ و ۶۰-۴۰٪ است که با کاهش درجه زنگ‌زدگی سطح زیرآیند، این مقادیر افزایش می‌یابد [۲۱، ۲۲].

#### ۳-۲- روش‌های آنالیز نمک

اندازه‌گیری رسنایی، نوارهای آزمایش یون کلرید<sup>۱</sup> (کروماتوگرافی یونی) و لوله‌های آشکارساز یون کلرید<sup>۲</sup> از جمله روش‌های آنالیز محلول‌های استخراج شده هستند [۲۱، ۲۵].

با اندازه‌گیری رسنایی محلول‌های استخراج شده ( $S: \mu S/cm$ ) از سطح سازه‌ها می‌توان فقط غلظت کل نمک‌های موجود در محلول (C) را از طریق رابطه ۱ بدست آورد که در آن، V و A به ترتیب حجم محلول و سطح مورد استفاده برای استخراج است. یادآوری می‌گردد که میزان رسنایی محلول‌های استخراج شده علاوه بر غلظت، تابع نوع نمک و دمای محلول نیز هست [۷، ۱۸-۲۰].

$$C\left(\frac{\mu g}{cm^2}\right) = \frac{0.5 \times S\left(\frac{\mu S}{cm}\right) \times V(ml)}{A(cm^2)} \quad (1)$$

نوارهای آزمایش یون کلرید دارای درجه‌بندی به رنگ نارنجی برحسب واحد کوانتیب<sup>۳</sup> هستند که در تماس با یون کلرید تغییر رنگ می‌دهند و تغییر رنگ خط افقی موجود در قسمت بالای نوار از نارنجی به سیاه نشان دهنده تکمیل فرآیند آنالیز است (شکل ۴). با ثبت عدد بخش کم‌رنگ نوار (برحسب کوانتیب) و تبدیل آن به ppm، غلظت یون کلرید (B) تعیین می‌گردد. غلظت یون کلرید (C) برحسب  $mg/m^2$  نیز می‌تواند با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردد که در آن V و A به ترتیب حجم محلول و سطح استخراج شده است [۲۱، ۲۲].

$$C\left(\frac{mg}{m^2}\right) = 10 \times B(ppm) \times \frac{V(ml)}{A(cm^2)} \quad (2)$$

لوله‌های آشکارساز یون کلرید شامل یک استوانه شیشه‌ای مویینه مدرج (برحسب ppm) پر شده با مواد ویژه هستند که دو سر آن می‌بایست پیش از آزمایش، شکسته شود (شکل ۵). نفوذ محلول استخراج شده به داخل لوله و تغییر فام بخش انتهایی آن از سفید به صورتی، نشان‌دهنده اتمام فرآیند آنالیز است. غلظت یون کلرید برحسب ppm از محل تقاطع بخش سفید و صورتی لوله تعیین شده و سپس به کمک رابطه ۲ غلظت

<sup>4</sup> Soluble salt meter

<sup>5</sup> Pit

<sup>6</sup> Dry abrasive blasting

<sup>1</sup> Chloride ion test strips

<sup>2</sup> Chloride ion detection tubes

<sup>3</sup> Quantab unit

پوشش می‌بایست میزان مجاز آلودگی نمک اختصاصاً تعیین گردد که می‌تواند از  $10 \text{ mg/m}^2$  تا  $500$  متغیر باشد [۲۸-۳۲، ۲۱، ۱۴]. تعیین میزان مجاز آلودگی نمک برای هر پوشش مستلزم اعمال غلظت‌های مشخصی از نمک یا یون مورد نظر بر سطح زیرآیندهای فلزی پیش از پوشش‌دهی آنها و ارزیابی عملکرد پوشش در شرایط کاربری واقعی و یا شتاب‌یافته آزمایشگاهی است. اعمال نمک بر سطح زیرآیندهای فلزی می‌تواند بصورت طبیعی و یا آزمایشگاهی انجام شود. در روش طبیعی، زیرآیندها برای مدت معینی در معرض اتمسفرهای مختلف قرار داده می‌شوند. هزینه زیاد، زمان‌بر بودن، عدم کنترل بر میزان آلودگی و ناپیکنواختی توزیع آن در سطح زیرآیند از جمله معایب این روش است. متداول‌ترین روش آزمایشگاهی شامل تهیه محلول‌هایی با غلظت‌های مشخص از نمک مورد نظر با استفاده از ۲۰٪ حجمی آب و ۸۰٪ اتانل و ریختن مقدار مورد نیاز از محلول‌ها بر سطح گرم شده زیرآیند ( $34^\circ\text{C}$ ) توسط میکروپیپت و پخش کردن آن بر روی زیرآیندهای گرم توسط میله شیشه‌ای نازک ( قطر  $9/5$  میلی متر) است. در ادامه برای تبخیر آب و اتانل، زیرآیندها بمدت ۱۵ دقیقه در  $34^\circ\text{C}$  نگهداری می‌شوند. مقدار محلول مورد نیاز می‌تواند به آسانی از رابطه‌ای مشابه با رابطه ۲ تعیین گردد، با این فرض که در آن A و V به ترتیب مساحت زیرآیند و حجم محلول مورد نیاز، B غلظت محلول مورد استفاده برای آلوده کردن سطح و C میزان آلودگی مورد نظر بر حسب  $\text{mg/m}^2$  است. روش‌های دیگر آزمایشگاهی شامل قرار دادن زیرآیندها در دستگاه مهنمکی برای مدت زمان مشخص تحت پاشش با محلول‌هایی حاوی مقادیر مختلف از نمک‌های مورد نظر است [۳۳، ۳۴].

#### ۶- نتیجه‌گیری

با وجود تأثیر منفی آلودگی نمک بر عملکرد پوشش‌های آلی، حذف کامل آنها از سطح زیرآیندها بدلیل هزینه‌های زیاد و کارایی کم روش‌های آماده‌سازی، عملاً غیرممکن است. لذا تعیین حد مجاز برای آن می‌تواند راهکار مناسبی باشد. به‌رحال تأثیر نوع و ضخامت پوشش، نوع آلودگی نمک و محیط کاربری پوشش بر حد مجاز آلودگی موجود بر سطح زیرآیندها خود از چالش‌های تحقیقاتی در این حوزه است که می‌تواند زمینه‌ساز تولید نسل جدیدی از پوشش‌های آلی تحت عنوان پوشش‌های تحمل‌کننده سطح<sup>۵</sup> باشد که قادرند بدون افت محسوس در عملکردشان بر سطوح آلوده به نمک اعمال شوند. افزایش برهم‌کنش میان رنگدانه و پیونده، استفاده از پیوندهای آب‌گریز و نانورنگدانه‌های صفحه‌ای که کاهش آب تراوایی پوشش‌ها را در پی دارند زمینه‌ساز تولید پوشش‌های تحمل‌کننده سطح هستند [۳۷-۳۵، ۲۹].

پوشش‌های قدیمی، زدوده شده و هم‌زمان با افزایش زبری سطح، شرایط برای بهبود چسبندگی پوشش مهیا می‌گردد. به‌رحال این روش قابلیت حذف روغن‌ها، گریس‌ها و از همه مهم‌تر نمک‌های محلول را ندارد. روش‌های سایشی تر و واترجت‌ها تحت فشار زیاد و یا بسیار زیاد ( $35000-10000 \text{ psi}$ ) برای حذف نمک‌های محلول پیشنهاد شده‌اند. در روش‌های سایشی تر معمولاً یک جریان آب با فشار  $3000-1000 \text{ psi}$  به سر افشانه متصل می‌گردد. واترجت‌های فاقد مواد سایشی، با وجود حذف کامل نمک‌ها، توانایی ایجاد پروفایل بر روی سطح سازه و نیز زدودن محصولات خوردگی که محکم به سطح سازه چسبیده‌اند را ندارند [۲۶، ۲۷]. روش‌های دیگر آماده‌سازی سطح مانند تمیزکاری دستگاهی دستی و یا الکتریکی<sup>۱</sup> برای از بین بردن انواع نمک‌های محلول در سطح سازه‌های فلزی بسیار ناکارآمد هستند. مطالعات انجام شده توسط اپلمن<sup>۲</sup> و مومبر<sup>۳</sup> نشان می‌دهد که موثرترین راه حذف نمک‌های محلول از سطح سازه‌های فلزی استفاده از روش‌های سایشی تر و واترجت‌ها با فشار بسیار بالا است. روش‌های سایشی خشک با درجه‌های  $sa2$  و  $sa2^{1/2}$ ،  $sa3$  به ترتیب از نظر کارایی در رده‌های بعدی قرار دارند [۲۱، ۳].

#### ۵- میزان مجاز نمک

میزان مجاز نمک یا یون نشان‌دهنده غلظت بیشینه آلودگی ( $\text{mg/m}^2$ ) موجود بر سطح سازه است که کمترین تأثیر منفی را بر عملکرد پوشش در محیط کاربری آن دارد. تراوایی<sup>۴</sup> که خود تحت تأثیر ضخامت، ساختار و فرمولاسیون پوشش‌ها است عامل تعیین‌کننده‌ای در میزان مجاز نمک است. کاهش تراوایی پوشش‌ها که با افزایش ضخامت و چگالی شبکه‌ای شدن پوشش و نیز استفاده از رنگدانه‌های صفحه‌ای حاصل می‌شود می‌تواند موجب افزایش حد مجاز آلودگی نمک گردد. علاوه بر تراوایی، شرایط کاربری پوشش و نوع آلودگی نیز بر میزان مجاز نمک موثر هستند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر  $6^\circ\text{C}$  افزایش دمای کاربری پوشش می‌تواند موجب کاهش  $10 \text{ mg/m}^2$  از میزان مجاز آلودگی نمک گردد. آسان‌تر شدن نفوذ آب به داخل پوشش در نتیجه انبساط پوشش و کانال‌های مویینه موجود در آن می‌تواند دلیل کاهش میزان مجاز آلودگی نمک در اثر افزایش دما باشد. وجود هم‌زمان دو نوع نمک بر سطح زیرآیند نیز کاهش حد مجاز نمک را در پی دارد. همچنین پوشش‌های حاوی رنگدانه‌هایی با قابلیت واکنش‌پذیری با نمک‌ها مانند روی و اکسید سرب دارای حد مجاز بالاتری از سایر پوشش‌ها هستند. میزان مجاز نمک برای سازه‌های مستقر در اتمسفرهای صنعتی بیشتر از محیط‌های دریایی است. همچنین میزان مجاز آلودگی برای نمک‌های سولفات و نیترات معمولاً ۲ تا ۳ برابر نمک‌های کلریدی است. بر این اساس برای هر

<sup>5</sup> Surface tolerant coatings

<sup>1</sup> Power and hand tool cleaning method

<sup>2</sup> Appleman

<sup>3</sup> Momber

<sup>4</sup> Permeability

1. M. Morcillo, "Soluble salts: their incidence on protection of metallic structures by paint coatings", *Rew. Met.* 219-227, **2003**.
2. D. de la Fuente, B. Chio, M. Morcillo, "The effects of salts at the metal/paint interface: Advances in knowledge", *Portugaliae Electrochim. Acta*, 24, 191-206, **2006**.
3. A. Momber, "Aspects of salt concentration on prepared steel substrates", *J. Protective Coat. Linings*, 2, 2-8, **2006**.
4. International Organization for Standard, "ISO 8520-2: 1992", Preparation of steel substrates before application of paints and related products, test for the assessment of surface cleanliness, part 2: Laboratory determination of chloride on cleaned surfaces, **1992**.
5. International Organization for Standard "ISO 8520-5:1998", Preparation of steel substrates before application of paints and related products, test for the assessment of surface cleanliness, part 5: Measurement of chloride on steel surfaces prepared for painting, **1998**.
6. International Organization for Standard, "ISO 8502-6: 1995", preparation of steel substrates before application of paints and related products, test for the assessment of surface cleanliness, part 6: Extraction of soluble contaminants for analysis-The Bresle method, **1995**.
7. International Organization for Standard, "ISO 8520-9: 1998", Preparation of steel substrates before application of paints and related products, test for the assessment of surface cleanliness, part 9: Field method for the conductometric of water soluble salts ion detection tube method, **1998**.
8. International Organization for Standard "ISO 8520-10: 1999", Preparation of steel substrates before application of paints and related products, test for the assessment of surface cleanliness, Part 10: Field method for the titrimetric determination of water-soluble chloride, **1999**.
9. [9] International Organization for Standard, "ISO 8520-12: 2003", Preparation of steel substrates before application of paints and related products, test for the assessment of surface cleanliness, Part 12: Field method for the titrimetric determination of water-soluble ferrous ions, **2003**.
10. Steel Structures Painting Council, SSPC Technology Guide 15, "Field methods for retrieval and analysis of soluble Salts on steel and other nonporous surfaces", **2005**.
11. American Society for Testing and Materials, ASTM Draft 9 of Work Item 3049, "Standard test methods for assessing the concentration of soluble chlorides on abrasive blast cleaned metallic surfaces", **2010**.
12. M. Morcillo, J. Simancas, "Effects of soluble salts on coating life in atmospheric services", *J. Protective Coat. Linings*, 9, 40-52, **1997**.
13. M. Morcillo, "Soluble salts: their effect on premature degradation of anticorrosive paints", *Prog. Org. Coat.* 36, 137-147, **1999**.
14. H. Mitschke, "Effects of chloride contamination on the performance of tank and vessel linings", *J. Protective Coat. Linings*, 3, 49-56, **2001**.
15. C. P. Ukpaka, "Detrimental effect of water soluble contaminant on steel/paint interface", *Am. Multidisciplinary Int. Res. J.*, 2, 1-4, **2014**.
16. M. Morcillo, F. J. Rodríguez, J. M. Bastidas, "The influence of chlorides, sulphates and nitrates at the coating-steel interface on underfilm corrosion", *Prog. Org. Coat.* 31, 245-253, **1997**.
17. K. B. Tator, "Soluble salts and coatings- an overview, part 1: A summary of recent research on allowable amounts of salts tolerated beneath coatings", *J. Protective Coat. Linings*, 2, 50-63, **2010**.
18. M. Zafari, "Studying the effects of chloride ions Concentration on the performance of a solvent free epoxy polyamine coating", MS.c. thesis, Islamic Azad University, Mahshahr Branch, Mahshahr, Iran, **2014**.
19. H. Kholgh Nik, "Studying the effects of chloride ions concentration on the performance of a solvent free polyurethane coating", MS.c. thesis, Islamic Azad University, Mahshahr Branch, Mahshahr, Iran, **2014**.
20. M. GHaedi, "Studying the effects of chloride ions concentration on the performance of an alkyd coating system", MS.c. thesis, Islamic Azad University, Mahshahr Branch, Mahshahr, Iran, **2014**.
21. B. R. Appleman, "Advances in technology and standards for mitigating the effects of soluble salts", *J. Protective Coat. Linings*, 5, 42-47, **2002**.
22. L. D. Deter-Hoskin, New methods for testing and extraction of soluble salts, <http://www.paintsquare.com/webinars/?fuseaction=webinar&action=view&webinarID=137>, 19 June, **2013**.
23. [23] N. Frankhuizen, "Measuring NaCl, salts and soluble contaminations with Bresle patches, part 1", *Mater. Perform.*, 11, 36-39, **2009**.
24. N. Frankhuizen, "Measuring NaCl, salts and soluble contaminations with Bresle patches, part 2", *Mater. Perform.*, 12, 34-37, **2009**.
25. H. Peters, "Measuring surface salts: conductivity vs. ion specific testing", *Mater. Perform.*, 10, 42-46, **2010**.
26. H. Peters, "Surface preparation chemicals for salt decontamination or flash rust inhibition", *Mater. Perform.*, 43, 28-30, **2004**.
27. L. M. Frenzel, "How does waterjet cleaning affect the surface and surface preparation?", *J. Protective Coat. Linings*, 1, 44-55, **2010**.
28. N. Tahmassebi, "Water permeability of polymeric coatings", *J. Stud. Color World*, 4, 63-70, **2015**.
29. R. Jain, M. Wasnik, A. Sharma, M. KrBhadu, T. K. Rout, A. S. Khanna, "Development of epoxy based surface tolerant coating improved with Zn dust and MIO on steel surfaces", *J. Coat.*, 1-15, **2014**.
30. D. de la Fuente, M. Bohm, C. Houyoux, M. Rohwerder, M. Morcillo, "The settling of critical levels of soluble salts for painting", *Prog. Org. Coat.* 58, 23-32, **2007**.
31. Sh. W. M. Guan, A. Kehr, "High temperature cathodic disbondment testing for pipeline coatings, in proceedings of the corrosion conference", Texas, USA, **2014**.
32. M. Yaseen, W. Funke, "Effect of temperature on water absorption and permeation properties of coatings", *J. oil & Chem. Association*, 61, 284-291, **1978**.
33. D. de la Fuente, J. Simancas, M. Morcillo, "Effect of variable amounts of rust at the steel/paint interface on the behaviour of anti-corrosive paint systems", *Prog. Org. Coat.* 46, 241-249, **2003**.
34. D. de la Fuente, B. Chico, and M. Morcillo, "A new contamination method for testing the effect of soluble salts", *J. Protective Coat. Linings*, 4, 22-27, **2003**.
35. H. Shi, F. Liu, E. Han, Y. Wei, "Effects of Nano pigments on the corrosion resistance of alkyd coating", *J. Mater. Sci. Technol.*, 23, 551-558, **2007**.
36. B. Liu, Y. Li, "Effect of PVC on the diffusion behavior of water through alkyd coatings", *Corrosion Sci.*, 44, 2657-2664, **2002**.
37. A. Q. Fu, Y. F. Cheng, "Characterization of the permeability of a high performance composite coating to cathodic protection and its implications on pipeline integrity", *Prog. Org. Coat.*, 72, 423-428, **2011**.