



## اعمال و بررسی مقاومت به خوردگی پوشش نانو کامپوزیت کیتوسان/اکسید سربیم روی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴

محسن مقدسی<sup>۱</sup>، حسین حسن نژاد<sup>۲</sup>، احسان صائب نوری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران (کارشناسی ارشد)

<sup>۲</sup> گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، اراک، ایران (استادیار)

<sup>۳</sup> مرکز تحقیقات مواد پیشرفته، دانشکده مهندسی مواد، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران (استادیار)

### چکیده

در این پژوهش، پوشش اکسید سربیم در حضور بیوپلیمر کیتوسان به روش غوطه‌وری، بر سطح آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ اعمال شد و رفتار خوردگی آلیاژ در غیاب و حضور پوشش در محلول ۳/۵٪ از NaCl مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج آزمون پلاریزاسیون تافل، دانسیته جریان خوردگی نمونه همراه با پوشش کیتوسان/اکسید سربیم مقاومت به خوردگی بالاتری را در مقایسه با نمونه بدون پوشش نشان می‌دهد. مطابق با نتایج آزمون و امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) نیز، نمونه بدون پوشش با توجه به مدار معادل، شامل یک ثابت زمانی است که مربوط به لایه رویین موجود بر روی آلومینیوم می‌باشد. اما در نمونه همراه با پوشش کیتوسان/سربیم، دو ثابت زمانی وجود دارد که ثابت زمانی اول مربوط به پوشش ایجاد شده بر روی سطح است که مقاومت آن مقاومت تخریب می‌باشد و ثابت زمانی دوم مربوط به فصل مشترک زیرلایه و پوشش می‌باشد و مقاومت آن مقاومت انتقال بار را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج بدست آمده، پوشش کیتوسان/سربیم توسط روش غوطه‌وری بر روی سطح قرار گرفته و مقاومت به خوردگی بالاتری را نسبت به آلیاژ آلومینیوم بدون پوشش در محلول خورنده ۳/۵٪ از NaCl نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اکسید سربیم؛ کیتوسان؛ خوردگی؛ آلیاژ آلومینیوم؛ پلاریزاسیون؛ امپدانس الکتروشیمیایی.

<sup>1</sup> Mohsen\_moghaddasi2002@yahoo.com

## مقدمه

پیشگیری، کاهش و حذف آلودگی‌های محیط‌زیست، مهمترین دستور کار در قرن حاضر است. اصولاً پوشش‌های ضد خوردگی به عنوان یک سد از نفوذ اجزاء خوردنده مثل آب و اکسیژن جلوگیری می‌کنند. در صورتی که یک جزء بازدارنده به پوشش اضافه شود، واکنش‌های آندی و کاتدی را مختل و احتمال تخریب‌پذیری زیرلایه را کاهش می‌دهند. جلوگیری از خوردگی فلزات و آلیاژها در صنایع مختلف به دلیل جذب قوی پوشش بر سطح، توسط نیتروژن، سولفور و اکسیژن است. بنابراین بیوپلیمرها با داشتن این خواص، حفاظت از خوردگی بهتری را ایجاد می‌کنند. بیوپلیمر منجر به ایجاد یک زنجیره پلیمری در جهت حذف مولکول‌های آب موجود بر سطح می‌شود. پوشش‌های بیوپلیمر، جایگزین غیرسمی برای پلیمرهای شیمیایی هستند که علاوه بر تجدیدپذیر بودن، ارزان‌قیمت هستند. از ویژگی‌های یک پوشش بیوپلیمر می‌توان به ستنز آسان، پایداری زیاد، عدم انحلال در آب و عدم تشکیل ترکیبات سمی اشاره کرد [۱،۲].

پوشش‌های بیوپلیمر مورد استفاده، باید خواص سدی مناسب، چسبندگی قوی با زیرلایه و خواص ضد خوردگی بالا داشته باشد. چسبندگی مناسب پوشش به زیرلایه، نفوذپذیری عوامل خوردنده مثل اکسیژن را به سطح فلز یا آلیاژ به حداقل ممکن می‌رساند. میزان چسبندگی این پوشش‌ها، یکی از پارامترهای موثر در جلوگیری از خوردگی در محیط‌های خوردنده به شمار می‌رود [۳]. مطابق با استانداردهای خوردگی، برای جلوگیری از خوردگی فلزات و آلیاژها، ضخامت پوشش باید بین  $250\ \mu\text{m}$  تا  $400\ \mu\text{m}$  باشد [۴،۵].

بیوپلیمر کیتوسان زیرمجموعه پلی‌ساکاریدها است. کیتوسان از پوسته خارجی سخت‌پوستان مثل خرچنگ و میگو بدست می‌آید که دلیل خواص سدی و ضد خوردگی این بیوپلیمر است. این بیوپلیمر غیرسمی، قابل تجزیه و دارای خواص آنتی‌باکتریال است. ساختار شیمیایی کیتوسان در شکل ۱ نشان داده شده است [۵]. منابع بیوپلیمر کیتوسان در طبیعت به سه دسته حیوانات دریایی، حشرات و میکروارگانیسم‌ها تقسیم می‌شوند. از حیوانات دریایی حاوی بیوپلیمر کیتوسان، می‌توان به نرم‌تنان، سخت‌پوستان، سوسک، خرچنگ و میگو اشاره کرد. عقرب، عنکبوت و مورچه از حشرات حاوی بیوپلیمر کیتوسان است و از میکروارگانیسم‌های حاوی کیتوسان می‌توان به جلبک سبز و قهوه‌ای، قارچ‌ها و مخمرها اشاره کرد [۶].

در سال‌های اخیر، عناصر کمیاب به عنوان جایگزین مناسب برای پوشش‌های سمی کروماته استفاده شده است. این مواد در PH‌های بالا بازده مناسبی دارند و در محیط‌های قلیایی نیز شرایط خوبی ایجاد می‌کنند. سریم دومین عضو گروه لانتانیدها می‌باشد و دومین سری عنصر فعال لانتانیدها می‌باشد [۷]. ترکیبات سریم نه تنها منجر به افزایش مقاومت به خوردگی قابل مقایسه با کرومات می‌شوند، بلکه مشخص شده است که سریم سمی و سرطان زانمی‌باشد. نمونه‌های سریم همچنین می‌توانند بصورت آندی مانع خوردگی شوند. کراسلند و همکارانش<sup>۱</sup> نشان

<sup>1</sup>. Crossland et al.

دادند که آلومینیوم هنگامی که با سریم آلیاژ می‌شود، آلیاژ بصورت آندی اکسید و تشکیل لایه ای از اکسید می‌دهد. علاوه بر مقاومت به خوردگی مناسب پوشش‌های بر پایه سریم، کاربرد اپتیکی و الکترونیکی این پوشش‌ها و استفاده از آنها در سنسورها، در صنایع مختلف، مورد ارزیابی قرار گرفته است [۸،۹،۱۰،۱۱]. روش‌های مختلفی برای تشکیل پوشش‌های اکسید سریم در سال‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است که از میان این روش‌ها، روش‌های غوطه‌وری، الکترولیتی، اسپری کردن، روش رسوب بخار شیمیایی و همچنین روش سل-ژل، بیشتر مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. اولین تلاش‌های محققین برای تشکیل پوشش اکسید سریم شامل غوطه‌وری نمونه‌ها در محلول حاوی یون سریم برای مدت زمانهای بسیار طولانی بود.

در سال‌های اخیر، از پوشش‌های بر پایه سریم و بیوپلیمر کیتوسان، جهت بررسی مقاومت به خوردگی آلیاژهای مختلف، استفاده شده است. هیل<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۱، از سریم دفتیل فسفات ( $Ce(dpp)_4$ ) برای جلوگیری از خوردگی آلیاژهای آلومینیوم سری ۷۰۰۰ استفاده کرد [۱۲]. آقای کومار<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۶، برای افزایش مقاومت خوردگی پوشش بیوپلیمر کیتوسان از بازدارنده‌ها و جزء چسبنده استفاده کرد. در این پژوهش، از وانادات به عنوان جزء بازدارنده و از سیلان برای ایجاد پیوندهای قوی با سطح زیرلایه استفاده شد [۱۳].

لوندوال<sup>۳</sup> در سال ۲۰۰۷، تاثیر بیوپلیمر کیتوسان همراه با یون‌های مس برای جلوگیری از خوردگی آلیاژ ۲۰۲۴ را مورد بررسی قرار داد [۱۴]. ژلود کویچ<sup>۴</sup> در سال ۲۰۱۱، تاثیر پوشش بیوپلیمر کیتوسان به همراه یون‌های سریم و پوشش سل‌ژل برای جلوگیری از خوردگی آلیاژ ۲۰۲۴ را، مورد بررسی قرار داد [۱۵]. در ادامه، کارنیرو<sup>۵</sup> در سال ۲۰۱۳، تاثیر پوشش بیوپلیمر کیتوسان به همراه بازدارنده مرکابتونزوتیازول (MBT) برای جلوگیری از خوردگی آلیاژ ۲۰۲۴ را مورد بررسی قرار داد. در حضور بازدارنده و پوشش بیوپلیمر کیتوسان، مقاومت به خوردگی، به شدت افزایش یافته است [۱۶].

از لحاظ خصوصیات شیمیایی، کیتوسان در آب نامحلول است. این بیوپلیمر به طور خود به خود بر سطح آلیاژ یا اکسیدهای سطحی جذب می‌شود. گروه‌های آمینی و هیدروکسیلی موجود در این بیوپلیمر وظیفه جلوگیری از خوردگی را بر عهده خواهند داشت. بررسی‌ها نشان می‌دهد این بیوپلیمر، آب‌دوست بوده و آب موجود بر سطح را از بین می‌برد که ممکن است چسبندگی پوشش را کاهش دهد؛ بنابراین برای افزایش قدرت پیوند کیتوسان از اضافه‌کننده‌ها مثل سیلان و برای کاهش خاصیت آب‌دوستی آن از دکسترین استفاده می‌شود [۱۷،۱۸]. در تحقیق حاضر، رفتار خوردگی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴، در حضور پوشش کیتوسان/سریا به روش غوطه‌وری، مورد ارزیابی خوردگی الکتروشیمیایی در محلول نمک طعام قرار می‌گیرد.

## مواد و روش تحقیق

1. Julie-Anne Hill

2. G. Kumar

3. O. Lundvall

4. M. L. Zheludkevich

5. J. Carneiro

ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ مورد استفاده در پژوهش، در جدول ۱، نشان داده شده است. جهت اعمال پوشش کیتوسان/سریا، محلول پوشش تبدیلی اکسید سریم، از انحلال ۰/۰۰۵ مول از نمک کلرید سریم هپتاهیدرال ( $CeCl_3 \cdot 7H_2O$ ) در آب دیونیزه شده به دست می‌آید. پس از انحلال نمک کلرید سریم هپتاهیدرال در آب دیونیزه شده، ۱/۸ گرم در لیتر آب اکسیژنه (۳۰٪  $H_2O_2$ )، که نقش کاتالیزوری در تشکیل پوشش اکسید سریم دارد به آن اضافه می‌شود. در انتها مقداری گلیسرول برای یکنواختی و ریزدانگی بیشتر پوشش‌های اکسید سریم به محلول پوشش دهی اضافه شد. مقدار کیتوسان در پوشش، ۰/۲ درصد در نظر گرفته شد. برای نگه داشتن pH در یک رنج مشخص ۴-۴/۵ از اسید استیک و استات سدیم که بصورت یک محلول بافری عمل می‌کند، استفاده شد.

فرآیند آماده سازی نمونه‌های آلیاژی برای انجام فرآیند پوشش دهی شامل سنباده زنی نمونه‌ها تا سنباده ۱۲۰۰، چربی گیری با استون برای مدت زمان ۵ دقیقه، شستشو با آب دیونیزه شده برای مدت زمان ۵ دقیقه شستشو با محلول قلیایی NaOH (۳/۵٪) به مدت زمان ۱ دقیقه، شستشو با آب دیونیزه شده به مدت زمان ۵ دقیقه، شستشو با محلول اسیدی (اسید کلریدریک ۱۰٪) و در نهایت، شستشو با آب دیونیزه شده به مدت زمان ۵ دقیقه بود. پس از آماده سازی نمونه‌ها، نمونه‌های آلومینیومی ۲۰ دقیقه در محلول پوشش دهی کیتوسان/سریا غوطه‌ور شدند. پس از طی شدن مدت زمان‌های ذکر شده، نمونه‌ها از محلول خارج می‌شوند و پس از خارج شدن با آب دیونیزه شده برای مدت زمان ۵ دقیقه شسته می‌شوند. برای خشک شدن، نمونه‌ها پس از پوشش دهی در دمای محیط برای مدت زمان ۲۴ ساعت قرار می‌گیرند.

پس از اعمال پوشش کیتوسان/سریا، ریزساختار پوشش بدست آمده، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل TESCAN مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه، رفتار خوردگی نمونه‌ی آلیاژ آلومینیوم در غیاب و حضور پوشش کیتوسان/سریا، توسط دستگاه پتانسیواستات مدل Parstat 2273 مورد بررسی قرار گرفت. آزمون‌های پلاریزاسیون تافل و امپدانس الکتروشیمیایی، در این مرحله بر روی نمونه انجام گرفت و رفتار خوردگی در غیاب و حضور پوشش، مورد مقایسه قرار گرفت. برای رسیدن به شرایط پایا قبل از انجام آزمون پلاریزاسیون تافل، هر نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۳/۵٪ از NaCl قرار گرفت و سپس آزمون انجام شد. آزمون‌های پلاریزاسیون تافل در محدوده پتانسیل ۲۵۰mV کمتر و ۵۰۰mV بیشتر از پتانسیل مدار باز انجام شد. آزمون امپدانس الکتروشیمیایی نیز، در محدوده فرکانس ۱۰۰ کیلو هرتز تا ۱۰ میلی هرتز صورت پذیرفت. داده‌های کمتر از ۹۰ میلی هرتز به دلیل وجود خطا و نویز حذف گردید.

### نتایج و بحث

پس از اعمال پوشش کیتوسان/سریا به روش غوطه‌وری بر سطح آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴، تصاویر میکروسکوپی از پوشش ایجاد شده بر روی سطح توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی، مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۱، تصاویر SEM از پوشش اعمالی بر سطح آلیاژ را نشان می‌دهد. در ادامه، رفتار خوردگی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴

در غیاب و حضور پوشش به همراه ۰/۲ درصد کیتوسان، مورد بررسی قرار گرفت. با وجود پوشش بر روی آلومینیوم مشخص می شود که نمودار تافل کمی به سمت چپ شیفت کرده که نشان دهنده کاهش دانسیته جریان خوردگی می باشد. همچنین نمودار تافل با وجود پوشش بر روی آلیاژ آلومینیوم به سمت پایین شیفت پیدا کرده است که می توان به پتانسیل تعادلی محیط نسبت داد به صورتی که پتانسیل تعادلی محیط با وجود کیتوسان/سریا، فعال تر از محیط بدون پوشش است؛ به همین دلیل نمودار آن پایین تر از نمودار محیط بدون پوشش است.

شکل ۲، منحنی های پلاریزاسیون تافل از نمونه های آلیاژی در محلول ۳/۵٪ NaCl را نشان می دهد. پارامترهای الکتروشیمیایی بدست آمده ناشی از آزمون پلاریزاسیون نیز، در جدول ۲، آورده شده است. با توجه نتایج بدست آمده در مورد نمودارهای تافل، دانسیته جریان خوردگی برای نمونه پوشش دار ( $10^{-6} \times 2/47$  آمپر بر سانتیمتر مربع) کمتر از نمونه بدون پوشش ( $10^{-6} \times 4/35$  آمپر بر سانتیمتر مربع) است. نکته قابل توجه دیگر را می توان به پتانسیل شکست این دو نمونه نسبت داد به صورتی که نمونه پوشش دار پتانسیل بالاتر و مثبت تری ( $534/4$  میلی ولت) نسبت به نمونه بدون پوشش ( $575/8$  میلی ولت) دارد که این توضیح، مقاومت بیشتر به جوانه زنی حفره در مورد نمونه پوشش دار همراه با بازدارنده را نسبت به نمونه بدون پوشش نشان می دهد.

شکل ۳، منحنی های نایکوئیست از نمونه ی آلیاژی در غیاب و حضور پوشش کیتوسان/سریا را نشان می دهد. برای تحلیل داده های حاصل از منحنی های نایکوئیست و شبیه سازی رفتار خوردگی، بایستی نتایج بدست آمده را با یک مدار الکتریکی معادل، مطابقت داد. مدار معادل بدست آمده از آزمون امپدانس الکتروشیمیایی در شکل ۴ (a و b)، نشان داده شده است. در قسمت a که مربوط به نمونه بدون پوشش است ابتدا مقاومت محلول مشاهده می شود و با رسیدن به فصل مشترک زیرلایه و محلول یک خازن مشاهده می شود که بایک خازن غیر ایده آل و یک مقاومت موازی با آن نشان داده می شود. و در قسمت b که مدار معادل نمونه پوشش دار را نشان می دهد دو مدار معادل مشاهده می شود که در ابتدا مقاومت محلول را نمایانگر می کند و سپس با رسیدن به فصل مشترک پوشش و محلول و یا به عبارتی بازدارنده و محلول یک خازن نمایانگر می شود و سپس به دلیل اینکه پوشش دارای حفره است محلول به درون حفره نفوذ کرده و به فصل مشترک زیرلایه و پوشش می رسد که آن هم بیانگر یک خازن دیگر است. پارامترهای الکتروشیمیایی بدست آمده از آزمون امپدانس الکتروشیمیایی نیز، در جدول ۳ آورده شده است. در نمونه بدون پوشش با توجه به اطلاعات بدست آمده از مدار معادل نمودارهای امپدانس مشخص می شود که شامل یک ثابت زمانی است و آن هم مربوط به لایه پاسیو موجود بر روی آلیاژ آلومینیوم می باشد (لایه دوگانه در فصل مشترک لایه پاسیو و محلول) و مقاومت آن مقاومت انتقال بار را نشان می دهد.

در نمونه پوشش دار همراه با بازدارنده، دو ثابت زمانی مشخص می شود که اولی را شاید بتوان مربوط به پوشش روی آلیاژ آلومینیوم دانست و مقاومت آن مقاومت داخل تخلخل را نشان می دهد و ثابت زمانی دوم مربوط به فصل مشترک لایه پاسیو و پوشش است و مقاومت آن مقاومت انتقال بار را نشان می دهد که برابر ۶۵۱۴ اهم

می باشد که نشان دهنده ی افزایش مقاومت انتقال بار است این در حالی است که مقاومت انتقال بار در نمونه بدون پوشش برابر  $5000$  اهم بود. پس هرچه پوشش وظیفه خود را به خوبی انجام دهد، مقاومت انتقال بار افزایش می یابد. نتایج بدست آمده از آزمون امپدانس الکتروشیمیایی، نتایج آزمون پلاریزاسیون را تایید می کند. قطر نیم دایره در منحنی های نایکویست نیز، از دیگر روش های ارزیابی مقاومت به خوردگی پوشش است. مطابق با شکل ۳، قطر نیم دایره برای نمونه ی آلیاژی همراه با پوشش اکسید سریم، بیشتر از نمونه ی بدون پوشش است و مقاومت به خوردگی بالاتر نمونه همراه با پوشش را تایید می کند.

### نتیجه گیری

- ۱) مطابق با بررسی های میکروسکوپی، روش پوشش دهی غوطه وری، پوشش متراکم و یکنواختی از اکسید سریم بر سطح آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴، ایجاد می کند.
- ۲) مطابق با نتایج آزمون پلاریزاسیون تافل، دانسیته جریان خوردگی پوشش کیتوسان/سریا برابر  $10^{-6} \times 2/47$  آمپر بر سانتیمتر مربع و برای نمونه بدون پوشش برابر  $10^{-6} \times 4/35$  است، بنابراین، می توان نتیجه گرفت که نمونه پوشش دار در مقایسه با نمونه بدون پوشش، مقاومت به خوردگی بالاتری را نتیجه می دهد.
- ۳) بر اساس نتایج آزمون امپدانس الکتروشیمیایی امپدانس کل برای نمونه پوشش دار و نمونه بدون پوشش تقریباً برابر  $10^4$  اهم است.

### مراجع

1. D. Plackett, "Biopolymers – New Materials for Sustainable Films and Coatings", *John Wiley and Sons Ltd*, 2011.
2. A.K. Mohanty, M. Misra and L.T. Drzal, "Natural fibers, Biopolymers and Biocomposites", *Taylor & Francis Group*, 2005.
3. G. Grundmeier and M. Stratmann, "Adhesion and de-adhesion mechanisms at polymer/metal interfaces: Mechanistic understanding based on in situ studies of buried interfaces", *Annu. Rev. Mater. Res*, 35, 2005, 571-615.
4. E. Sharmin, S. Ahmad and F. Zafar, "Renewable Resources in Corrosion Resistance", *india*, 2005.
5. Victoria L. Finkenstadt, "Natural polysaccharides as electroactive polymers", *Appl Microbiol Biotechnol*, 67, 2005, 735-745.
6. M. R. Yates and C. Y. Barlow, "Life cycle assessments of biodegradable, commercial biopolymers-A critical review", *Resources, Conservation and Recycling*, 78, 2013, 54-66.
7. M. Bethrcourt, F. Botana, J. Calvino and M. Marcos, "Lanthanide compounds as environmentally friendly corrosion inhibitors of aluminum alloys: A review", *Corrosion Science*, 39, 1998, 1803-1819.
8. Özer, N, "Optical properties and electrochromic characterization of sol-gel deposited ceria films", *Solar Energy Materials Solar Cells*, 68, 2001, 391-400.
9. Kang, J., Liu, X., Lian, G. and Zhang, Z., *Microelectronic Engineering*, 56, 2001, 191-194.

10. N. Izu, T. Itoh, M. Nishibori, I. Matsubara and W. Shin, "Effects of noble metal addition on response of ceria thick film CO sensors", *Sensors And Actuators B*, 2012, 350-353.
11. A. Khodadadi, S. Mohajerzadeh, Y. Mortazavi and A. Miri, "Cerium oxide/SnO<sub>2</sub>-based semiconductor gas sensors with improved sensitivity to CO", *Sensors and Actuators B*, 80, 2001, 267-271.
12. Julie-Anne Hill, Tracey Markley and Maria Forsyth, "Corrosion inhibition of 7000 series aluminium alloys with cerium diphenyl phosphate", *Journal of Alloys and Compounds* 509, 2011, 1683-1690.
13. G. Kumar and R. G Buchheit, "Development and characterization of corrosion resistant coating using natural biopolymer chitosan", *ECS Transactions*, 1 (9), 2006, 101-117.
14. O. Lundvall, M. Gulppi, M.A. Paez, E. Gonzalez, J.H. Zagal, J. Pavez and G.E. Thompson, "Copper modified chitosan for protection of AA-2024", *Surface & Coatings Technology*, 201, 2007, 5973-5978.
15. M. L. Zheludkevich, J. Tedim, C. S. R. Freire, S. C. M. Fernandes, S. Kallip, A. Lisenkov, A. Gandinia and M. G. S. Ferreira, "Self-healing protective coatings with "green" chitosan based pre-layer reservoir of corrosion inhibitor", Cite this: *J. Mater. Chem.*, 2011.
16. J. Carneiro, J. Tedim, S.C.M. Fernandes, C.S.R. Freire, A. Gandini, M.G.S. Ferreira and M.L. Zheludkevich, "Functionalized chitosan-based coatings for active corrosion protection", *Surface & Coatings Technology*, 226, 2013, 51-59.
17. M. Kong, X. Chen, K. Xing and H. Park, "Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review", *International Journal of Food Microbiology*, 144, 2010, 51-63.
18. Z. Moridi, V. Mottaghitalab and A. K. Haghi, "A detailed review of recent progress in carbon nanotube/chitosan nanocomposites", *Cellulose chemistry and technology*, 45, 2011, 549-563.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴

آلیاژ	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Al
۲۰۲۴	۰/۵	۰/۵	۴/۵	۰/۵۳	۱/۴	۰/۳	۰/۱	باقیمانده

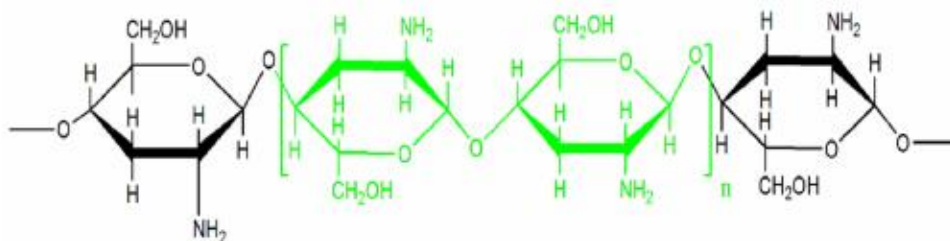
جدول ۲: پارامترهای الکتروشیمیایی از آزمون پلاریزاسیون Tafel در محلول ۳/۵٪ از نمک طعام

نمونه	E <sub>corr</sub> (mv)	I <sub>corr</sub> (A/cm <sup>2</sup> )	β <sub>A</sub> (v/decay)	β <sub>c</sub> (v/decay)	E <sub>b</sub> (mv)
آلیاژ ۲۰۲۴ بدون پوشش	۷۲۹/۸۶۵	$۴/۳۵ \times 10^{-۶}$	۱/۶۰	۰/۹۷	۵۷۵/۸
آلیاژ ۲۰۲۴ با حضور پوشش و ۰/۲٪ کیتوسان	۹۲۴/۷	$۲/۴۷ \times 10^{-۶}$	۱/۵۷	۰/۹۴	۵۳۴/۴

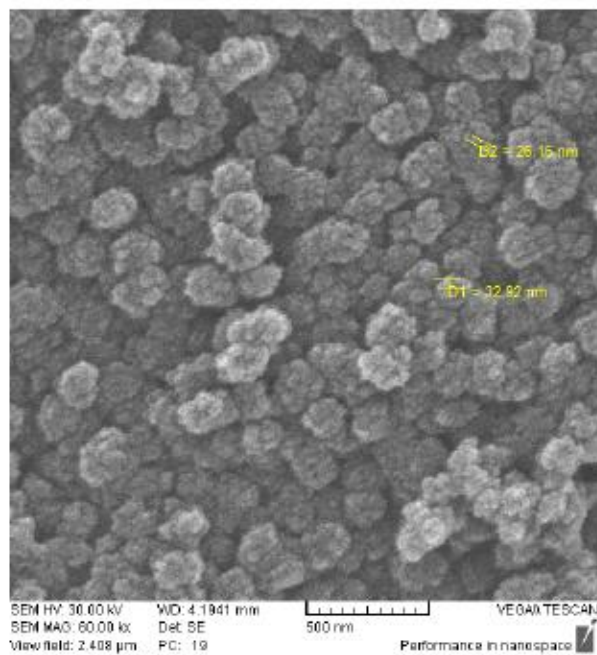
جدول ۳: پارامترهای الکتروشیمیایی از آزمون امپدانس الکتروشیمیایی در محلول ۳/۵٪ از نمک طعام

نمونه	R <sub>s</sub> (Ω)	C <sub>coat</sub> (F)	R <sub>por</sub> (Ω)	C <sub>dl</sub> (F)	R <sub>ch</sub> (Ω)
آلیاژ ۲۰۲۴ بدون پوشش	۲۷/۸۲			$۳/۹۵ \times 10^{-۵}$	۵۰۰۰
آلیاژ ۲۰۲۴ در حضور پوشش و ۰/۲٪ کیتوسان	۲۲/۲۲	$۱/۶۵ \times 10^{-۴}$	۳۱۴/۱۰	$۳/۷۲ \times 10^{-۵}$	۶۵۱۴

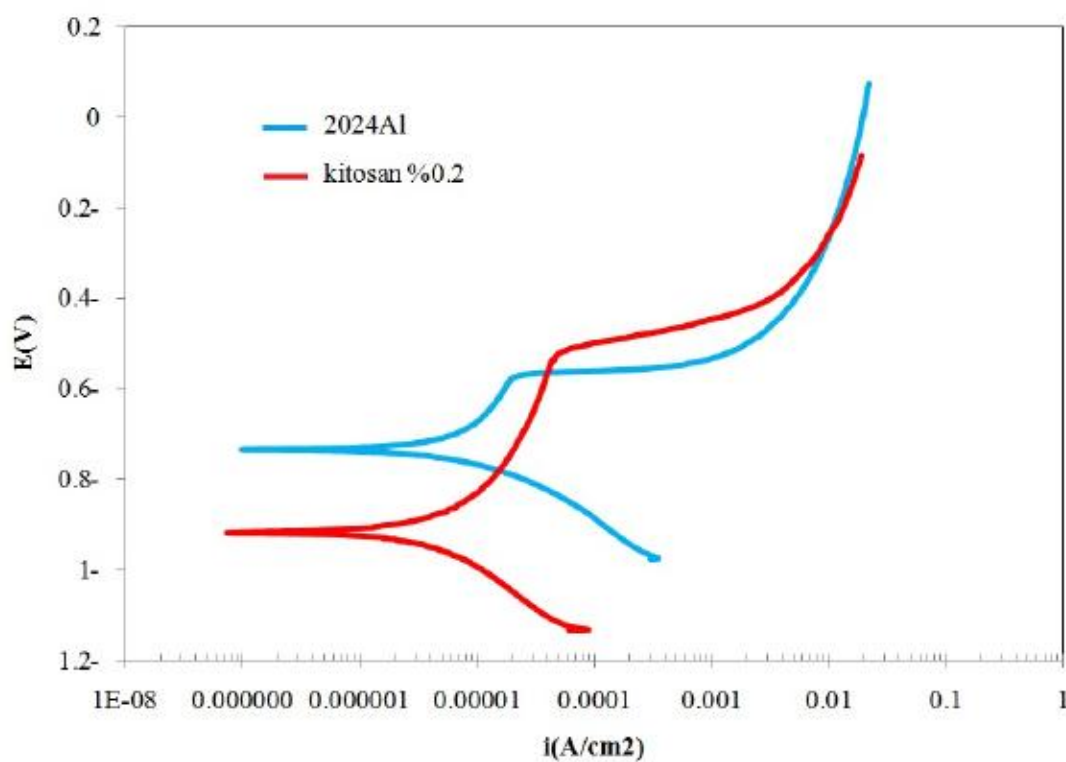




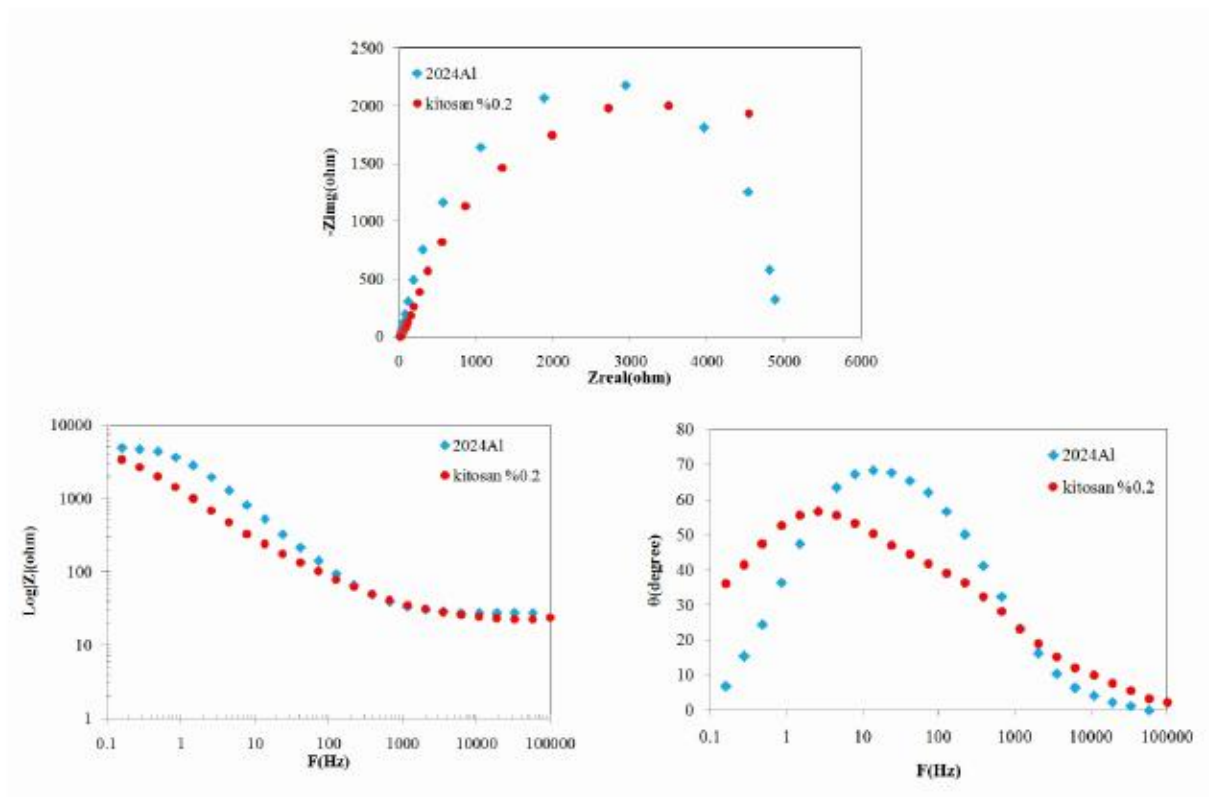
شکل ۱: ساختار شیمیایی بیوپلیمر کیتوسان [۵]



شکل ۱: تصاویر SEM از زیرلایه ی آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ در حضور پوشش کیتوسان/سربا به روش غوطه‌وری

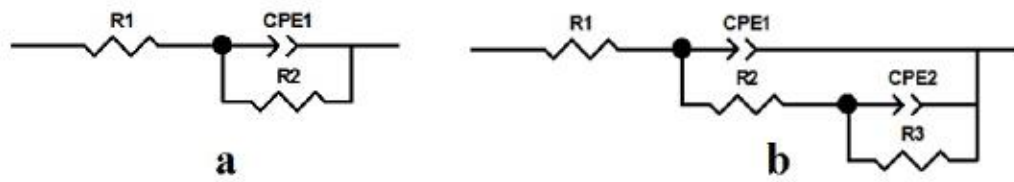


شکل ۲: منحنی پلاریزاسیون تافل از آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ در غیاب و حضور پوشش و ۰/۲٪ کیتوسان



شکل ۳: منحنی‌های نایکوویست، بد-فاز و بد-زرد از آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ در غیاب و حضور پوشش و ۰/۲٪ کیتوسان

شانزدهمین سمینار ملی مهندسی سطح



شکل ۴: مدار معادل از آلیاژ آلومینیوم ۲۰۲۴ در (a) غیاب و (b) حضور پوشش و ۰/۲٪ کیتوسان