

## طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی و اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی روی فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ و ۳۱۶ در محیط حاوی یون کلراید

محسن افروزه<sup>۱</sup>، مریم احتشام زاده<sup>۲</sup>، مهدی عطارچی<sup>۳</sup>

### چکیده

یون کلراید به عنوان یک عامل خورنده در محلولهای آبی شناخته شده است که می تواند جذب محل های ناقص روی سطوح فلزی مانند عیوب، ناخالصی ها و ذرات فاز ثانویه شود. این فرایند جذب می تواند ترکیب شیمیایی و خواص فیلم پسیو مانند هدایت الکتریکی را تغییر دهد و در نتیجه اثر حفاظتی فیلم پسیو کم شده و در بعضی مناطق که فلز در معرض الکترولیت قرار دارد شکسته و فلز تحت واکنش آندی خورده شده و حفره بوجود می آید. در این تحقیق طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) و اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی (ENA) روی دو فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰۴ و ۳۱۶ در محلول NaCl 3.5% wt انجام شد. مقاومت پلاریزاسیون  $R_p$  و مقاومت نویز  $R_n$  برای هر دو نوع فولاد زنگ نزن آستنیتی در محلول آزمایش با استفاده از امپدانس و نویز الکتروشیمیایی بررسی شد و توافق خوبی بین طیف نویز و طیف امپدانس مشاهده شد. داده های نویز الکتروشیمیایی در حوزه زمان تجزیه و تحلیل شدند و پارامترهای آماری مانند مقاومت نویز  $R_n$  و چولگی (skewness) و کشیدگی (kurtosis) و اندیس موضعی (LI) برای نوسانات پتانسیل و جریان محاسبه شد و مشخص شد که مقاومت نویز به بازه ای که اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی در آن انجام می شود بستگی دارد و مقاومت نویز بدست آمده در این تحقیق بسیار کوچکتر از مقاومت پلاریزاسیون بود.

واژه های کلیدی: فولاد زنگ نزن آستنیتی، طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی، اندازه گیری نویز الکتروشیمیایی

### ۱. مقدمه

# کنگره ملی خوردگی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خوردگی و حفاظت از مواد، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار، دانشکده مهندسی متالورژی و مواد، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- کارشناس ارشد مهندسی متالورژی، پژوهشگاه مواد و انرژی کرج

فولادهای زنگ نزن آستنیتی به دلیل داشتن مقاومت به خوردگی عالی در بسیاری از محیط های خورنده برای بسیاری از کاربردهای دریایی و پتروشیمی مناسب می باشند [1-7]. مقاومت به خوردگی بالای این نوع فولادها به دلیل تشکیل فیلم پسیو روی سطح فولاد می باشد [11-12]. تحقیقات گذشته نشان می دهد که این فیلم پسیو روی فولادهای زنگ نزن که در معرض محیط های آبی قرار می گیرند تشکیل می شود و مخلوطی از اکسید کروم و هیدروکسید همراه با آب می باشد. مقاومت به خوردگی این فیلم پسیو به وسیله عواملی مانند ترکیب شیمیایی آلیاژ و شرایط محیطی که فولاد های زنگ نزن در آن قرار می گیرند مشخص می شود [8]. اثر حفاظتی فیلم پسیو به پایداری و متراکم بودن آن بستگی دارد [7-9].

طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) به عنوان یک ابزار مهم برای بررسی لایه های پسیو و خوردگی حفره ای به کار می رود [9-10]. طی تحقیقاتی که بوسیله Mansfeld انجام شد به خوبی نشان داده شد که خوردگی حفره ای آلیاژهای آلومینیوم با تغییر در مشخصات طیف امپدانس می تواند آشکار شود [9]. از این روش می توان برای آشکار کردن و مانیتورینگ خوردگی مواد و آلیاژهای گوناگون از جمله خوردگی حفره ای فولاد های زنگ نزن استفاده کرد و زاویه فاز در این روش به عنوان یک شاخص خیلی حساس نسبت به خوردگی حفره ای می باشد [9]. تخمین سرعت رشد حفره بوسیله Manfeld انجام شد. رابطه بدست آمده بسیار شبیه آن چیزی بود که بوسیله Hounkeler و Boehni برای رشد حفره به صورت تابعی از زمان بدست آمد [11]. تحقیقات Scully نیز نشان می دهد که طیف امپدانس می تواند برای بررسی غیر فعال شدن و پسیویتی آلومینیوم و رفتار حفره دار شدن آن به کار رود [10].

روش نوین الکتروشیمیایی (ENA) بین همه روشهای الکتروشیمیایی که در تحقیقات خوردگی به کار می رود منحصر به فرد و بی همتاست. زیرا احتیاج به اعمال هیچگونه سیگنال خارجی برای جمع آوری داده های تجربی ندارد. علاوه بر این قیمت تجهیزات نوین در مقایسه با سایر روشهای الکتروشیمیایی بسیار ارزان تر است [4-6]. این تجهیزات ارزان شامل یک آمپر متر با مقاومت صفر (ZRA) و ولت متر دیجیتال می باشد و داده ها را می توان به آسانی جمع آوری نمود. اندازه گیری های نوین الکتروشیمیایی برای مطالعات خوردگی اولین بار در سال ۱۹۶۸ میلادی توسط Iversen تشریح شد. کارهای اولیه بیشتر رمی نوسانات نوین پتانسیل الکتروشیمیایی متمرکز شده بودند اما بعدها نوسانات جریان نوین هم مطالعه شد [6]. گاهی اوقات اندازه گیری های دقیق و معتبر نوین الکتروشیمیایی را می توان در زمان های کوتاهتری نسبت به زمان مورد نیاز برای امپدانس انجام داد. علاوه بر این با استفاده از این روش می توان پارامترهای خاصی مانند اندیس

موضوعی را از تجزیه تحلیل های آماری بدست آورد که اطلاعاتی درباره نوع و مکانیزم خوردگی می دهد [5].

## ۲. روش تحقیق

### ۲.۱. مواد و روشها

الکترودهای کاری از جنس فولاد زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ تهیه شدند. نمونه های مورد آزمایش از ورق هایی با ضخامت ۳ mm بریده شدند. سطح هر یک از نمونه ها  $1 \text{ cm}^2$  بود. برای برقراری اتصال الکتریکی به هر یک از نمونه ها یک سیم مسی لحیم و سپس نمونه ها مانع شدند. قبل از انجام آزمایشات هر یک از الکترودها تا ۱۲۰۰ پولیش و سپس با استفاده از اتانول چربی زدایی و در نهایت با آب مقطر شسته شدند.

محلول به کار رفته در تمام آزمایشات محلول 3.5% wt NaCl (آب دریا مصنوعی) بود با استفاده از آب مقطر و نمک NaCl مرک تهیه شد.

### ۲.۲. اندازه گیری های الکتروشیمیایی

#### ۲.۲.۱. اندازه گیری های امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)

اندازه گیری های امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) تحت پتانسیل مدار باز (OCP) با استفاده از پتانسیواستات EG&G M263A انجام شد. قبل از انجام هر آزمایش نمونه ها به مدت یک ساعت برای رسیدن به حالت پایدار (تغییرات کمتر از 5 mv در 5 دقیقه) در محلول آزمایش غوطه ور شدند برای انجام آزمایشات از سل سه الکترودی استفاده شد. در تمام آزمایشات از الکتروده اشباع کالومل SCE به عنوان الکتروده مرجع استفاده شد. پلاتین هم به عنوان الکتروده کمکی استفاده شد. طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی در رنج فرکانس 10 mHz تا 100 kHz انجام شد. برای بدست آوردن مدار معادل و تجزیه و تحلیل و شبیه سازی طیف های امپدانس بدست آمده از نرم افزار شبیه سازی Z-View استفاده شد.

#### ۲.۲.۲. اندازه گیری های نویز الکتروشیمیایی (ENA)

برای اندازه گیری های نویز الکتروشیمیایی از دو الکتروده کاری کاملاً مشابه و الکتروده اشباع کالومل SCE به عنوان مرجع استفاده شد. برای ثبت پتانسیل و جریان بصورت همزمان از دو دستگاه مولتی متر دیجیتال مدل APPA 207 که هر کدام از آنها بوسیله یک کامپیوتر کنترل می شدند،

استفاده شد. در این قسمت نیز الکترودهای کاری برای رسیدن به پایداری و تعادل قبل از انجام آزمایش به مدت یک ساعت در محلول آزمایش غوطه ور شدند اندازه گیری ها تحت پتانسیل مدار باز انجام شدند. برای اندازه گیری های پتانسیل و جریان نویز نرخ نمونه برداری دو نقطه در ثانیه بود و اندازه گیریهای پتانسیل و جریان نویز بصورت همزمان به مدت سی دقیقه انجام شد. تمامی پتانسیلهای ارائه شده در این تحقیق بر اساس SCE می باشد.

### ۳. نتایج و بحث

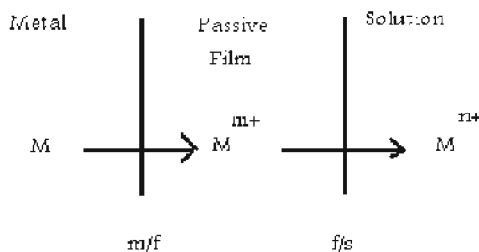
هنگامی که سطح برهنه و عاری از فیلم پسیو فولاد زنگ نزن در معرض محلول NaCl 3.5%wt قرار می گیرد و در آن غوطه ور می شود فیلم پسیو به طور طبیعی روی آن بوجود می آید. شکل ۱ شماتیک فصل مشترک بین فلز پسیو و محلول را نشان می دهد.

تشکیل و انحلال فیلم پسیو طی سه مرحله انجام می شود:

۱- اتمهای فلز از شبکه فلز به فصل مشترک فلز / فیلم نفوذ می کنند. اعتقاد عموم بر این است که این مرحله نمی تواند مرحله کنترل سرعت باشد.

۲- محله دوم فرایند انتقال جرم یونها از میان فیلم پسیو می باشد و این فرایند داخل فیلم پسیو اتفاق می افتد.

۳- مرحله سوم شامل فرایند انتقال بار در فصل مشترک فیلم پسیو / محلول می باشد. [1,2,7]



شکل ۱ - شماتیک فصل مشترک فلز/فیلم پسیو/محلول [7]

امپدانس نهایی فصل مشترک بین الکتروده ( فلز پسیو ) و محلول برابر است با :  $Z_T = Z_{m/f} + Z_f + Z_{f/s}$  که در این رابطه  $Z_T$  امپدانس کل،  $Z_{m/f}$  امپدانس فصل مشترک فلز/فیلم و  $Z_f$  امپدانس فیلم پسیو و  $Z_{f/s}$  امپدانس فصل مشترک فیلم پسیو/محلول می باشد. شکل های ۲ و ۳ طیف امپدانس الکتروشیمیایی برای فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ را بعد از یک ساعت غوطه وری در محلول

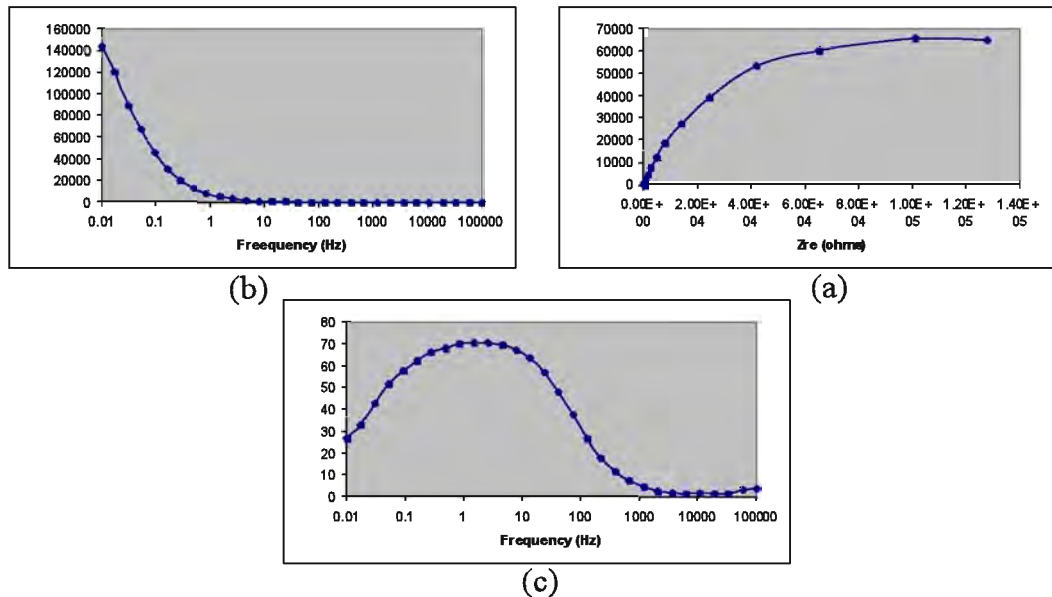
آزمایش نشان می دهند. طیف های امپدانس بدست آمده با استفاده از نرم افزار مدار معادل Z-View شبیه سازی و تجزیه و تحلیل شدند. مدار معادل پیشنهاد شده برای این طیف ها شامل دو ثابت زمانی می باشد که در شکل ۴ نشان داده شده است و مربوط به سیستم خوردگی فولاد زنگ نزن و محلول آزمایش می باشد [9]. برای تشریح کردن داده های نویز الکتروشیمیایی بدست آمده منحنی های پتانسیل و جریان بر حسب زمان که به صورت همزمان ثبت شده اند در شکل ۴ و ۵ بترتیب برای فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ آورده شده است.

### ۳. ۱. طیف های امپدانس الکتروشیمیایی

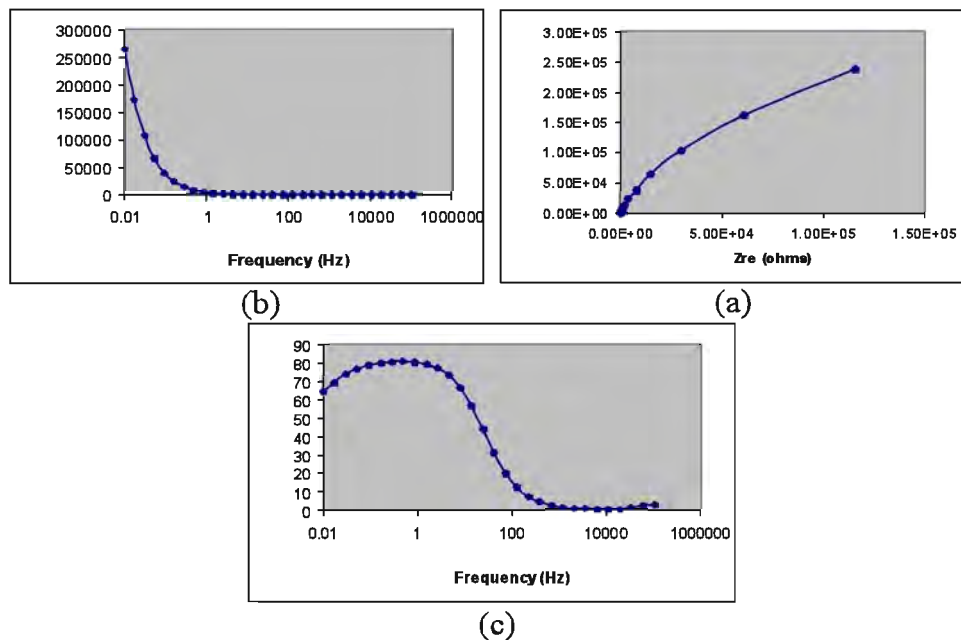
با استفاده از مدار معادل نشان داده شده در شکل ۴ طیف های امپدانس فولاد های ۳۰۴ و ۳۱۶ بررسی شدند. این مدار معادل شامل دو ثابت زمانی می باشد. داده های امپدانس در تمام فرکانس ها با استفاده از مدار معادل شامل نشان داده شده روی یکدیگر منطبق شدند. در این مدار  $R_s$  نشان دهنده مقاومت الکترولیت،  $R_f$  و  $CPE_f$  بیانگر مقاومت عنصر فاز ثابت لایه پسیو می باشد.  $R_p$  و  $CPE_{dl}$  مقاومت پلاریزاسیون و عنصر فاز مربوط به لایه دوگانه می باشد. در این تحقیق بدلیل رفتار ظرفیتی غیر ایده آل در فصل مشترک فولاد زنگ نزن / الکترولیت به جای خازن که دارای ظرفیت خالص می باشد از عنصر فاز ثابت یا همان  $CPE$  استفاده شد. امپدانس  $CPE$  بصورت  $Z_{CPE} = Y_0^{-1} (j\omega)^{-n}$  نوشته می شود که در آن  $\omega$  فرکانس زاویه ای بر حسب  $rad/s$ ،  $Y_0$  ادمیتانس می باشد و  $n$  ضریب غیر یکنواختی سطح می باشد و هر دو پارامترهای مستقل از فرکانس می باشند و به سادگی می توان نشان داد که  $n$  برای خازن خالص ۱ و برای مقاومت خالص صفر می باشد. [2,8,911]

نتایج انطباق طیف های امپدانس بدست آمده برای فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ بترتیب در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده از انطباق طیف ها و شبیه سازی توسط نرم افزار Z-View و مقایسه منحنی های امپدانس فولادهای ۳۰۴ و ۳۱۶ مشاهده شد که مقاومت پلاریزاسیون  $R_p$  محاسبه شده برای زمان غوطه وری مشابه برای فولاد زنگ نزن ۳۱۶ بیشتر از فولاد زنگ نزن ۳۰۴ بوده که نشان دهنده مقاومت به خوردگی بیشتر فولاد زنگ نزن ۳۱۶ نسبت به فولاد زنگ نزن ۳۰۴ می باشد [11-8-2]. همچنین مقدار  $n_f$  برای فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ در محلول  $NaCl$  3.5% wt کمتر از یک بود که نشان دهنده درجه غیر یکنواختی و غیر همگنی فیلم پسیو می باشد. مقدار کمتر  $n_f$  برای فولاد زنگ نزن ۳۰۴ نشان دهنده غیر همگنی و غیر یکنواختی بیشتر سطح و فیلم پسیو در اثر خوردگی بیشتر می باشد که

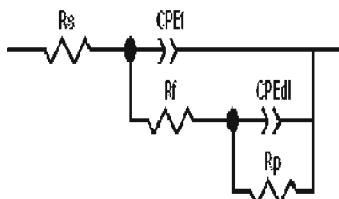
می تواند نشان دهنده شدت بیشتر جوانه زنی و آغازش خوردگی موضعی و در نتیجه غیر همگنی بیشتر فیلم پسیو باشد. [2,9].



شکل ۳ - منحنی های (a) نایکوئیست (b) بد (c) فاز آلیاژ فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در پتانسیل مدار باز در محلول NaCl 3.5% wt و دمای محیط



شکل ۴ - منحنی های (a) نایکوئیست (b) بد (c) فاز آلیاژ فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در پتانسیل مدار باز در محلول NaCl 3.5% wt و دمای محیط



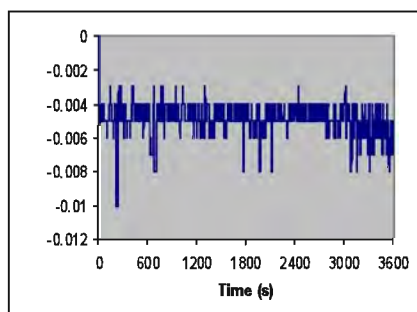
شکل ۵- مدار معادل به کار رفته برای انطباق داده های امپدانس فولاد های زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ در محلول NaCl 3.5%wt

### ۲-۳ نويز الکتروشیمیایی

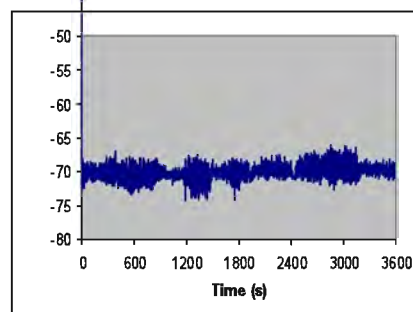
آنالیز نويز الکتروشیمیایی در حوزه زمان انجام شد و با استفاده از داده های بدست آمده پارامترهای آماری مانند مقاومت نويز  $R_n$  و اندیس موضعی LI محاسبه شد. همچنین برای داده های بدست آمده از پتانسیل و جریان نويز پارامترهای چولگی (skewness) و کشیدگی (kurtosis) محاسبه شد. [3-6]. همچنین تجزیه و تحلیل داده های نويز الکتروشیمیایی به سادگی بوسیله بررسی شکل و اندازه و بزرگی نوسانات و نحوه توزیع نوسانات جریان و پتانسیل نويز بررسی شد. از شکل ۵ و ۶ ایجاد حفره های ناپایدار روی سطح الکترودهای کاری به خوبی مشهود می باشد [11]. مقاومت نويز طبق رابطه زیر از نسبت احراف استاندارد پتانسیل به انحراف استاندارد جریان بدست می آید که در این رابطه  $\sigma_v$  برابر با انحراف استاندارد پتانسیل و  $\sigma_i$  برابر با انحراف استاندارد جریان می باشد [4-6].

$$R_n = \sigma_v / \sigma_i \quad (1)$$

از مقاومت نويز می توان به عنوان ابزاری برای ارزیابی مقاومت به خوردگی آلیاژها و مواد مختلف در محیط های مختلف استفاده نمود. تحقیقات اخیر نشان دهنده این است که مقاومت نويز با تقریب بسیار خوبی معادل با مقاومت پلاریزاسیون که از روش امپدانس الکتروشیمیایی بدست می آید، می باشد [3-6].



(a)



(b)

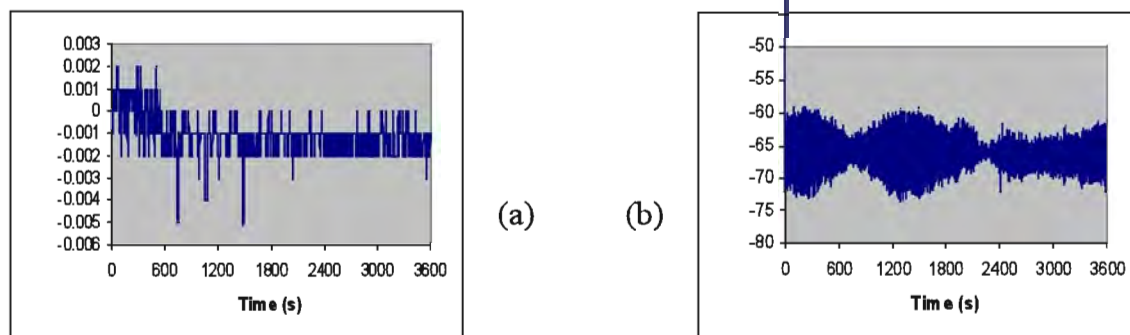
شکل ۶- (a) تغییرات جریان نويز (b) تغییرات پتانسیل نويز بدست آمده از فولاد زنگ نزن ۳۰۴

در محلول NaCl 3.5% wt بعد از یک ساعت غوطه وری در دمای محیط

با استفاده از مقایسه مقاومت نویز محاسبه شده برای دو فولاد زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ مشخص شد که فولاد زنگ نزن ۳۱۶ دارای مقاومت نویز بزرگتری بوده و در نتیجه دارای مقاومت به خوردگی بهتری می باشد که با نتایج بدست آمده از روش امپدانس مطابقت می کند. یکی از پارامترهای آماری قابل ملاحظه ای که از داده های جریان نویز محاسبه می شود اندیس موضعی است که از رابطه زیر بدست می آید که در این رابطه  $\sigma_i$  انحراف استاندارد جریان و  $I_{rms}$  ریشه مانگین مربعات جریان می باشد [5-6]

$$LI = \frac{\sigma_i}{I_{rms}} \quad (2)$$

اندیس موضعی می تواند مقادیری بین صفر و یک داشته باشد. Eden دسته بندی اندیس موضعی را به صورتی که در جدول ۳ نشان داده شده ارائه کرده است [5].



شکل ۷ - (a) تغییرات جریان نویز (b) تغییرات پتانسیل نویز بدست آمده از فولاد زنگ نزن ۳۱۶ در محلول 3.5% wt NaCl بعد از یک ساعت غوطه وری در دمای محیط

نوسانات مثبت و منفی جریان نویز مربوط به فعالیت و بروز حفره های نا پایدار روی سطح الکترودهی کار می باشد [11].

جدول ۱ - نتایج طباق طیف های امپدانس برای فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶

نوع فولاد	$R_s \Omega$	$Y_{of} \Omega^{-1} \text{cm}^2$	$n_f$	$R_f \Omega \text{cm}^2$	$Y_{od} \Omega^{-1} \text{cm}^2$	$n_{dl}$	$R_p \Omega \text{cm}^2$
304	208.6	2.2195E-5	0.83159	24975	4.548E-4	0.825	162770
316	210.4	3.9772E-5	0.932	50630	1.5768E-5	0.866	419170



جدول ۲- نتایج تجزیه و تحلیل آماری داده های نویز الکتروشیمیایی برای فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶

نوع فولاد	$R_n$	LI	$E_{skewness}$	$I_{skewness}$	$E_{kurtosis}$	$I_{kurtosis}$
SS304	۱۲۷۸,۸۵	۰,۱۸۵۸۵	-۰,۰۸۳۱۴	-۱,۶۶۷۶۱	۳,۳۹۵۴	۸,۳۳۳
SS316	۳۷۰۲,۳۸۴	۰,۶۰۸۴۹۱	۰,۰۱۸۹۸۲	-۰,۰۷۶۵۴	۲,۰۴۲۸	۵,۸۵۸۴

چولگی (skewness) و کشیدگی (kurtosis) پتانسیل و جریان به صورت زیر محاسبه می شوند.

$$skewness = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^3 \quad (۳)$$

$$kurtosis = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \right)^4 \quad (۴)$$

در این روابط  $N$  تعداد کل داده ها،  $x_i$  مقدار  $i$  مین داده اندازه گیره شده و  $\sigma$  انحراف استاندارد و  $\bar{x}$  میانگین داده ها می باشد. چولگی می تواند مقادیر مثبت و منفی داشته باشد در حالی که کشیدگی همواره مقدار مثبتی است. برای یک توزیع نرمال داده ها حول مقدار میانگین آنها کشیدگی مقداری برابر با سه دارد. چولگی یک مقدار بدون بعد از مقادیری است که حول مقدار میانگین انحراف پیدا می کنند. مقادیر محاسبه شده اندیس موضعی نشان دهنده و مشخصه خوردگی موضعی برای این سیستم می باشد [5-6].

به طور کلی مقدار اندیس موضعی برای هر دو فولاد زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ بیانگر و معیار انحراف سیستم از حالت ایده آل می باشد .

جدول ۳ - رابطه بین اندیس موضعی (Localization Index) و نوع خوردگی متناظر

نوع خوردگی	رنج تغییرات مقدار اندیس موضعی (PI)
خوردگی یکنواخت	۰,۰۰۱-۰,۰۱
خوردگی مخلوط	۰,۰۱-۰,۱
خوردگی موضعی	۰,۱-۱,۰



#### ۴. نتیجه گیری

برای شبیه سازی داده های امپدانس از یک مدار معادل با دو ثابت زمانی استفاده شد بدلیل رفتار ظرفیتی غیر ایده آل به جای خازن از عنصر فاز ثابت استفاده شد که انطباق بسیار خوبی در تمامی فرکانس ها بین طیف های تجربی و طیف های شبیه سازی حاصل شد. [2,8,9,11]

نتایج آنالیز های امپدانس الکتروشیمیایی نشان می دهد که مقاومت پلاریزاسون بدست آمده برای فولاد زمگ وزن ۳۱۶ نسبت به فولاد زنگ نزن ۳۰۴ بزرگتر بوده و نشان دهنده مقاومت به خوردگی بهتر آن می باشد و مقاومت نویز محاسبه شده از روش نویز الکتروشیمیایی نیز در توافق با آن می باشد. مقدار مقاومت نویز بدست آمده از روش نویز الکتروشیمیایی با مقاومت پلاریزاسیون محاسبه شده از روش امپدانس الکتروشیمیایی مقایسه شد و مشخص شد که مقاومت نویز تابعی از اندازه بازه ای است که در آن نویز الکتروشیمیایی اندازه گیری می شود و برای سیستم های پسیو مانند فولاد های زنگ نزن مقاومت نویز بسیار کوچکتر از مقاومت پلاریزاسیون است [4].

نوسانات مثبت و منفی جریان نویز مربوط به فعالیت و بروز حفره های نا پایدار روی سطح الکتروود های کاری می باشد.

از اندیس موضعی می توان به عنوان معیاری از انحراف سیستم از حالت تعادل و معیاری از خوردگی استفاده کرد. [11]

#### مراجع

- ۱ - مریم احتشام زاده ، اصول خوردگی الکتروشیمیایی ، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان ، ۱۳۸۲
- ۲ - مریم احتشام زاده ، مقدمه ای بر طیف نگاری امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) در مطالعه خوردگی ، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان ، ۱۳۸۵
- 3 - F. Mansfeld, C.C.Lee ,G,Zhang Comparasion of electrochemical impedance and noise data in the frequency domain.Electrochemica Acta.vol 43 , 1998 , 435
- 4 - F.Mansfeld , Z.Sun , C.H.Hsu , Electrochemical noise analysis (ENA)for active and passive system chloride media , Electrochemica Acta, vol 46 , 2000 , 3561
- 5- F.Mansfeld , Z.Sun , Localization index obtained from electrochemical noise analysis , Corrosion Science , vol 55, 1999 , 915

- 6 – R.A. Cottis , Intrrpration of electrochemical nose data , Corrosion Science , 1998 , vol 57 3, 265
- 7 – S.Krakowiak , K.Darowiki , P.Slepski , Impedance investigation of passive 304 stainless steel in the pit pre-initiation state, Electrochemical Acta , 2005 , vol 50, 2699
- 8 – C. Cuevas-Aarteaga , J.Porcayo-Calderon , Electrochemical noise analysis in the frequency domain and determination of corrosion rate s for SS-304 stainless steel , Materialsscience & Engineerinf A , 2006 , vol 435, 435
- 9 – Congmin Xu , Yaoheng Zhang , Pitting corrosion behavior of 316L stainless steel in the media of sulphate-reducing and iron –oxidizing bacteria , Material Characterization , 2007 , vol 159 , 245
- 10 – M,A.Hill , R,S.Lillard , Methods for accessing pittng damage in carbon steel exposed to alkjaline chloride waste environments , , Corrosion Science , 2006, 62.9 , 801
- 11 – J.A.Wharton , R.J.K.Wood , influence of flow condition of AISI 304stainless steel , Wear , 2004 , vol 256 , 525
- 12 – Hong Hua Ge , Guo ding Zhou , Wen Quan Wu , Pssivation of 316 stainless steel in simulated cooling water and the effect of sulfide on the passive film., Applied surface science , 2003 , vol 211 , 321



دانشگاه شیراز  
UNIVERSITY OF SHIRAZ

۱۱۲۶



انجمن خردگانی ایران



مرکز ملی مسووم و کنترول و پژوهش و علوم آموزی

یازدهمین کنگره ملی خورده‌گانی (۲۴-۲۲ اردیبهشت ۸۸)