

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی و مهندسی  
بخش مهندسی مواد و متالورژی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد  
گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

---

بررسی خوردگی حفره ای فولاد زنگ نزن 430 در محلول کلرید  
سدیم 3/5% با استفاده از روش نوین الکتروشیمیایی

---

مؤلف :  
فرهاد محسنی فر

استاد راهنما :  
دکتر عبدالحمید جعفری

شهریور 90



این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

## **بخش مهندسی مواد و متالورژی**

**دانشکده فنی و مهندسی**

**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو :

استاد راهنما :

استاد مشاور :

داور 1 :

داور 2 :

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع:

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده :

**حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.**



تاریخ:

### تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **فرهاد محسنی فر** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه/رساله تحت عنوان " **بررسی خوردگی حفره ای فولاد زنگ نزن 430 در محلول کلرید سدیم 3/5 % با استفاده از روش نوین الکتروشیمیایی** " حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست مراجع ذکر گردیده است. این پایان نامه/رساله قبلاً" برای احراز هیچگونه مدرک دیگری ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شهید باهنر کرمان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

## تقدیم به :

تقدیم به سه کس

آنان که بودند تا باشیم

آنان که نیستیم اگر نباشند

و آنانکه آموختند تا گمراه نباشیم

مادر پدر استاد

همچنین این پایان نامه را به برادران خود و علی الخصوص برادر ارشد خود که در تمام مراحل یار و یاورم بود تقدیم می کنم .

و در آخر تقدیم به همه عزیزانم که در حادثه زلزله بم به دیار حق شتافتند . روحشان شاد

## تشکر و قدردانی :

هرچند نمیتوان ذره ای از علم و دانشی که اساتیدم به من آموختند را با چند خط ساده جبران کرد اما بر خود واجب می دانم تا با بیان چند کلمه گوشه ای بسیار ناچیز از دین خود نسبت به آنان که روشنگر راهم بودند را ادا کنم .

ابتدا لازم است از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر عبدالحمید جعفری صمیمانه سپاسگذاری کنم که در تمام مراحل انجام این تحقیق از هیچ کمکی دریغ نکردند .

از جناب آقای دکتر مهدی شهیدی کمال تشکر و قدردانی را دارم که صمیمانه تمامی امکانات آزمایشگاهی خود واقع در دانشگاه آزاد اسلامی کرمان را در اختیار اینجانب قرار دادند .

در پایان از اساتید محترم بخش و ریاست محترم بخش جناب آقای دکتر شرفی تشکر و قدردانی می کنم .

محسنی فر - شهریور 1390

## چکیده

یون کلر می تواند روی محل های ناقص سطوح فلزی از قبیل ناخالصی ها و عیوب جذب شود و باعث شکسته شدن موضعی فیلم روئین و در نتیجه ایجاد حفره شود . در این تحقیق برای مطالعه رفتار خوردگی فولاد زنگ نزن 430 در محلول کلرید سدیم 3/5 % از روش نوین الکتروشیمیایی (EN) استفاده شد . شیب درونی موجود در داده ها که نشاندهنده رفتار غیر استیوکیستیک (Stochastic) است توسط روش خطی حذف شد . سپس داده ها در حوزه زمان تجزیه و تحلیل گردیدند و پارامتر های آماری از قبیل مقاومت نوین ، چولگی ، کشیدگی و شاخص موضعی محاسبه گردید . تجزیه و تحلیل داده ها در حوزه فرکانس با استفاده از دو روش تبدیل فوریه و تبدیل موجک هماهنگی خوبی را بین این نتایج و همینطور نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری نشان می دهد. نفوذ یون کلر که با افزایش زمان غوطه وری به داخل فیلم روئین صورت گرفته و به خوردگی موضعی می انجامد تا حد زمانی یک هفته از زمان غوطه وری افزایش و پس از آن از شدت خوردگی کاسته شده و تمایل به ایجاد حالت روئین افزایش می یابد .

**کلمات کلیدی :** فولاد زنگ نزن 430 ، تکنیک نوین الکتروشیمیایی ، تبدیل موجک ، تبدیل

فوریه

## فهرست مطالب

### فصل اول

1 ..... مقدمه

### فصل دوم

4 ..... مروری بر مطالعات گذشته

5 ..... 1-2 - فولادهای زنگ نزن

7 ..... 1-1-2 - فولادهای زنگ نزن فریتی

8 ..... 2-2 - روئین شدن (Passivity)

9 ..... 3-2 - خوردگی حفره ای

10 ..... 1-3-2 - مکانیزم خوردگی حفره ای

10 ..... 1-1-3-2 - مکانیزم های جوانه زنی

13 ..... 2-1-3-2 - مکانیزم رشد حفره

14 ..... 2-3-2 - عوامل اثرگذار روی حفره دار شدن

14 ..... 1-2-3-2 - اثر PH و یون کلر

14 ..... 2-2-3-2 - سرعت حرکت سیال

15 ..... 3-2-3-2 - نقش عوامل ساختاری در پدیده خوردگی حفره ای

16 ..... 4-2-3-2 - اثر ناخالصی های سولفیدی

17 ..... 3-3-2 - پتانسیل حفره دار شدن

19 ..... 4-2 - روش نوین الکتروشیمیایی (EN)

20 ..... 1-4-2 - تاریخچه نوین الکتروشیمیایی

20 ..... 2-4-2 - سیستم های شامل نوین

21 ..... 3-4-2 - منابع نوین

21 ..... 1-3-4-2 - نوین حرارتی

21 ..... 2-3-4-2 - نوین ضربه ای

22 ..... 3-3-4-2 - نوین 1/f



22	4-4-2- سنجش و ارزیابی نویزهای الکتروشیمیایی
25	5-4-2- جمع آوری داده ها
26	6-4-2- رابطه بین مقاومت نویز و مقاومت پلاریزاسیون
26	7-4-2- عوامل مؤثر در تحلیل نویز الکتروشیمیایی
26	1-7-4-2- اثر سطح
27	2-7-4-2- اثر دما
28	3-7-4-2- اثر نامتقارن بودن الکترودها
29	8-4-2- کاربرد نویز در تفسیر خوردگی حفره ای
32	9-4-2- تحلیل داده های نویز الکتروشیمیایی
33	1-9-4-2- روش بصری
35	2-9-4-2- روش آماری
35	1-2-9-4-2- تحلیل و تجزیه با استفاده از چولگی و کشیدگی
38	2-2-9-4-2- تجزیه و تحلیل با استفاده از شاخص موضعی (ضریب تراکم)
39	3-9-4-2- روش تبدیل ها در دامنه ی فرکانسی
39	1-3-9-4-2- تبدیل فوریه (FFT)
40	2-3-9-4-2- تبدیل موجک
41	3-3-9-4-2- شباهت تبدیل موجک و تبدیل فوریه
41	4-3-9-4-2- تفاوت تبدیل موجک و تبدیل فوریه
43	2-4-10- حذف شیب

### فصل سوم

44	روش تحقیق
45	3-1 آماده سازی نمونه ها
45	3-2 محلول آزمایش
45	3-3 مطالعات خوردگی توسط آزمون های الکتروشیمیایی

### فصل چهارم

47	نتایج و بحث
----	-------------

48	..... 1-4 - نتایج نويز الکترو شیمیایی
55	..... 2-4 - تحلیل آماری
59	..... 3-4 - آنالیز طیفی
59	..... 1-3-4 - نتایج تبدیل فوریه
70	..... 2-3-4 - نتایج تبدیل موجک
	<b>فصل پنجم</b>
83	..... نتیجه گیری
85	..... منابع و مراجع
90	..... پیوست
93	..... چکیده انگلیسی

# فصل اول

## مقدمه

## مقدمه

فولاد زنگ نزن یک آلیاژ فلزی با قابلیت های مطلوب است که غالباً در محیط های خوردنده مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. از سوی دیگر فرآیند شروع خوردگی فولاد زنگ نزن چند دهه ی گذشته توجه زیادی را به خود برانگیخته است. شروع خوردگی در این آلیاژها پیچیده بوده و ممکن است با تغییر مکانیزم به انواع مختلف خوردگی موضعی منجر شود. روش نوین الکتروشیمیایی (EN) که هم اکنون به عنوان یک روش قوی در مطالعات خوردگی در حال توسعه است را می توان به طور گسترده ای برای آشکارسازی تغییرات لحظه ای در فرآیندهای خوردگی موضعی، به خصوص تشکیل حفره، حمله کاویتاسیون، SCC، خوردگی زیر پوشش ها، ممانعت کننده ها و خوردگی میکروبیولوژی استفاده نمود [5-1]. این امر بوسیله اندازه گیری همزمان نوسانات جریان و پتانسیل که در طول فرآیند خوردگی تولید می شوند، مسیر شده است و لذا آنالیز نوین الکتروشیمیایی در درجه اول برای درک فرآیندهای خوردگی و در درجه بعدی برای مانیتورینگ آن در سیستم های مختلف استفاده شده است. این روش بعضی مزایا را نسبت به دیگر روش های الکتروشیمیایی ارائه می کند که عبارت است [8-6]:

- اندازه گیریها و ثبت سریع تغییرات سیستمیک فرآیند خوردگی که آن را مستعد بکارگیری برای مانیتورینگ فرآیندها می کند.
  - حساس بودن نسبت به فرآیند جوانه زنی خوردگی موضعی، برخلاف روش های مرسوم که اطلاعات کمی را در این مرحله فراهم می کنند.
  - امکان استفاده از آن بدون برهم زدن تعادل های کلی سیستم تحت مطالعه
  - سادگی و ارزانی تجهیزات مورد نیاز که شامل آمپر متر با مقاومت صفر (ZRA) و ولت متر دیجیتال می باشند.
  - امکان اندازه گیری نوین (EN) در محل های کاربردی
  - عدم نیاز به اعمال هیچگونه جریان خارجی
- تجزیه و تحلیل داده های نوین هم در حوزه زمان و هم در حوزه فرکانس صورت می گیرد. مهمترین پارامتری که از تجزیه و تحلیل داده های نوین در حوزه زمان بدست می آید مقاومت نوین است که از تقسیم انحراف استاندارد نوین پتانسیل به انحراف استاندارد نوین جریان بدست می آید

[9-12] تجزیه و تحلیل داده های نویز در حوزه فرکانس نیز با استفاده از دو روش تبدیل فوریه و تبدیل موجک انجام می شود. با استفاده از تبدیل فوریه می توان پارامترهایی از قبیل شیب ناحیه میانی منحنی های دانسیته توانی (PSD) جریان و پتانسیل و همچنین شیب ناحیه میانی منحنی طیفی نویز ( $R_{sn}$ ) و مقدار مقاومت طیفی نویز بدست آورد [13-17]. همچنین با استفاده از تبدیل موجک منحنی های توزیع توانی (EDP) مرتبط با ضرایب موجک مختلف بدست می آیند [18-21]. در این تحقیق داده های نویز با استفاده از هر دو روش تبدیل موجک و تبدیل فوریه تجزیه و تحلیل شدند و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند.

## فصل دوم

### مروری بر مطالعات گذشته

## 1-2 - فولادهای زنگ نزن

فولادهای زنگ نزن مواد همه فن حریفی هستند که می توانند به شکل های مختلف از قبیل لوله ، سیم ، ورق ، نوار ، صفحه تولید شوند . همچنین قابلیت جوشکاری ، شکل پذیری ، کشش ، اکستروژن شدن و ..... را دارند بنابراین به طور گسترده ای در صنایع خودروسازی ، صنایع غذایی ، ساختمان سازی و ..... استفاده شده اند همچنین استفاده از فولادهای زنگ نزن در خطوط انتقال نفت و گاز و همچنین در کارخانه های انرژی هسته ای در تجهیزات heat exchangers ، گسترش یافته است . دلیل اصلی معروفیت و کاربرد فولادهای زنگ نزن مقاوم بودن آنها در برابر خوردگی می باشد. برلی اولین کسی بود که مقاومت یک آلیاژ پایه آهن حاوی کروم در برابر خوردگی را بررسی کرد. فولادهای زنگ نزن مقاومت شان در برابر خوردگی را مدیون کروم هستند. چنانچه حداقل مقدار کروم 12 درصد باشد در محیط های اکسید کننده با تشکیل یک لایه محافظ از خوردگی پیشگیری می کند. ولی عناصر آلیاژی دیگر از جمله نیکل، مولیبدن، وانادیم، تنگستن ، مس، نیتروژن و تیتانیوم به منظور حصول خواص مطلوب به فولاد اضافه می شوند. از آنجا که تشکیل کرومیا و هرگونه اکسید نیاز به اکسیژن دارد ، کیفیت و کمیت لایه تشکیل شده در محیط های مختلف متفاوت و در نتیجه میزان خوردگی و یا حفاظت از آن به همین فاکتور بستگی دارد . تخریب یا شکست فیلم محافظ در اثر حملات مکانیکی و یا شیمیایی منجر به خوردگی موضعی از قبیل خوردگی توأمان با تنش ، حفره ای و یا شکافی می شود. بنابراین برای جلوگیری از خوردگی موضعی لازم است که فیلم تشکیل شده بر روی فولادهای زنگ نزن تا حد ممکن پایدار و در صورت شکست قابلیت ترمیم سریع را داشته باشد. فاکتورهای مؤثر بر روین شدن در آلیاژهای مختلف آهن و کروم اولین بار توسط Monnartz بررسی شده اند. اثر اسیدهای خالص بر روی فولادهای زنگ نزن به خاصیت اکسیدکنندگی یا احیاء کنندگی اسیدها بستگی دارد و در اسیدهای احیاء کننده از قبیل HCl به سرعت خورده می شوند که با افزایش میزان نیکل و مولیبدن و کاهش میزان کروم در فولادها می توان مقاومت در برابر اسیدهای احیاء کننده را افزایش داد . اسید نیتریک قدرت اکسیدکنندگی بالایی دارد و فولادهای زنگ نزن در محلولهای اسید نیتریک روین باقی خواهند ماند . نشان داده شده که آلیاژهای با 12/5 درصد کروم یا بیشتر ، در دمای محیط در برابر اسید نیتریک در همه غلظت ها مقاومند و در درصدهای کروم بیشتر از 14 درصد، در محلول های جوشان آن نیز مقاومند همچنین افزودن مولیبدن مقاومت فولاد را در برابر اسید نیتریک حاوی نمک های کلروری افزایش می دهد.

به طور کلی با افزایش میزان کروم مقاومت در برابر خوردگی فولادهای زنگ نزن در محیط های اکسید کننده افزایش می یابد. اگرچه اسید سولفوریک یک محیط خورنده برای فولاد به شمار می رود اما ممکن است در غلظت های پایین و در حضور هوا بی ضرر باشد. اسید فسفریک و بسیاری دیگر از اسیدهای آلی نیز رفتاری مانند اسید سولفوریک از خود نشان می دهند. نمک های فلزی از قبیل فریک و سولفات مس اکسید کننده هستند و اضافه کردن آن به اسید سولفوریک باعث روپین شدن فولاد می شود بنابراین غلظت نمک را به نحوی می توان کنترل کرد در یک غلظت خاص از کروم، روپین شدن رخ دهد. به طور کلی فولادهای زنگ نزن در محیط های قلیایی از جمله هیدروکسید سدیم و هیدروکسید آمونیوم تا دماهای زیر  $100^{\circ}\text{C}$  خورده نمی شوند. در دماهای بالاتر فولادهای زنگ نزن آستنیتی از جمله 304 ممکن است به شدت خورده شوند و یا دچار SCC شوند اما فولادهای زنگ نزن فریتی و دوپلکس حاوی مقادیر بالای کروم تا دماهای بالاتر از  $150^{\circ}\text{C}$  در این محیط ها خورده نمی شوند. نمک های حاوی یون های هالید باعث خوردگی حفره ای، شکافی و SCC در فولادهای زنگ نزن می شوند که فولادهای حاوی مقادیر بالاتر کروم، مولیبدن و نیتروژن مقاومت بیشتری در برابر خوردگی حفره ای و شکافی در این محیط ها از خود نشان می دهند. همچنین با افزودن مولیبدن و نیکل به فولادهای زنگ نزن آستنیتی و کاهش میزان مس و نیکل در فولادهای زنگ نزن فریتی مقاومت در برابر SCC در این محیط ها افزایش می یابد. محیط های اسیدی و شرایط اکسید کننده حفره دار شدن فولادهای زنگ نزن را سرعت می بخشند اما محیط های قلیایی مانع از حفره دار شدن می شوند. ASTM G 48 روش های آزمایش تعیین حساسیت به حفره دار شدن فولادهای زنگ نزن در محلول کلرور فریک و ASTM G 150 روش الکتروشیمیایی برای تعیین دمای بحرانی حفره دار شدن را ارائه می کنند. فولادهای زنگ نزن به چهار گروه آستنیتی با ساختار FCC، فریتی با ساختار BCC، مارتنزیتی و دوپلکس با ساختار ترکیبی از فریت و آستنیت تقسیم می شوند که خواص فیزیکی، مکانیکی و خوردگی این آلیاژها نسبتاً مشابه است [22-24].



## 1-1-2 - فولادهای زنگ نزن فریتی

برخلاف فولادهای زنگ نزن آستنیتی حلالیت کربن در فولادهای زنگ نزن فریتی پایین تر است. مقدار کروم فولادهای زنگ نزن فریتی % 30 - 18 است و ترسیب کاربیدها به راحتی اتفاق می افتد. این فولادها دارای حالت مغناطیسی بوده ولی توسط عملیات حرارتی قابل سخت شدن نمی باشند گرچه می توان آنها را به کمک کار سرد سخت نمود. فولادهای زنگ نزن فریتی دارای ساختمان مکعب مرکزدار (BCC) هستند. از شکل پذیری و جوشکاری ضعیف تری نسبت به فولادهای زنگ نزن آستنیتی مخصوصاً AISI 304 برخوردارند. امکان خوردگی بین دانه ای و ایجاد تردی در منطقه متأثر از جوش وجود دارد که با کم کردن مقدار کربن و نیتروژن در فولادهای زنگ نزن فریتی جدید این عیب برطرف شده است. ولی مقاومت خوبی در برابر محیط های خورنده به جز اسیدهای احیاء کننده دارند. آلیاژهای فریتی از نوع 430 و 434 در شرایط آنیل شده در محیط های NaCl و MgCl<sub>2</sub> در برابر خوردگی تنشی مقاومند اما پس از جوشکاری مقاومت به کشش و مقاومت به SCC آنها تضعیف می شود. فولادهای زنگ نزن 430 جوشکاری شده حتی در آب معمولی نیز دچار حمله بین دانه ای شده و در آب جوش حاوی 50 ppm یون کلر منجر به حمله SCC می شود. دمای انتقال شکست داکتیل به ترد برای این گروه از فولادها (°C -120) برای فولاد 446 در مقایسه با (°C -240) برای فولاد 304 می باشد. آلیاژهای سوپرفریتیک با حداکثر 30 درصد کروم و 4 درصد مولیبدن برای بهبود مقاومت در برابر خوردگی یکنواخت، حفره ای و شکافی معرفی شده اند. فولادهای زنگ نزن فریتی در دستگاه های تهیه اسید نیتریک و نیز به دلیل داشتن مقاومت در برابر اکسیداسیون در دماهای بالا، در ساخت کوره ها و دستگاه های عملیات حرارتی استفاده می کنند [25 و 22].

جدول 2-1 ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن فریتی را نشان می دهد [26].

جدول 2-1 ترکیب شیمیایی فولادهای زنگ نزن فریتی [26]

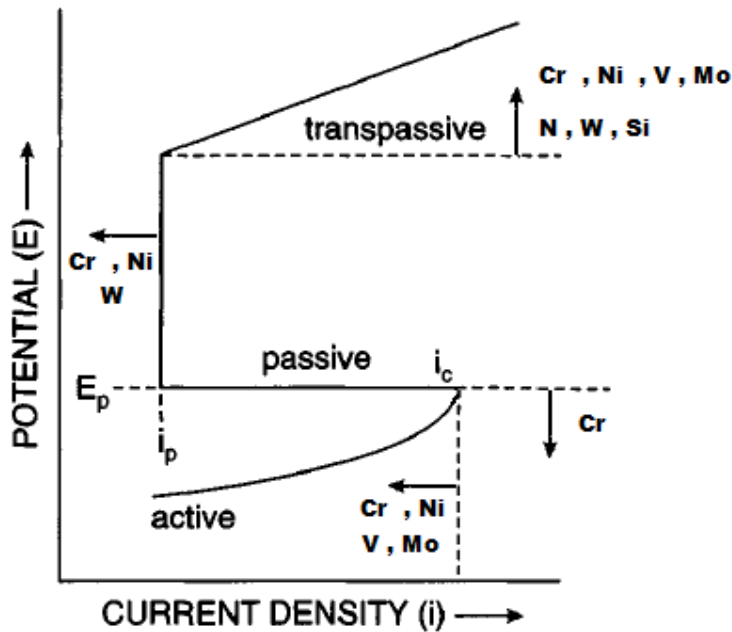
UNS	C	Cr	Mn	Mo	N	Ni	Other
S40500	0/08	11/5 – 14/5	1	-	-	-	P S Si
S40900	0/08	10/5 – 11/75	1	-	-	0/5	
S42900	0/12	14 – 16	1	-	-	-	
S43000	0/12	16-18	1	-	-	-	
S43400	0/12	16-18	1	0/75-1/25	-	-	
S43600	0/12	16-18	1	0/75-1/25	-	-	
S44200	0/2	18-23	1	-	-	-	
S44400	0/025	17/5-19/5	1	1/75-2/5	0/025	1	
S44600	0/2	23-27	1/5	-	0/25	-	

سیستم شماره گذاری یکسان (Unified Numbering System - UNS) در سال 1975 میلادی بطور مشترک توسط متخصصان ASTM و AISI برای نامگذاری فلزات و آلیاژها ابداع شد. این سیستم نامگذاری متشکل از یک حرف و 5 عدد است و فقط ترکیب شیمیایی فلز یا آلیاژ را نشان می دهد. حرف S برای فولادهای زنگ نزن استفاده می شود. سه رقم اول همانند نامگذاری به روش AISI است. دو رقم آخر نیز بیانگر برخی خواص مکانیکی و خوردگی است [27].

## 2-2- روئین شدن (Passivity)

دو تعریف از پدیده روئین شدن توسط Uhlig & Revie گزارش شده است. نخست آنکه فلزی روئین است که در برابر خوردگی در یک محیط ناشی از پلاریزاسیون آندی مقاوم است لذا نرخ خوردگی آن پایین و پتانسیل الکتریکی آن مثبت است. بعلاوه فلز روئین در برابر خوردگی مقاومت می کند علیرغم تمایل ترمودینامیکی آن به واکنش. فلزات و آلیاژهایی که روئین شدن نوع اول را از خود نشان می دهند عبارتند از: نیکل، کروم، تیتانیم، آهن در محیط های اکسنده (محلول های روئین کننده شیمیایی از قبیل کرومات)، فولاد زنگ نزن و ..... از جمله مثال های

نوع دوم روئین شدن سرب در اسید سولفوریک و آهن در اسید رقیق هستند. منحنی پلاریزاسیون نشان داده شده در شکل 1-2 بیانگر پسیویتی نوع اول است. این منحنی توسط Wagner برای روئین شدن نوع اول پیشنهاد شده است. تعریفی عمیق تر از این پدیده در ASTM (G15-83) ارائه شده است [28].



شکل 1-2 منحنی پلاریزاسیون آنودی برای یک فلز روئین دارای سه منطقه پتانسیل مختلف فعال، روئین، ترانس پسیو است. دانسیته جریان بحرانی برای روئین شدن در پتانسیل روئین  $E_p$  لازم است. در بالاتر از این پتانسیل سیستم روئین شده و دانسیته جریان به شدت کاهش می یابد [28].

### 3-2 - خوردگی حفره ای

خوردگی حفره ای حالت خاصی از حملات موضعی است که در آن فقط نقاط کوچکی از فلز تأثیر می گیرد در حالی که سایر نقاط فلز صدمه چندانی نمی بینند. خوردگی حفره ای غالباً در روی فولادهای ضد زنگ در محلول حاوی  $Br^-$ ،  $Cl^-$  ولی نه به طور خاص در حضور  $F^-$  و  $I^-$ ، یون های هیپوکلریت ( $ClO^-$ ) یا تیوسولفات ( $S_2O_3^{2-}$ ) به وجود می آید و پتانسیل خوردگی

منفی تر می شود، در حضور آنیون های اکسیژن دار مانند  $\text{NO}_3^-$  یا  $\text{SO}_4^{2-}$  این پدیده متوقف می گردد. خوردگی حفره ای اغلب سریع و غافل گیرانه عمل می کند و غالباً در محلول های حاوی آنیون های خورنده مانند کلر به وجود می آید، مثلاً فولادهای ضدزنگ 318 عاری از هرگونه درز و شکاف و در محلول ساکن کلرور سدیم به صورت حفره ای مورد حمله قرار می گیرند و اگر درز یا شکافی در آن ها وجود داشته باشد، حفره ها اکثراً در داخل درزها ایجاد می شود و میزان حفره دار شدن در این نقاط بیش از سطوح دیگر فلز خواهد بود. سطوح صیقلی مقاومت بیشتری در برابر خوردگی حفره ای دارد تا سطوح خشن و ناصاف. افزایش میزان کروم مقاومت به خوردگی حفره ای را بهبود می بخشد به عنوان مثال مقاومت به حفره دار شدن آلیاژ Fe-17Cr نسبت به آلیاژ Fe-18Cr-8Ni در محلول کلرور سدیم کمتر است [29].

### 2-3-1- مکانیزم خوردگی حفره ای

#### 2-3-1-1- مکانیزم های جوانه زنی

در موادی مانند مس، روی و قلع که روپین نمی شوند خوردگی حفره ای ممکن است در منافذ لایه های سطحی محصولات خوردگی شروع شود اما در آلومینیوم و فولادهای زنگ نزن که روپین می شوند سه مکانیزم برای حفره دار شدن بیان شده است. در مکانیزم نخست که مکانیزم نفوذ نام دارد همانطور که در شکل 2-2 نشان داده شده است یون های هالید در مکان های مشخصی در لایه روپین نفوذ می کنند که این مکان ها عمدتاً نقاط ضعیف فیلم اکسیدی یا به عبارت دیگر بی نظمی های ساختار اکسیدی به دلیل مرزخانه ها یا ناخالصی های فلز پایه هستند. جذب یون های هالید هدایت یونی فیلم اکسیدی را به شدت افزایش می دهد به طوری که یون های فلزی می توانند در سراسر فیلم مهاجرت کنند و بدین ترتیب انحلال فلز شروع می شود. مکانیزم دیگر که مکانیزم جذب نامیده می شود شامل تشکیل کمپلکس های سطحی است که بسیار سریع تر از یون های غیر کمپلکس فلزی به الکترولیت انتقال می یابند در حقیقت جذب اولیه آنیون های مهاجم در سطح اکسید به طور خودکار انتقال کاتیون های فلزی از اکسید به الکترولیت