

نام آزمایشگاه: خوردگی

نام سازمان: پژوهشکده پوشش‌های نانو ساختار دانشگاه پیام نور یزد

شماره تماس آزمایشگاه: ۰۳۵۳۵۲۱۶۱۳۵-۰۳۵۳۵۲۱۶۱۳۳

سرپرست آزمایشگاه: خانم دکتر عطیه نکاحی

عنوان دستگاه: پتانسیواستات-گالوانواستات (Potentiostat-Galvanostat) مدل Ivium سری V11108

محدوده تشخیص دستگاه:

- محدوده ولتاژ: $\pm 10\text{ V}$

- محدوده جریان: 10 pA تا 10 A

- محدوده فرکانس: 0.1 Hz تا 100000 Hz

ارایه خدمات برای نمونه‌های آزمایشگاهی پروژه‌های کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری و نمونه‌های صنعتی

انجام پروژه‌های صنعتی توسط سرپرست آزمایشگاه

ارایه نتایج، کمک به تحلیل آن‌ها و ارایه راهکارهای مناسب برای کاهش خوردگی توسط سرپرست آزمایشگاه

تخفیف ۵۰٪ برای دانشجویان و تعداد زیاد نمونه

۱- خدمات قابل ارایه با دستگاه پتانسیواستات-گالوانواستات

جدول ۱- خدمات قابل ارایه در آزمایشگاه خوردگی

خدمات	هزینه به ازای هر نمونه (ریال)
تست‌های الکتروشیمیایی	۷۵۰۰۰۰
پتانسیل مدار باز (Opec circuit potential)	
پلاریزاسیون خطی (Linear polarization resistance)	
پلاریزاسیون دینامیکی (Potentiodynamic polarization)	
پتانسیواستاتیک (Chronoamperometry)	۷۵۰۰۰۰
گالوانواستاتیک (Chronopotentiometry)	۷۵۰۰۰۰
روش ترکیبی (Mixed mode)	۷۵۰۰۰۰
امپدانس الکتروشیمیایی (Electrochemical impedance spectroscopy)	۷۵۰۰۰۰
نویز الکتروشیمیایی (Electrochemical noise)	۷۵۰۰۰۰
ولتامتری سیکلی (Cyclic voltammetry)	۷۵۰۰۰۰
بیوسنسورها	۷۵۰۰۰۰
آبکاری انواع پوشش‌ها	۷۵۰۰۰۰
تحلیل کامل نتایج با استفاده از نرم‌افزار	۱۰۰۰۰۰۰

تست‌های غیر تخریبی برای هر نمونه جهت بررسی تکرارپذیری نتایج دو بار انجام خواهد شد.

۲- نحوه آماده‌سازی نمونه‌ها برای انجام تست خوردگی

سطح نمونه باید توسط سنباده‌زنی و پولیش کاملاً تمیز شود. ابعاد سطح کاملاً مشخص و در نمونه‌های مقایسه‌ای کاملاً یکسان باشد. می‌توان نمونه را مانت سرد کرد و یا با استفاده از لاک سطح مورد بررسی را جدا نمود. برای ایجاد اتصال نمونه با دستگاه باید سیم مسی به نمونه متصل شود

(نمونه به عنوان الکتروود کاری). پس از آماده‌سازی سطح، می‌بایست ابعاد نمونه به دقت اندازه‌گیری شود؛ زیرا سطح در معرض محیط خورنده در رابطه محاسبه سرعت خوردگی نیاز است. در صورتی که اندازه‌گیری وزن نمونه برای محاسبه تغییر وزن در اثر خوردگی مورد نیاز باشد، سطح نمونه را باید توسط حلال مناسبی مانند استون، پاک و خشک کرده و وزن کنند و پس از انجام خوردگی نیز مجدداً وزن کنند تا تغییرات وزن در اثر خوردگی مشخص شود.

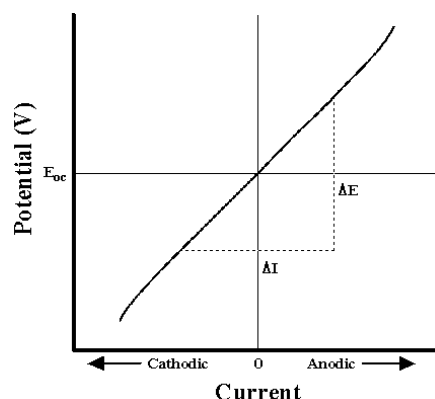
۳- انواع روش‌های الکتروشیمیایی

۳-۱- پتانسیل مدار باز (Opec circuit potential)

پتانسیل مدار باز یا پتانسیل تعادل، پتانسیل نمونه در عدم اعمال جریان یا پتانسیل است. قبل از انجام آزمایش‌های خوردگی باید زمان کافی به سل الکتروشیمیایی داده شود تا شرایط پایدار^۱ بدون تغییر زیاد در پتانسیل حاصل شود. این شرایط پایدار در بعضی سلول‌ها پس از چند دقیقه و در بعضی دیگر پس از چند ساعت حاصل می‌شود. جریان خوردگی در مدار باز نیز قابل اندازه‌گیری است.

۳-۲- پلاریزاسیون خطی (Linear polarization resistance)

در آزمایش پلاریزاسیون خطی، به دلیل اعمال پتانسیل اندک به نمونه نرخ خوردگی به صورت غیر تخریبی اندازه‌گیری می‌شود. با اعمال پتانسیل تا بیشینه ± 20 mV نسبت به پتانسیل مدار باز نرخ خوردگی اندازه‌گیری خواهد شد. برای چنین پتانسیل اندکی نسبت به پتانسیل مدار باز، رفتار جریان خطی خواهد بود (شکل ۱).

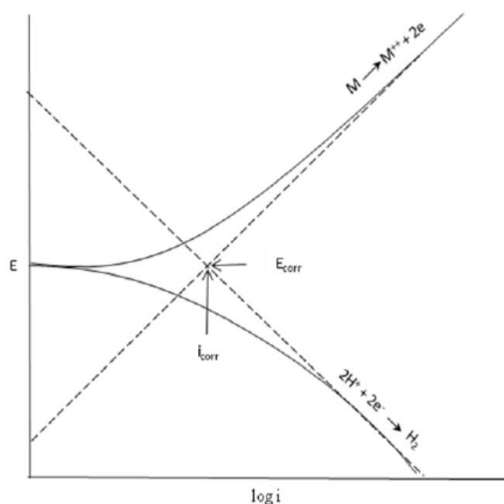


شکل ۱- پلاریزاسیون خطی.

¹ Steady state

۳-۳- پلاریزاسیون دینامیکی (Potentiodynamic polarization)

پلاریزاسیون دینامیکی یکی از متداول ترین آزمون‌های ارزیابی مقاومت به خوردگی است. در این آزمون جریان خوردگی و پتانسیل خوردگی مشخص شده و سرعت خوردگی به دست می‌آید. آزمون پلاریزاسیون در محیط‌های مختلفی انجام می‌شود و منحنی پتانسیل بر حسب جریان رسم می‌شود (شکل ۲). با رسم مماس بر منحنی در دو شاخه کاتدی و آنودی می‌توان مقدار جریان خوردگی را به روش تافل به دست آورد. روش دقیق‌تر با استفاده از نرم‌افزار تطبیق داده‌ها^۱ با معادله خاصی است که مقادیر دقیق‌تری از جریان خوردگی و مقاومت پلاریزاسیون به دست می‌دهد. این آزمایش، به دلیل اعمال پتانسیل‌های زیاد نسبت به پتانسیل مدار باز کاملاً تخریبی است و با خوردگی نمونه‌ها در محیط آزمایش همراه است.

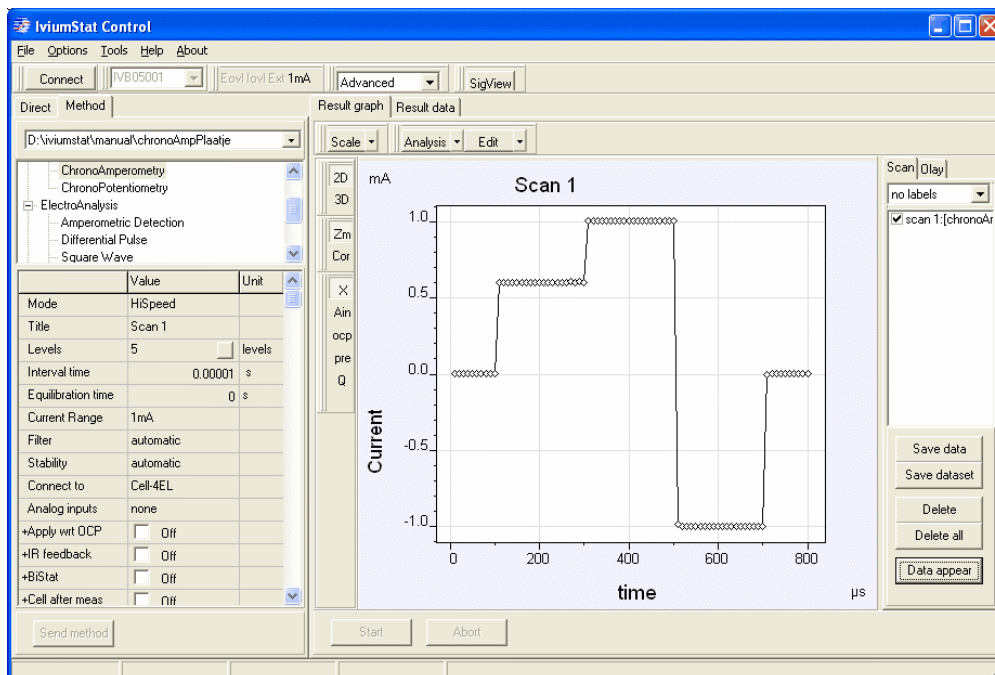


شکل ۲- نمونه‌ای از نمودار تافل.

۳-۴- روش پتانسیواستاتیک (Chronoamperometry)

در این روش، پتانسیل در سطوح مختلف اعمال می‌شود و تغییرات جریان بر حسب زمان ثبت می‌شود.

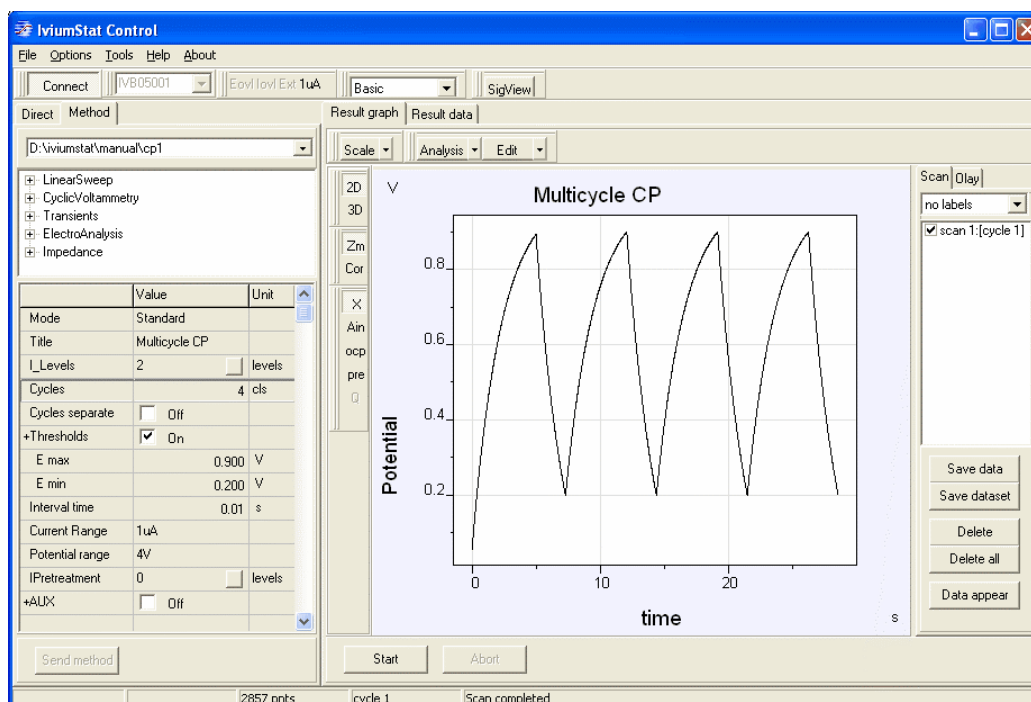
^۱ Data fitting



شکل ۳- نمونه‌ای از آزمایش پتانسیوآستاتیک.

۳-۵- روش گالوانواستاتیک (Chronopotentiometry)

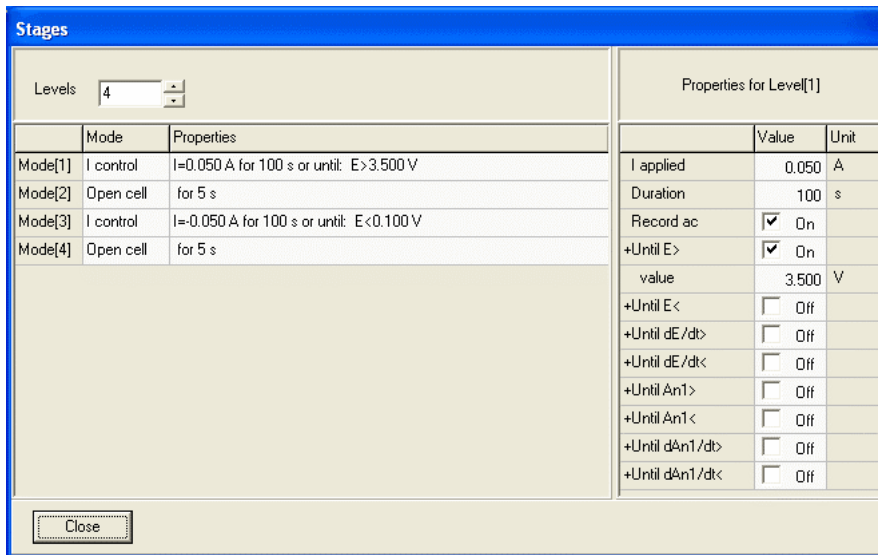
در این روش، جریان در سطوح مختلف اعمال شده و تغییرات پتانسیل بر حسب زمان رسم می‌شود.



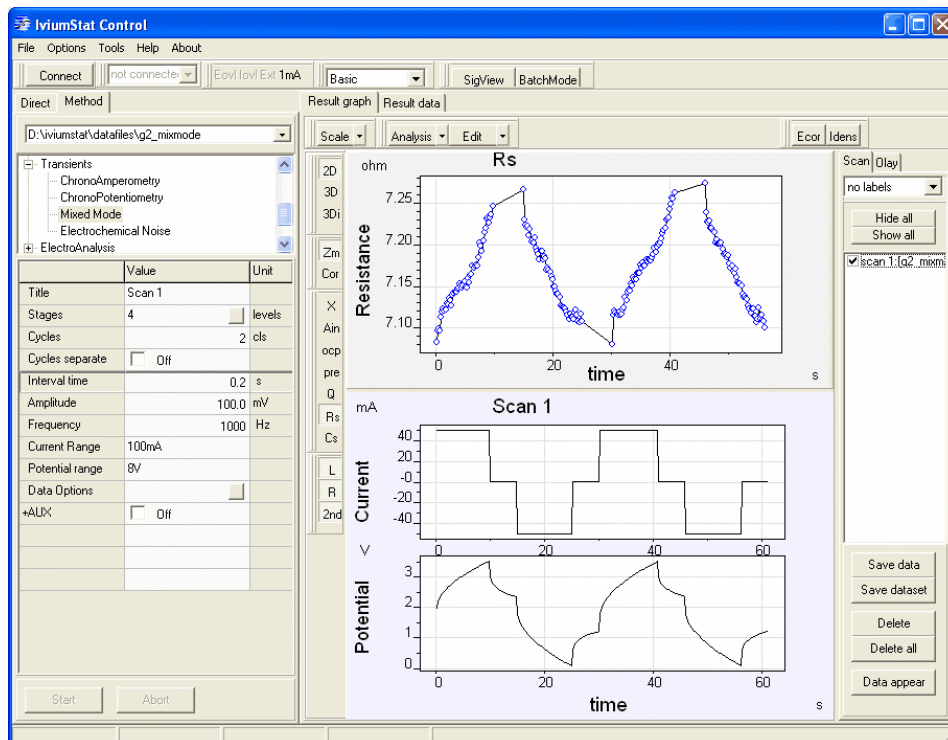
شکل ۴- نمونه‌ای از آزمایش گالوانواستاتیک.

۳-۶- روش ترکیبی (Mixed mode)

در این روش می توان از ترکیبی از روش های پتانسیواستاتیک و گالوانواستاتیک استفاده کرد؛ یعنی پله هایی با کنترل جریان یا با کنترل پتانسیل به صورت مخلوط داشته باشیم. همچنین می توان زمان استراحت را هم همراه با این پله ها داشته باشیم که موجب خروج پروتون ها شده و سرعت واکنش ها را با کاهش کنترل نفوذ افزایش می دهد.



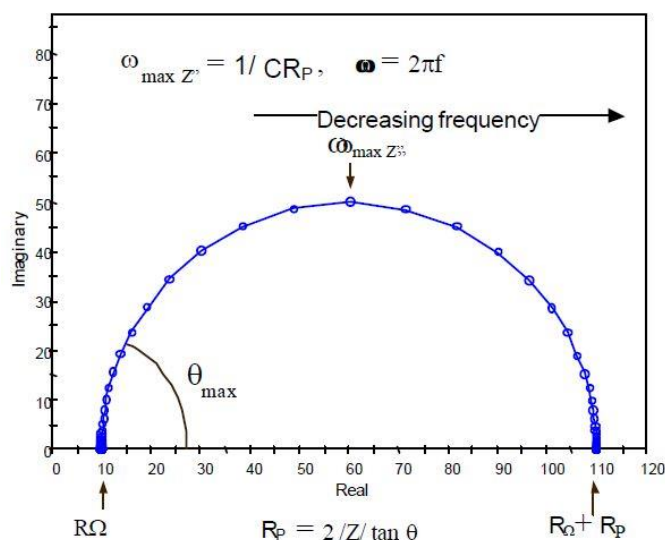
شکل ۵- نمونه ای از مراحل مختلف روش ترکیبی و ثبت امپدانس.



شکل ۶- نمونه ای از نتایج حاصل از روش ترکیبی شامل مقاومت، جریان و پتانسیل. ظرفیت خارنی نیز قابل محاسبه است.

۳-۷- روش اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)

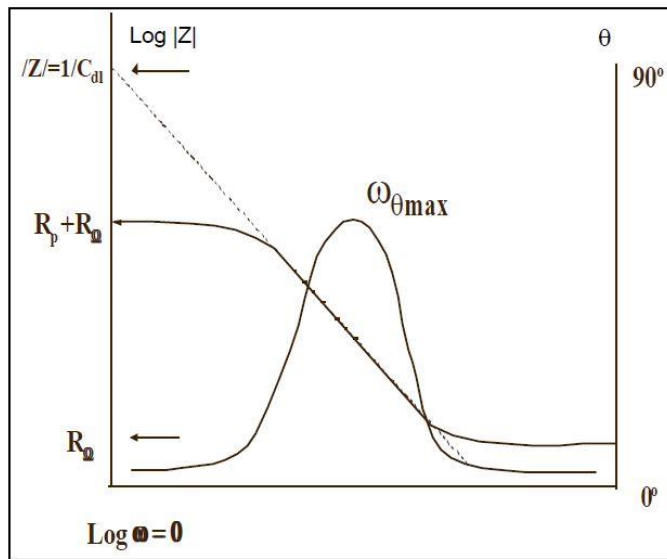
اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی یک روش الکتروشیمیایی است که در آن پتانسیل اعمال و جریان عکس‌العمل آن اندازه‌گیری می‌شود و با استفاده از رابطه بین ولتاژ و جریان می‌توان سرعت خوردگی و یا دیگر عوامل الکتروشیمیایی را اندازه‌گیری کرد. اساس کار این روش اندازه‌گیری امپدانس جریان متناوب (AC) در دامنه‌ای از فرکانس است. در این روش پتانسیل کوچکی نزدیک به پتانسیل مدار باز به صورت متغیر با زمان به نمونه اعمال می‌شود که این پتانسیل کوچک هیچ تخریبی در نمونه ایجاد نخواهد کرد. نتایج را می‌توان به شکل نمودارهای نایکوئیست^۱ (امپدانس حقیقی Z' بر حسب امپدانس موهومی Z'') و باد^۲ (مقدار مطلق امپدانس یا زاویه فاز بر حسب فرکانس) رسم کرد. از آنجا که در روش امپدانس جاروب پتانسیل وجود ندارد، اندازه‌گیری می‌تواند در محلول‌های با هدایت کم نیز انجام شود. در حالی که روش‌های DC در چنین محلول‌هایی به شدت در معرض خطاهای کنترل پتانسیل قرار دارند. مهمترین مزیت روش امپدانس به روش‌های AC این است که در آن یک مدل الکتریکی معادل برای پدیده الکتروشیمیایی ارابه می‌شود. فصل مشترک الکتروود الکترولیت مشابه یک مدار الکتریکی است که شامل ترکیب خاصی از مقاومت‌ها و خازن‌ها است. پارامترهای مربوط به این اجزا را می‌توان با استفاده از نتایج به دست آورد و مدار معادل را پیشنهاد کرد. بنابراین، از آن جا که داده‌های حاصل از آزمایش‌های امپدانس هم اطلاعاتی در مورد ظرفیت و هم در مورد سینتیک انتقال بار می‌دهند، می‌توان مطالعات مکانیزمی سیستم را با آن‌ها انجام داد.



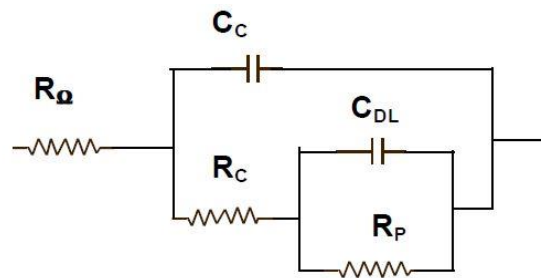
شکل ۷- نمودار نایکوئیست برای یک سیستم الکتروشیمیایی ساده.

¹ Nyquist

² Bode



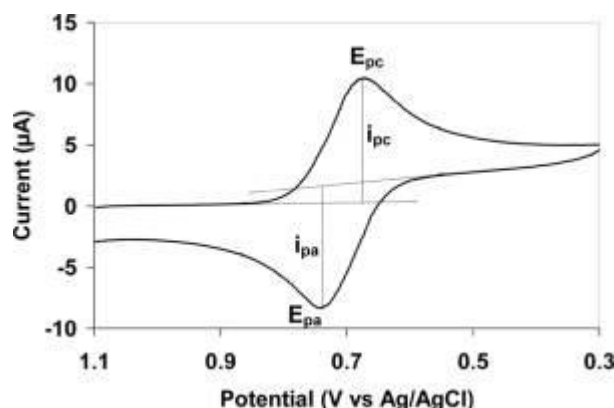
شکل ۸- نمودار باد برای یک سیستم الکتروشیمیایی ساده.



شکل ۹- مدار معادل یک سلول الکتروشیمیایی.

۸-۳- ولتامتری سیکلی

ولتامتری سیکلی یکی از انواع روش‌های اندازه‌گیری الکتروشیمیایی پتانسیودینامیک است. در یک آزمایش ولتامتری سیکلی پتانسیل الکترود کاری به صورت خطی با زمان تغییر می‌کند. بر خلاف ولتامتری روبش خطی، بعد از رسیدن به یک پتانسیل تعیین شده، پتانسیل الکترود کاری در جهت عکس تغییر می‌کند تا به پتانسیل اولیه بازگردد. این چرخه‌های تغییر پتانسیل می‌توانند به تعداد دلخواه تکرار شوند. جریان ایجاد شده در الکترود کاری بر حسب پتانسیل رسم می‌شود تا نمودار ولتامتری سیکلی به دست آید.



شکل ۱۰- ولتامتری سیکلی؛ i_{pa} و i_{pc} به ترتیب، جریان پیک کاتدی و آندی برای یک واکنش برگشت پذیر هستند.

۹-۳- نويز الکتروشیمیایی

روش نويز به سبب غیرمخرب بودن و نیز قابلیت تفکیک خوردگی های موضعی از خوردگی های یکنواخت مورد توجه قرار گرفته است. در این روش می توان جریان یا پتانسیل را بر حسب زمان رسم کرد و میزان تغییرات (نويز) را اندازه گیری کرد. این روش براساس تغییرات در پتانسیل الکتروشیمیایی و جریان خوردگی است که در حین خوردگی اتفاق می افتد. داده های جریان/پتانسیل بر حسب زمان^۱ را می توان به داده های بر حسب فرکانس^۲ نیز تبدیل کرد. عقیده بر این است که رخدادهای الکتروشیمیایی تصادفی روی سطح فلز در حال خورده شدن، باعث به وجود آمدن نويزهایی در سراسر سیگنال های جریان و پتانسیل می شود. این نوسان ها مربوط به فرایندهایی هستند که در فصل مشترک فلز با محلول رخ می دهد. از آن جا که در روش نويز هیچگونه سیگنال خاصی به سیستم داده نمی شود، می توان از آن در محیط های با هدایت الکتریکی کم استفاده کرد.

۱۰-۳- بیوسنسورها

بیوسنسورهای الکتروشیمیایی قادرند از الکتروود به عنوان مبدل آمپرومتری، پتانسیومتری، هدایت سنجی و امیدمتری برای تبدیل سیگنال شیمیایی به سیگنال الکتریکی قابل اندازه گیری استفاده کنند. برای آنالیز حد تشخیص بیوسنسورها، ماده سنسوری بر روی الکتروود مناسب تثبیت می شود و برهمکنش آنالیت (ماده مورد اندازه گیری) با بیوسنسور به تولید علامت الکتریکی (پاسخ آمپرومتری، پتانسیومتری و ...) منجر می شود که با غلظت آنالیت متناسب است.

¹ Time domain

² Frequency domain

۴- آبرکاری

آبرکاری فرآیند روکش‌دهی فلزی است که با احیا کاتیون در یک سلول گالوانیک به وسیله جریان الکتریکی و نشانیدن آن به صورت لایه روی ماده دیگر همراه است. این فرآیند جهت بهبود خواص یک فلز مانند مقاومت به سایش و خوردگی و غیره به کار می‌رود. با اعمال پتانسیل مشخص توسط رکتیفایر و ثابت نگه داشتن جریان در یک سلول الکتروشیمیایی گالوانیک آبرکاری انواع پوشش انجام می‌شود.

۵- تحلیل نتایج به کمک نرم‌افزار

نتایج حاصل از آزمایشات خوردگی شامل تعیین جریان خوردگی و مقاومت اهمی محلول در حالت پایدار (در پتانسیل مدار باز) و در شرایط اعمال پتانسیل در محیط خورنده (پلاریزاسیون) با تحلیل نمودارهای پلاریزاسیون توسط نرم‌افزار در حضور سرپرست آزمایشگاه، خانم دکتر نکاحی، انجام خواهد شد. نمودارهای مربوط به امپدانس شامل نمودارهای نایکویست و باد و مدار معادل سیستم نیز به طور کامل تحلیل و بررسی خواهد شد. تست‌های بیوسنسور نیز با استفاده از دستگاه انجام‌پذیر است.