

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (GAN)

مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



آموزش استفاده از وب آو ساینس

کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

## ایجاد پوششهای آندی با اکسیدهای روتنیوم، ایریدیوم و قلع بر پایه تیتانیوم و بررسی پارامترهای مؤثر بر عملکرد آنها

۱- محمد صادق حاتمی پور<sup>۱</sup>، ۲- کیانوش عبدالله زاده<sup>۲</sup>

دانشگاه اصفهان - گروه مهندسی شیمی

[hatami@eng.ui.ac.ir](mailto:hatami@eng.ui.ac.ir)

### چکیده:

تولید کلر یکی از مهمترین فرایندهای صنایع پتروشیمی می باشد که از آن در صنایع نفت جهت حذف باکتری در برجهای خنک کننده و تصفیه آب و تصفیه سساب استفاده می گردد. استفاده از الکترودهای DSA برای تولید کلر به روش الکترولیز و محصولات آن بسیار کارا و متداول است. برای تولید آندهای DSA یک لایه از اکسید فلزات نجیب مانند اکسید ایریدیوم و اکسید روتنیوم بر روی یک فلز پایه مانند تیتانیوم پوشش داده می شود. در این پروژه جایگزینی فلز قلع به دلیل ارزان بودن قیمت آن در مقایسه با ایریدیوم مورد بررسی قرار گرفته است. از روش طراحی آزمایشات جهت بهینه سازی پارامترهای عملیاتی از جمله میزان بهینه قلع در پوشش و دمای عملیات حرارتی و زمان عملیات حرارتی و همچنین تعیین فرمولاسیون بهترین پوشش کمک گرفته شده است. جهت اثبات عملکرد و تعیین بهترین فرمولاسیون پوشش، نمونه ها از نظر خواص ساختار سطح و آزمایشات خوردگی و اور ولتاژ مورد بررسی قرار گرفته و با نمونه های خارجی مقایسه شده است. در پایان نیز بررسی اقتصادی بهترین پوشش انجام شده و قیمت تمام شده آند DSA و میزان کاهش هزینه تمام شده پوشش در مقایسه با پوششهای قبلی تعیین شده است و همچنین فرمولاسیون جدید برای شرکتهای سازنده آندهای مورد استفاده برای تولید کلر و نیز تعمیر آندهای مستعمل تعیین شده است.

### واژه های کلیدی :

DSA (Dimensionally stable anodes)، پوشش (Coating) تولید کلر (Chlorine production)

<sup>۱</sup> استادیار دانشگاه اصفهان

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد مهندسی فرایند پتروشیمی اصفهان

## ۱- مقدمه

عمده ترین روش تولید کلر، الکترولیز محلول نمک طعام است. هدف عمده در فرآیند الکترولیز نمک طعام بهینه سازی شرایط الکترولیز از حیث خلوص محصول، راندمان جریان و... است. یکی از اصلی ترین اجزاء دستگاه الکترولیز، آندهای آن است. تا دهه ۱۹۷۰ کلرات به روش الکتروشیمیایی توسط الکترودهائی چون گرافیت، پلاتین،  $Fe_3O_4$ ،  $PbO_2$  و گرافیت فعال شده انجام می شد. اما در یکی دو دهه گذشته استفاده از الکترودهای پایدار و مخصوصاً آندهای (Dimensionally Stable Anodes) DSA برای الکترولیز نمکهای کلرید فلزات قلیائی (مانند کلرید سدیم) و تولید کلر خالص، هیپوکلریت ویا کلراتهای این فلزات بسیار متداول گشته است. معایب الکترودهای قبلی (بخصوص گرافیت) این بود که در طول عمل الکترولیز شدیداً خورده شده و باعث افزایش تدریجی فاصله بین کاتد و آنود می گردید. افزایش فاصله الکترودها، افزایش ولتاژ بین آنها را در پی داشت. این پدیده بعلاوه واکنش های شیمیایی که موجب خوردگی آنود می گردید کاهش بازدهی جریان (Current efficiency) برای تولید محصول را باعث می گردید. برای جبران کاهش تولید، افزایش دانسیته جریان (Current density) بعنوان یک راه حل مطرح بود. که این خود نیز افزایش دما و خوردگی شدیدتر الکترودها را موجب می شد. در نتیجه الکترودهای گرافیتی طول عمر کم و هزینه عملیاتی زیادی را در برداشت. عیب دیگر الکترودهای گرافیتی بالا بودن اضافه ولتاژ کلر (Chlorine Overvoltage) آن بود. اصولاً در آندهای تولید کلر باید اضافه ولتاژ کلر پائین و اضافه ولتاژ اکسیژن بالا باشد.

با اختراع الکترودهای DSA و استفاده از فلزات نجیب این مشکلات تا حد زیادی مرتفع گردید. الکترودهای مزبور در ابتدا با استفاده از فلزات نجیب بطور خالص تهیه می گردید. این الکترودها با وجودی که دارای مزایای فراوان بودند ولی گران قیمت بودن تنها نقطه ضعف آنها بود و همین امر منجر به استفاده از متد پوشش دادن یک لایه نازک از یک فلز نجیب (مانند روتنیوم، رودیم، پالادیوم...) بر روی یک فلز پایه که پایداری شیمیایی و الکتروشیمیایی و نیز هدایت الکتریکی آن بالا باشد (مانند تیتانیوم، تانتالوم) گردید. [۱]

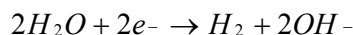
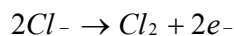
## ۲- معرفی کل سیستم

بطور کلی برای تولید کلریت و هیدروکسید فلزات قلیائی از الکترولیز آب نمک استفاده می شود. در این دستگاهها گاز کلر تولید شده در آنود با یون هیدروکسید تولید شده در کاتد واکنش نموده و یون هیپوکلریت را بوجود می آورند. محصول بدست آمده برای استریزه کردن، سفید کردن، جلوگیری از رسوب جلبکها و موجودات ذره بینی به سازه های واقع در زیر آب، سیستمهای فاضلاب... مورد استفاده قرار می گیرد. در برخی از نیروگاهها از آب دریا برای خنک کردن تاسیسات (کندانسورها...) استفاده می شود. به منظور جلوگیری از رشد جلبکها، صدفها و سایر موجودات ریز دریائی در لوله های سیستم خنک کننده و مسدود نمودن آنها، آب ژاول تولیدی با غلظت معین به این آب تزریق می گردد. واکنشهای شیمیائی عمده در فرآیند تولید کلر در سل الکترولیز به شرح زیر است:

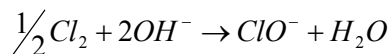
با عبور جریان مستقیم برق از محلول آبی کلرید سدیم، ابتدا نمک تجزیه می شود



سپس در آنود کلر و در کاتد هیدروژن و یون هیدروکسید تولید می شود.



کلر و یون هیدروکسید واکنش نموده و هیپوکلریت حاصل می شود.



علاوه بر واکنشهای اصلی فوق، واکنشهای دیگری نظیر اکسیداسیون هیپوکلریت به کلرات درآند، احیاء هیپوکلریت به کلرید درکاتد، وتشکیل اکسیژن درآند نیز صورت می پذیرد. (باید در نظر داشت که میزان پیشرفت هر یک از این واکنشها بستگی به نوع آند و ولتاژ اعمالی دارد. [۲])  
ملاحظه می شود که :

- ۱- هرچه دانسیته جریان افزایش یابد درصد تولید اکسیژن افزایش می یابد. البته درصد تولید کلرات هم افزایش می یابد و باید در نظر داشت که این امر به نفع تولید کلرات است. پس بهتر است که در دانسیته جریان بالا کار کرد.
- ۲- هرچه دمای سل بالا رود درصد تولید اکسیژن کاهش می یابد. چون تولید کلرات توسط مرحله اکسیداسیون شیمیائی کنترل می شود که شدیداً وابسته به دماست و اگر مسئله خوردگی نباشد حتی الامکان باید دما را بالا برد.
- ۳- هرچه غلظت آب نمک ( محلول الکترولیت ) بالا می رود درصد تولید اکسیژن کاهش می یابد.
- ۴- در الکترودهای DSA درصد تولید اکسیژن کمتر از الکترودهای گرافیتی است.

### خواص مورد نظر از یک الکتروکاتالیست

خواص اصلی مورد نظر در یک الکتروکاتالیست مناسب برای الکتروکاتالیست طعام عبارتند از:

- ۱- سطح تماس بالا
  - ۲- هدایت الکتریکی بالا
  - ۳- خواص الکتروکاتالیستی مناسب
  - ۴- پایداری شیمیائی ومکانیکی در فصل مشترک پایه ولایه فعال وهمچنین در فصل مشترک لایه فعال و محلول برای زمان طولانی.
  - ۵- حداقل کردن مشکلات حباب گاز.
  - ۶- افزایش گزینش پذیری.
  - ۷- در دسترس بودن ومناسب بودن هزینه.
  - ۸- ایمنی وسلامتی.
- همه موارد هشت گانه فوق مهم هستند اما هنگامی که استفاده از دانسیته جریان بالا مد نظر باشد موارد (۲) و (۴) دارای اهمیت بالایی هستند با وجود این محققان بسیار اصرار دارند که مورد شماره (۳) را به دقت مطالعه وبررسی کنند چرا که حاوی نکات بسیار حائز اهمیت است.

در ساختار DSA اساساً هر جزء یک نقش خاصی به عهده دار که عبارتند از:

- ۱- الکتروکاتالیست ( Electrocatalyst )
  - ۲- بهبود پایداری ( Stability Promoter )
  - ۳- افزایش گزینش پذیری ( Selectivity enhancer )
- مفهوم الکتروکاتالیست اصلی ترین علاقه مشترک میان کسانی است که به طور صنعتی و آکادمیک روی الکتروکاتالیست های DSA کار می کنند. پدیده الکتروکاتالیست عبارت است از وابستگی سرعت واکنشهای الکتروکاتالیست به طبیعت موادی که الکتروکاتالیست ساخته شده است. محققانی که تحقیقات بنیادی می کنند هدفشان دستیابی به یک راهنمایی اساسی برای انتخاب وطراحی مواد جدید در ساخت الکتروکاتالیست است. اما کسانی که در صنعت کار می کنند امید دارند که با این پدیده الکتروکاتالیست عملکرد فرایند الکتروکاتالیست را از حیث راندمان جریان مصرفی ونیز کاهش هزینه های عملیاتی بهبود دهند. [۳]و [۶]

براساس تحلیل فوق خواسته های تکنولوژیک ما در تحقیقات کاربردی الکتروکاتالیست به فرم زیر است :

- ۱- بهبود فعالیت الکتروکاتالیستی برای واکنش مطلوب.
  - ۲- کاهش فعالیت الکتروکاتالیستی برای واکنش نامطلوب.
  - ۳- پایداری مناسب در مقابل سایش.
  - ۴- جایگزینی مواد با ارزش با مواد ارزانتر.
- یافتن موادی که تمام خواسته های مورد نظر ما را در یک مقدار بهینه برآورد کنند عملاً غیرممکن است اما سه دسته اصلی از این مواد برای ساخت این الکترودها به کار می رود.

Rutile -Type -

Spinel-Type -

Provkiet- Type -

بهترین انتخاب Rutile- Type ها هستند که امروزه در ساخت DSA به کار می روند. [۵]

### پاره ای از مفاهیم و روشهای مربوط به ساخت الکترودها

تکنیکهایی که در حال حاضر برای تهیه الکترودهای اکسیدی ارائه شده است براساس اهداف عمده زیر بوده است :

- پایه با هدایت بالا و هزینه کم
  - روش آسان و سریع برای ساخت الکترودها
  - پایداری مکانیکی لایه فعال
- هرچند روشهای متعددی برای نشان دادن اکسیدهای مختلف روی پایه وجود دارد اما روش تجزیه حرارتی بعلت استفاده از دماهای نسبتاً پائین، بهترین روش برای دستیابی به اهداف فوق است.

### ۳- تهیه فیلم

اساس روش تهیه فیلم چنین است که مواد آغازکننده را در حلال مناسب حل و روی پایه پخش کرده و در یک دمای مناسب در اثر تجزیه حرارتی فیلمی از دی اکسید این فلزات واسطه تشکیل می گردد. دمای مورد استفاده در تجزیه حرارتی بستگی به مواد آغاز کننده و نیز طبیعت پایه دارد. دمای تجزیه باید به اندازه کافی زیاد باشد تا عمل تجزیه کامل شود. در عمل مواد آغازکننده مورد استفاده برای تهیه  $RuO_2, IrO_2$  به ترتیب  $IrCl_3$  (یا  $IrCl_4$ ) و  $RuCl_3$  می باشند،  $SnO_2$  هم از پیرولیز  $SnCl_3$  حاصل می شود. محدوده دمائی مورد استفاده برای تجزیه حرارتی از آنالیز ترموگراویمتری (TGA) بدست می آید.  $RuO_2$  در دمائی کمتر از ۵۰۰ درجه سانتیگراد تهیه می شود اما  $IrO_2$  در دمائی حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد تشکیل می شود. محلول مورد نظر را توسط یکی از روشهای شناوری، برس کاری یا اسپری می توان استفاده کرد. طبیعت حلال مورد استفاده هم موثر است. حلالهای غیرآبی (اغلب ایزوپروپانول) روی سطح بهتر از آب پخش می شوند [۴]

### ۴- دستورالعمل جهت پوشش (Ru-Ti-Ir-Sn)

#### چربی زدایی سطح

برای چربی زدایی سطح الکترودها ساخته شده می توان از استون و یا حلالهای آلی دیگر استفاده نمود. مدت زمان لازم جهت این کار بستگی به نوع سطح و میزان چربی آن دارد. این عمل تا تمیز شدن کامل چربی سطح ادامه می یابد.

#### اسیدشویی سطح

برای شستشوی سطح از اسید کلریدریک ۲۰٪ جوشان بمدت ۲۰ دقیقه استفاده می گردد. این مدت زمان بر حسب نوع پوشش مستعمل و میزان رسوبات و باقیمانده بر روی الکترودها قابل افزایش یا کاهش می باشد.

### آماده‌سازی محلول میان لایه

محلول میان لایه بایستی یک محلول بسیار رقیق و درصد اجزای تشکیل دهنده آن متفاوت از مواد پوشش اصلی باشد. با توجه به اینکه پوشش نهایی باید حاوی روتنیوم و ایریدیوم و قلع باشد محلول میان لایه که به عنوان فعال‌سازی سطح مورد استفاده قرار می‌گیرد نیز باید از ترکیبات روتنیوم تری کلراید و ایریدیوم تری کلراید و قلع دی کلراید استفاده گردد و با توجه به اینکه این مواد به راحتی در پایه تیتانیومی نفوذ می‌کنند از ترکیب حاوی تیتانیوم در ساخت محلول استفاده نمی‌گردد.

### آماده‌سازی محلول فعال‌سازی

محلول میان لایه مورد استفاده در این دستورالعمل باید یک محلول بسیار رقیق با درصد اجزای تشکیل دهنده آن متفاوت از مواد پوشش اصلی باشد. محلولی طبق جدول طراحی آزمایشات تهیه و حداکثر ۵ بار روی سطح الکتروستعمل اعمال میگردد. بعد از هر بار اعمال محلول بر روی سطح و خشک شدن آن در دمای محیط، عملیات حرارتی در دما و زمان طراحی شده انجام می‌شود.

### آماده‌سازی و اعمال پوشش نهایی

برای تهیه ترکیب مورد نیاز برای پوشش نهایی محلولی طبق جدول طراحی آزمایشات تهیه و ۵ مرتبه روی سطح اعمال میگردد. پس از هر بار پوشش، ابتدا خشک کردن در آون و سپس عملیات حرارتی در دما و زمان طراحی شده انجام می‌شود.

### ۵- طراحی آزمایش‌ها

با مطالعه مقالات و کارهای صورت پذیرفته در زمینه ساخت آندهای DSA فاکتورهای مهم از جمله دما و زمان پیرولیز و ترکیب درصد وزنی اجزای پوشش در پوشش میانی و پوشش نهایی و همچنین مقدار ایزو پروپانول در پوشش میانی و نهایی و اسید کلرید ریک در پوشش میانی و نهایی بعنوان فاکتورهای مهم در مرحله اول غربال کردن فاکتورها مورد بررسی قرار گرفته است. باتوجه به اهمیت فاکتورها و همچنین در نظر گرفتن تعداد آزمایشها در جداول طراحی آزمایشها فاکتورهای ترکیب درصد وزنی پوشش میانی 1 (Comp) و ترکیب درصد وزنی پوشش نهایی 2 (Comp) را بصورت چهار سطحی و دما (Temperature) و زمان پیرولیز (Time) و مقدار ایزو پروپانول در پوشش میانی 1 (Isopropanol) و مقدار ایزو پروپانول در پوشش نهایی 2 (Isopropanol) و مقدار اسید کلرید ریک در پوشش میانی 1 (Hcl) و مقدار اسید کلرید ریک در پوشش نهایی 2 (Hcl) بصورت دو سطحی در نظر گرفته شده است

جدول ۱: جدول آزمایشها و فاکتورها

run	comp1	comp2	(Hcl)1	(Hcl)2	(Isopropanol)1	(Isopropanol)2	time	Temperature
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	1	1	1	2	2	2
3	1	3	2	2	2	1	1	1
4	1	4	2	2	2	2	2	2
5	2	1	1	2	2	1	2	2
6	2	2	1	2	2	2	1	1
7	2	3	2	1	1	1	2	2
8	2	4	2	1	1	2	1	1
9	3	1	2	1	2	2	1	2
10	3	2	2	1	2	1	2	1
11	3	3	1	2	1	2	1	2
12	3	4	1	2	1	1	2	1
13	4	1	2	2	1	2	2	1
14	4	2	2	2	1	1	1	2
15	4	3	1	1	2	2	2	1
16	4	4	1	1	2	1	1	2

جدول ۲: فاکتورها و سطوح

	factors	level 1	level 2	level 3	level 4
1	Comp1	xruo2=.3    xsno2=.7 xiro2=0    xtio2=0	xruo2=.35    xsno2=.4 xiro2=.25    xtio2=0	xruo2=.55    xsno2=.3 xiro2=.15    xtio2=0	xruo2=.15    xsno2=.5 xiro2=.35    xtio2=0
2	Comp2	yruo2=.15    ysno2=.65 yiro2=.1    ytio2=.1	yruo2=.25    ysno2=.5 yiro2=.25    ytio2=0	yruo2=.1    ysno2=.45 yiro2=0    ytio2=.45	yruo2=.2    ysno2=.55 yiro2=.15    ytio2=.1
3	(Hcl)1	0.1 cc/.1 gr mix	0.2 cc /.1 gr mix	-	-
4	(Hcl)2	0.05 cc/.1 gr mix	0.1 cc/.1 gr mix	-	-
5	(isopropanol)1	2 cc/.1 gr mix	3 cc/.1 gr mix	-	-
6	(isopropanol)2	1 cc/.1 gr mix	1.5 cc/.1 gr mix	-	-
7	time	20 Min	35 min	-	-
8	Temperature	500 c	520 c	-	-

## ۷- گزینش پاسخ

پس از تعیین فاکتورها و سطوح آن نوبت به انتخاب پاسخ مناسب جهت غربال کردن فاکتورهای با اهمیت کمتر میرسد. پاسخهای در نظر گرفته شده جهت ارزیابی کیفیت پوشش شامل یک یا مجموع ای از پاسخهای ذیل خواهد بود.

۱- خاصیت الکتروکاتالیزور پوشش: مفهوم نسبی الکتروکاتالیزور در عمل بسیار بیشتر از مفهوم مطلق آن بکار رفته است

و گفته می شود خواص الکتروکاتالیستی یک الکتروود دیگر بهتر است وقتی که در آورپتانسیل ثابت  $(\eta)$  واکنش مورد نظردر آن سریعتر انجام شود. منحنی های ولتامتری توسط پتاسیواستات بدست آمده است. البته رفتار الکتروکاتالیستی دو الکتروود متفاوت را می توان از طریق مقایسه آور پتانسیلهای آنها در دانسیته جریانهای ثابت مقایسه کرد. پس می توان گفت که خواص الکتروکاتالیستی یک الکتروود از دیگری بهتر است اگر در یک آورپتانسیل ثابت، دانسیته جریان بیشتری از آن عبور کند. یا به بیان دیگر اگر در یک دانسیته جریان ثابت، آورپتانسیل آن برای تولید محصول مورد نظر پائین و برای محصول نا مطلوب بالاتر باشد. مقایسه رفتار الکترو کاتالیستی دو الکتروود متفاوت را به طور خلاصه می توان با مقایسه شیب تافل آنها انجام داد. شیب تافل در واقع شیب منحنی ولتامتری ۱-۳ است.

$$b = \frac{d\eta}{d \log i} \quad (1-3)$$

در معادله فوق :

$\eta$  : آورپتانسیل (ولت)

i : دانسیته جریان ( Amp/cm<sup>2</sup> )

b : شیب تافل

بطور خلاصه هر چه شیب منحنی ولتامتری بیشتر باشد ( منحنی تیزتر باشد ) الکتروود رفتار الکتروکاتالیستی مناسب تری دارد. البته صحت بحث فوق تا زمانی است که واکنش روی سطح دو الکتروود با مکانیزمهای یکسانی انجام شود. در صورتی که مکانیزم فرق کند مقایسه های فوق کفایت نمی کند. با بکارگیری نمودار تافل و با برونمایی خطی بطور مستقیم Icorr

را میتوان محاسبه و با استفاده از آن سرعت خوردگی که یک پاسخ مناسب جهت ارزیابی و مقایسه عملکرد الکتروود است قابل محاسبه خواهد بود.

۲- **پایداری الکتروود با زمان:** یک الکتروود با آور پتانسیل متوسط وزمان عمر بالا بسیار مناسبتر از یک الکتروود با آور پتانسیل بالا وزمان عمر کم است.

۳- **سطح در دسترس الکتروود برای واکنش شیمیایی:** یکی از روشهای مستقیم بهبود عملکرد الکتروود کاتالیستی الکتروود، افزایش سطح در معرض واکنش آن است بطوریکه در آور پتانسیلهای کم هم سرعت واکنش چشمگیر باشد. پس یکی از مهمترین فاکتورها در این بحث محاسبه سطح دقیق در معرض واکنش است که روشهای شیمیایی و فیزیکی متفاوتی برای تعیین آن وجود دارد که البته این سطح معادل سطح فعال الکتروشیمیایی (سطحی که در آن واکنش الکتروشیمیایی انجام می شود) نیست. بکار گیری اطلاعات مورفولوژی سطح و عکس الکترونیکی در این خصوص مفید خواهد بود.

۴- **الکتروولیز واقعی:** با استفاده از پیلوتها آزمایشگاهی استاندارد که جهت الکتروولیز نمک طعام تهیه شده میتوان عملکرد کلی و واقعی الکتروود را ارزیابی نمود.

## ۸- غربال کردن پاسخها

پس از تهیه و پوشش دادن ۱۶ الکتروود طبق جدول طراحی آزمایشات منحنیهای ولتامتری توسط پتانسیو استات را بدست آورده و نمودارهای تافل تهیه و میزان خوردگی هر الکتروود محاسبه و بعنوان پاسخ مرحله غربال کردن در نظر گرفته شد. با استفاده از نرم افزار طراحی آزمایشات فاکتورهای زمان و دمای پیروولیز و 1(HCL) و 2(HCL) به دلیل تاثیر جزئی آن بر روی پاسخ خروجی حذف شده اند. همچنین از تمامی نمونه ها جهت بررسی ساختار سطح عکس الکترونیکی در بزرگنمایی 2000X گرفته شده است. در مرحله بعد جهت بهینه سازی و یافتن بهترین شرایط جدول طراحی آزمایشات با ۴ فاکتور اصلی و ۸ آزمایش طراحی گردید. با توجه به اهمیت فاکتورها و همچنین در نظر گرفتن تعداد آزمایشها در جداول طراحی آزمایشها فاکتورهای ترکیب درصد وزنی پوشش نهایی 2 (Comp) را بصورت چهار سطحی و ترکیب درصد وزنی پوشش میانی 1(Comp) و مقدار ایزو پروپانول در پوشش میانی 1(Isopropanol) و مقدار ایزو پروپانول در پوشش نهایی 2(Isopropanol) بصورت دو سطحی در نظر گرفته شده است. دما و زمان و 1(HCL) و 2(HCL) طبق نتایج طراحی آزمایشات تصحیح شده و ثابت در نظر گرفته شده است. طراحی مرحله دوم به قرار ذیل است.

جدول ۳: جدول آزمایشها و فاکتورها

run	Comp2	Comp1	(Isopropanol)1	(Isopropanol)2
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	2	1	1	2
4	2	2	2	1
5	3	1	2	1
6	3	2	1	2
7	4	1	2	2
8	4	2	1	1



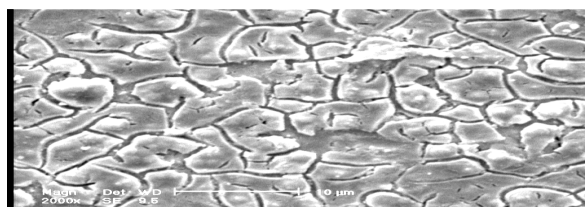
جدول ۴: فاکتورها و سطوح

	factors	level 1	level 2	level 3	level 4
1	Comp2	xruo2=.25 xsno2=.65 xiro2=0.1 xtio2=0	xruo2=.25 xsno2=.5 xiro2=.25 xtio2=0	xruo2=.35 xsno2=0 xiro2=.15 xtio2=0.5	xruo2=.1 xsno2=.45 xiro2=0 xtio2=0.45
2	Comp1	yruo2=.25 ysno2=.75 yiro2=0 ytio2=0	yruo2=.7 ysno2=0 yiro2=.3 ytio2=0		
3	(Hcl)1	0.2 cc/.1 gr mix	-	-	-
4	(Hcl)2	0.15 cc/.1 gr mix	-	-	-
5	(isopropanol)1	2.5 cc/.1 gr mix	3 cc/.1 gr mix	-	-
6	(isopropanol)2	1.2 cc/.1 gr mix	1.5 cc/.1 gr mix	-	-
7	time	25 Min	-	-	-
8	Temperature	510 c	-	-	-

پس از تهیه و پوشش دادن ۸ الکتروود طبق جدول طراحی آزمایشات منحنیهای ولتامتری توسط پتانسیو استات را بدست آورده و نمودارهای تافل تهیه و میزان خوردگی هر الکتروود محاسبه و بعنوان پاسخ در نظر گرفته شده و همچنین جهت بررسی ساختار سطح عکس الکترونیکی در بزرگنمایی 2000X گرفته شده است. از میان الکتروودها ۲ نمونه بعنوان بهترین نمونه انتخاب گردید و تست پایداری الکتروود با زمان و همچنین کنترل واقعی در پایلوت انجام گرفت.

#### ۹- نتیجه گیری

حضور عنصر قلع بصورت SnO2 در پوشش باعث تراکم بیشتر ساختار و همچنین منجر به بهبود اضافه ولتاژ اکسیژن و بازده جریان میگردد. بعنوان مثال پوشش (Ru-Ir-Sn)O2 نسبت به پوشش (Ru-Sn)O2 دارای اضافه ولتاژ اکسیژن بیشتر و اضافه ولتاژ کلر کمتری میباشد همچنین برای داشتن فعالیت الکتروکاتالیستی SnO2 مناسب نباید درصد آن از ۴۰٪ کمتر باشد



شکل ۱: ساختار سطح آند DSA نمونه ۸ بهینه سازی با بزرگنمایی ۲۰۰۰ X

-منابع و مأخذ:

- 1) Couper, A.M.,(1990), "New developments in electrode coatings for chlor alkali process ", Modern chlor - alkali Tech. ,4, 71-83.
- 2) Heike I, H.R., (1977), "Electrode coating process",patent,112,140
- 3) Horacek,J.,puschaver,S.,(1971), " Economics of dimensionally stable anodes" ,CEP, 67 (3) , 71-4.
- 4) Hine.F .,Yasuda,M.,(1979), " Electrochemical behavior of the oxide coated metal anode",J.Electrochem.Soc., 1439 – 1445.
- 5) Iwakura,c.,(1977), "Chlorine distribution in thermally decomposed Ir and pt oxide film", Electrochimica Acta , 22, 217-219.

- 6) Trasati,S.,(1984), " Electrocatalysis in the anodic evolution of oxygen and chlorine", *Electrochimica Acta*,29, ( 11), 1503-1512.

# SID



سرویس های  
ویژه



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی



عضویت در  
خبرنامه



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی