

بررسی شرایط عملیاتی و راهکارهای عملی برای حل مشکلات غشاهای واحد الکترولیز صنایع کلرپارس

^aفیروزه تقوی – ^bمنصور کلباسی

^aشرکت کلرپارس – واحد تحقیق و توسعه

^bدانشکده مهندسی شیمی – دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

چکیده:

صنایع کلرآلکالی گروهی از صنایع شیمیایی هستند که تولیدات اصلی آنها کلر، سود، کربنات سدیم، پتاس و اسید کلریدریک می باشد. کلر و سود دو محصول مهم این گروه هستند و در زمره ده محصول شیمیایی برتر جهان قرار گرفته اند.

در این مقاله ابتدا در مورد فرایند کلرآلکالی و تکنولوژی الکترولیز غشایی به صورت اجمالی بحث شده و در ادامه در خصوص غشاهای مورد استفاده در صنعت کلرآلکالی، ساختار غشاهای مزبور و انواع صدمات وارده بر غشاهای، دلایل ایجاد این صدمات، راهکارهای عملی برای غلبه بر مشکلات مزبور و تجربیات و دستاوردهای شرکت کلرپارس در خصوص الکترولیز غشایی بحث شده است. الکترولیزرها مورد استفاده در این شرکت مدل DD88 دنورا بوده و مشکلات واحد الکترولیز عبارتند از: تشکیل سوراخ های ریز و نقاط سیاه بر روی ممبران و مصرف بیش از حد اسیدکلریدریک و تشکیل کلرات در سیستم. برای حل مشکلات این واحد شرایط عملیاتی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته و راهکارهایی برای غلبه بر مشکلات مزبور ارائه و با اجرای بخشی از این پیشنهادات، برخی از مسائل موجود مرتفع گردیده است.

کلمات کلیدی: الکترولیز، غشا، کلر، بهینه سازی، آب نمک، چروکیدگی، استحکام مکانیکی، تورم

مقدمه:

در طول ۳۰ سال گذشته، تکنولوژی ساخت ممبران، الکترولایزر و فرآیند خالص سازی آب نمک پیشرفت‌های کلرالکالی ارتقا یافته است زیادی نموده و عملکرد و راندمان تولید فرآیندهای غشایی در واحدهای

مشخصه فرآیند ممبرانی مصرف کمتر جریان الکتریسیته نسبت به سایر فرآیندهای الکترولیز می باشد که در نتیجه پیشرفت‌های صورت گرفته در حوزه تکنولوژی ساخت الکترولایزر و غشا بدست آمده است. در غشاهای اولیه، حداکثر غلظت سود تولیدی ۲۰ درصد و راندمان جریان کمتر از ۹۰ درصد بود ولی در الکترولایزرهای کنونی، غلظت سود ۳۳ درصد و راندمان جریان بالاتر از ۹۷ درصد و افت اهمی جریان به کمتر از ۱ ولت کاهش یافته است. در طول سالها و با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در طراحی الکترولایزر غلظت الکترولیت در داخل سل یکنواخت گردیده، فاصله الکترودها و افت اهمی در محلول الکترولیت تا ۳۰ درصد کاهش یافته است. همچنین با پیشرفت‌های صورت گرفته در طراحی الکترودها و ترکیب آن مصرف برق کاهش پیدا کرده است. جایگزین کردن کاتدهای استیلی با کاتدهای نیکلی، ولتاژ سل را در حدود ۲۵۰ میلی‌ولت کاهش داده است.

با کاهش مقاومت الکتریکی محلول الکترولیت و حباب‌های گاز مابین دو الکترودها، ولتاژ سل کاهش یافته است. با اصلاحات صورت گرفته در ساختار الکترولایزر، اکنون ساختار الکترودها و فاصله الکترودها به نحوی است که تأثیر محلول الکترولیت و حباب‌های گاز را کاهش داده و مقاومت الکتریکی این اجزاء را پائین آورده و سبب شده که عملیات ممبران‌ها در دانسیته‌های جریان بالاتر امکان‌پذیر گردد [۱].

غشاها از اجزای اصلی واحدهای تولید کلر محسوب گشته و از اقلام هزینه بر نیز محسوب می گردند و به راحتی صدمه دیده و کارایی خود را از دست می دهند. در این مقاله تلاش گردیده صدمات وارده به غشاهای واحدهای کلرالکالی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و راهکار عملی برای جلوگیری از صدمات مزبور پیشنهاد گردد. انواع صدمات وارد بر ممبران به سه بخش به شرح زیر تقسیم می شود:

۱. صدمات ناشی از تجمع ناخالصی ها در ممبران

۲. صدمات ناشی از تغییر خواص پلیمر (تأثیر در انتقال جرم)

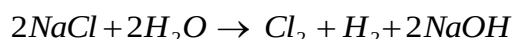
۳. صدمات مکانیکی

از میان موارد فوق صدمات ناشی از تجمع ناخالصی ها در ممبران شایع تر از بقیه بوده ولی صدمات مکانیکی خطرناکتر از بقیه می باشد و در صورت بروز صدمات مکانیکی، ممبران در کمتر از ۶ ماه از بین می رود ولی در سایر صدمات، این فاصله زمانی ۱ الی ۲ سال می باشد. البته در تعیین عمر ممبران عواملی مانند نوع ممبران و الکترولایزر و نحوه بهره برداری از تجهیزات از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار به شمار می روند [۲].

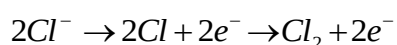
با توجه به تاریخچه کارکرد غشاها و الکترولایزرها در شرکت کلرپارس عمده ترین مشکلات مشاهده شده در ممبران ها، وجود چروک و سوراخ های ریز بر روی آنها بوده که منجر به کاهش طول عمر الکترولایزر ها و ممبران ها گردیده و عوارض جانبی نظیر افزایش ناخالصی نمک و کلرات در سود تولیدی را موجب می شوند.

تئوری:

در فرآیند الکترولیز، محلول کلرید سدیم در آب بوسیله عبور جریان مستقیم تجزیه شده و به کلر، هیدروژن و محلول سود تبدیل می گردد. واکنش کلی فرآیند به صورت زیر است:



که در دو طرف آند و کاتد روی داده ولی واکنش آزاد شدن کلر در طرف آند اتفاق می افتد.



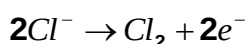
سه پروسه تولید به روش الکترولیز وجود دارد. واکنش کاتد به نوع فرآیند بستگی داشته و این سه فرآیند عبارتند از:

✚ فرآیند دیافراگمی

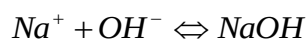
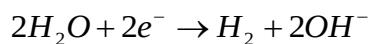
✚ فرآیند جیوه ای

✚ فرآیند غشایی

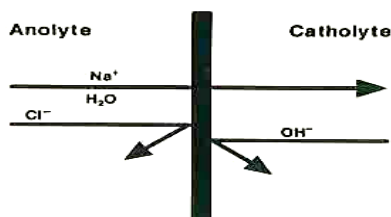
در فرایند غشایی، آنولایت و کاتولایت توسط غشا از یکدیگر جدا گشته و با ورود آب نمک اشباع، گاز کلر طبق واکنش زیر آزاد می شود:



میدان الکتریکی باعث مهاجرت یون های سدیم هیدراته از طریق غشا به کاتد شده و در قسمت کاتد هیدروژن و سود به روش زیر تشکیل می گردد:

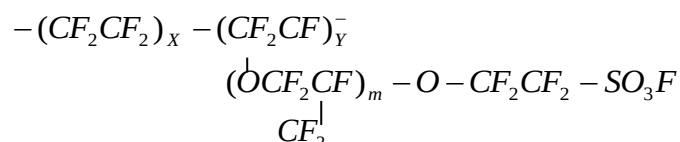


فازهای گاز و مایع در سل و یا در جریان پایین دستی از یکدیگر جدا گشته و آنولایت اشباع از کلر وارد قسمت کلرزدایی شده و کلر حل شده از آب نمک جدا می گردد و در شکل زیر نمایی از یک سل کلرآلکالی نشان داده است.



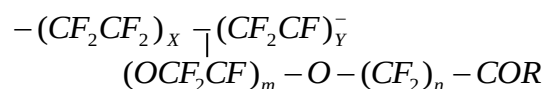
ساختار ممبران باید به نحوی باشد که هم در برابر کلر و آنولایت و هم در برابر محلول سود غلیظ و در دمای 95°C مقاومت لازم را داشته باشد. تنها ممبران های مبادله گریونی که قادر به مقاومت در برابر چنین شرایط سختی هستند، پلیمرهای فلوروسولفونات (SO₃F-) و یا در فرم کربوکسیلات (COOR-) است.

فلوروسولفات



$$m = 0-1$$

کربوکسیلات



$$m=0-1, n=1-5, R=Alkyl$$

ممبران های اولیه فقط حاوی لایه پرفلوروسولفونات بودند و ساختار پلیمری آنها به نحوی بود که آب کمتری را به خود جذب میکردند و از انتخاب پذیری بیشتری برخوردار بوده ولی مقاومت الکتریکی بالا و در نتیجه مصرف برق آن ها بیشتر بود. غشاهای جدید به صورت ترکیبی بوده و دارای دو لایه پرفلوروسولفوناتی و پرفلورو کربوکسیلاتی هستند و هم زمان دارای راندمان جریان بالا و مقاومت الکتریکی پایین هستند. در این غشاها لایه محتوی گروه سولفوناته (SO₃-) در طرف آند و لایه محتوی گروه کربوکسیلاته (COO-) در طرف کاتد قرار گرفته و ضخامت لایه پرفلوروسولفونات بیشتر از لایه پرفلورو کربوکسیلات بوده و عمده ساختار ممبران را تشکیل می دهد.

کل جریانهای عبوری از غشا را می توان به سه قسمت زیر تقسیم کرد:

(۱) مهاجرت در اثر برقراری میدان الکتریکی

(۲) جابجایی (کنواکسیون)

(۳) نفوذ در اثر اختلاف غلظت شیمیایی

در اثر برقراری میدان الکتریکی، یون سدیم از آند به کاتد منتقل می گردد همچنین ممکن است یون هیدروکسیل از کاتد به آند منتقل گردد که هرچه میزان مهاجرت یون هیدروکسیل از کاتد به آند کمتر باشد راندمان جریان بیشتر خواهد بود و انتخاب پذیری غشا به قدرت دفع یون های هیدروکسیل مربوط می گردد.

مهاجرت یون های هیدروکسیل باعث تشکیل اکسیژن، هیپوکلریت و کلرات در قسمت آند و کاهش راندمان جریان به میزان ۳-۷ درصد می گردد با انتخاب کوتینگ مناسب برای آند و کاهش PH آن بوسیله اسیدی کردن آب نمک ورودی می توان از تولید اکسیژن تا حدود زیادی جلوگیری کرد. مکانیسم جابجایی و نفوذ، میزان فلاکس عبوری از ممبران را تعیین کرده و ممبران مانع از ورود آنیون های کلرید به کاتد گشته و میدان الکتریکی نیز آن را دفع می کند [۳].

با گذشت زمان عملکرد غشاء و الکترولایزر تحت تاثیر عوامل محیطی گرفته و ممکن است در اثر بعضی عوامل از جمله وجود ناخالصی در آب نمک ورودی، انتقال جرم نامناسب در طول غشاء و ... صدماتی به غشاء وارد شود که در زیر به عوامل اصلی ایجاد این صدمه پرداخته شده است.

۱. صدمات ناشی از تجمع ناخالصی ها در ممبران

این صدمات در اثر رسوب ناخالصی ها بر روی غشاء ایجاد گردیده و تاثیر آن معمولا در طرف کاتد ظاهر می گردد. این ناخالصی ها گاهی اوقات سطح کاتد را زبرتر نشان می دهد که حتی گاهی با چشم نیز قابل مشاهده می باشد ولی در صورتی که سطح غشاء سالم و صاف باشد ناخالصی ها باعث افزایش ولتاژ الکترولایزر کاهش راندمان جریان در غشاء و افزایش افت ولتاژ می گردند برای پیشگیری از این نوع صدمات باید از آب نمکی با مشخصات قابل قبول استفاده کرد و کارایی تجهیزات را با نگهداری به موقع و بهره برداری صحیح افزایش داد. همچنین با احیا به موقع رزین های تبادل یونی و کنترل مرتب میزان ناخالصی ها می توان از بروز این دسته از صدمات جلوگیری بعمل آورد [۶].

۲. صدمات ناشی از تغییر خواص پلیمری غشاء

این صدمات در اثر نوسانات غیر مجاز انتقال جرم در ممبران روی می دهد و با بروز پدیده هایی نظیر چروکیدگی، تورم، تجمع نمک در داخل غشاء، وجود حباب و یا حفره قابل مشاهده است. کاهش انتقال جرم در داخل غشاء معمولا با از دست دادن آب، حباب و حفره در طرف کاتد و ایجاد چروکیدگی بر روی غشاء قابل مشاهده بوده و در اثر افزایش غیر مجاز غلظت سود، افزایش بیش از حد مجاز غلظت آب نمک، کاهش درجه حرارت عملیاتی الکترولایزر و کاهش غیر مجاز PH به وجود می آید.

افزایش انتقال جرم نیز در اثر کاهش راندمان جریان در غشاء رخ داده و با پدیده های قابل مشاهده نظیر منبسط شدن ممبران همراه بوده و در اثر عواملی نظیر افزایش دما، کاهش غلظت و کاهش شدت جریان آب نمک بوجود می آید. صدمات ناشی از تغییر خواص پلیمری غشاء اصولا با کنترل شرایط بهره برداری در مواقع گذر نظیر زمان راه اندازی، نوسانات جریان الکتریکی و زمان توقف به حداقل مقدار ممکن می رسد.

از جمله راهکارهای اصلی در کاهش این گونه صدمات، جلوگیری از نفوذ آب نمک و سود به داخل کاتد و آند در مواقع توقف واحد مخصوصاً در غشاهای های سوراخ دار وبا راندمان جریان پایین می باشد[۵].

۳. صدمات مکانیکی

این گونه صدمات معمولاً به شکل سوراخ های ریز و قابل مشاهده بوده و در اثر سایش و چین خوردگی غشاء در اطراف کاتد به وجود می آیند و باعث کاهش راندمان جریان در ممبران و از بین رفتن سریع الکتروود می .گردند با توجه به تاریخچه کارکرد غشاها و الکترولایزرهای کلرپارس و با عنایت به موارد فوق عمده ترین صدمات وارد بر ممبران ها صدمات مکانیکی و وجود چروک و سوراخ های ریز در غشاء است که موجبات کاهش طول عمر الکتروودها را فراهم می آورد.

پدیده هایی مانند چروکیدگی و تشکیل رسوب بر روی ممبران ویا وجود بریدگی و کشیدگی در غشاها چندان در سیستم موجود صنایع کلرپارس مشاهده نمی شود.

عوارض جانبی نظیر افزایش نمک و کلرات در سود، کاهش راندمان جریان، افزایش مصرف اسید کلریدریک، سیاه شدن ممبرانها و... از اثرات جانبی و نمودهای عینی وجود چین و چروک و سوراخ های ریز بر روی غشاء به شمار می روند.

کارهای تجربی:

در تکنولوژی الکترولیز ممبرانی کلرو سود با خلوص بالا و با مصرف جریان کم تولید میشود.

الکترولایزرهای موجود شرکت کلرپارس ۱۵ ردیف بوده و هر الکترولایزر از ۲۲ سل تشکیل شده است و هر سل نیز شامل دو قسمت آندی و کاتدی می باشد که بوسیله غشاهای مبادله گر یونی از یکدیگر جدا می شوند. ممبران مورد استفاده این واحد ساخت شرکت آساهی گلاس (Assahi Glass) ژاپن و از نوع فلمیون بوده و الکترولایزرهای بکار رفته نیز از نوع DD 88 دنورای ایتالیا میباشد.

ابعاد سلهای مزبور در حدود ۱۲۱۵ در ۷۳۵ سانتی متر بوده و آند این سلها از جنس تیتانیوم و کاتد آنها از جنس نیکل می باشد و شرایط عملیاتی واحد کلراز قبیل دما ، فشار، غلظت، PH ، خلوص مواد اولیه و محصولات و ولتاژ سلها، توسط مهندسین واحد مزبور در هر ساعت یکبار ثبت و در نرم افزار (Electrolyser Monitoring system) EMS به صورت طبقه بندی شده مدون گردیده است. تمامی داده های مورد استفاده در این مقاله از این نرم افزار استخراج گشته و پس از آنالیز داده های دو سال اخیر شرایط عملیاتی یکی از سلهای الکترولایزر A1 به عنوان نمونه ای از شرایط عملیاتی واحد مزبور مورد بررسی قرار گرفته است.

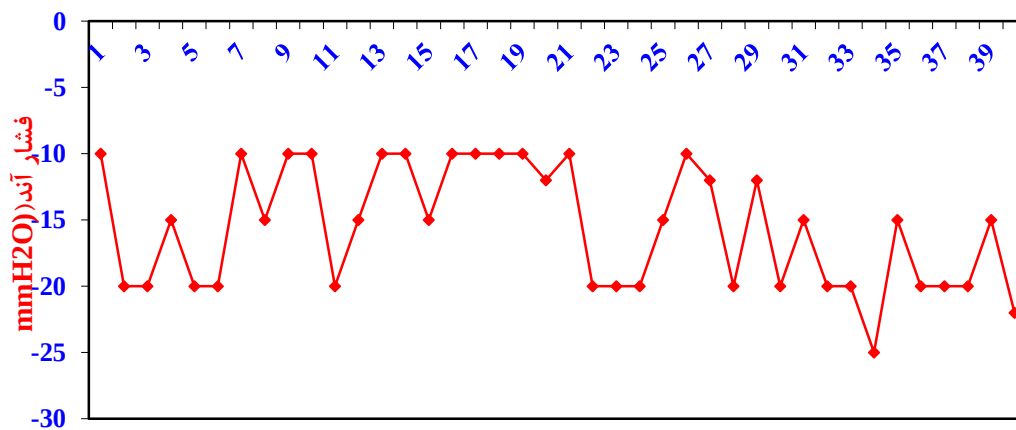
برای غلبه بر مشکلات فوق بررسی هایی به شرح ذیل بر روی شرایط عملیاتی غشاها صورت گرفته است:

بررسی تغییرات فشار طرف کاتد و آند بر حسب زمان

یکی از عمده ترین و مهمترین عوامل موثر در عملکرد الکترولایزر و افزایش طول عمر و کارایی غشاء، شدت جریان سیال در داخل الکترولایزر می باشد. در صورت ضعیف بودن این شدت جریان مسایلی مانند افزایش گرادیان غلظت، کاهش غلظت و... به وجود خواهد آمد.

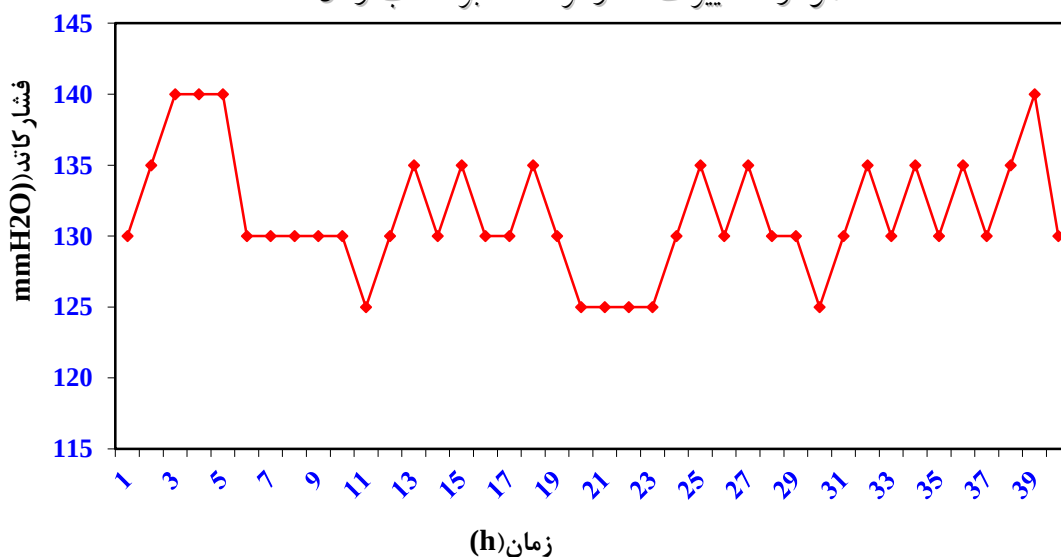
نیروی محرکه اصلی برای جریان یافتن سیالات از داخل سل به جداکننده وجود اختلاف فشار بین جداکننده و داخل الکتروود می باشد. بطوریکه اگر فشار داخل الکتروود و دگازور برابر باشد جریان قطع خواهد شد. شدت جریان با مجذور اختلاف فشار نسبت مستقیم دارد [۳].

در نمودار ۱ و ۲ به ترتیب تغییرات فشار طرف کاتد، آند و اختلاف فشار طرف آند و کاتد الکترولایزر A1 نشان داده شده است.



زمان (h)

نمودار ۱- تغییرات فشار طرف آند بر حسب زمان



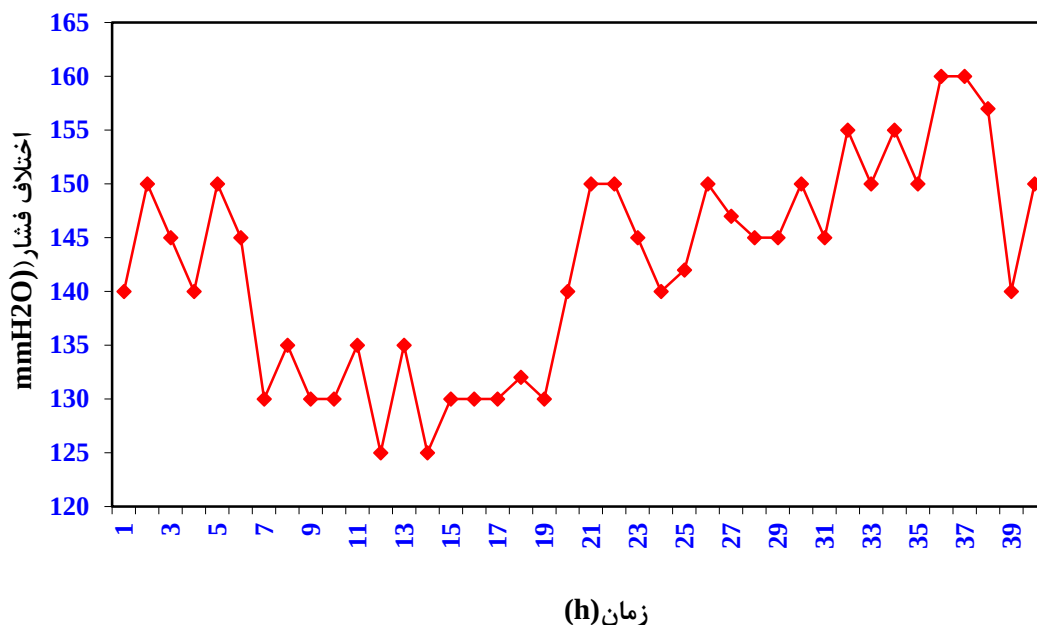
زمان (h)

نمودار ۲- تغییرات فشار کاتد بر حسب زمان

همانطور که از نمودارهای ۱ و ۲ استنباط می گردد فشار طرف آند و کاتد دارای نوسانهای زیادی بر حسب زمان

همانطور که از نمودارهای ۲ و ۱ استنباط می گردد فشار طرف آند و کاتد دارای نوسانهای زیادی بر حسب زمان می باشد. این نوسانات بویژه در فشار طرف کاتد نمود بیشتری دارد. در شکل ۳ نیز اختلاف فشار کاتد و آند منعکس گردیده و این اختلاف فشار مابین ۱۲۵ تا ۱۶۰ میلیمتر آب در نوسان می باشد. اختلاف فشار پیشنهادی ما بین آند و کاتد در الکترولیزهای DD دنورا که در شرکت کلر پارس مورد استفاده قرار می گیرد، در حدود ۲۰۰ میلیمتر آب است.

کاهش شدت جریان در داخل سل موجب افزایش نوسان در داخل سل می گردد. مقدار اختلاف فشار در داخل هدر و انتهای سل تا ۸ برابر داخل دگازور می باشد و فشار داخل کاتد همیشه بالاتر از فشار داخل آند نگهداشته می شود.



نمودار ۳- تغییرات اختلاف فشار کاتد و آند بر حسب زمان

به دلیل بالا بودن دمای جوش کاتولایت، سبکتر بودن هیدروژن و کم بودن شدت جریان کاتولایت نسبت به آنولایت، کاتولایت نسبت به افزایش فشار حساسیت کمتری دارد و لذا با افزایش فشار طرف کاتد جلو نوسانات ممبران گرفته شده و از نفوذ کلر به داخل ممبران و تشکیل پلیستر و نمک در ممبران جلوگیری بعمل می آورد. ضمناً افزایش فشار در طرف کاتد از نوسانات فشار داخل سل نیز می کاهد.

بنابراین بالاتر بودن فشار داخل سل نسبت به دگازور طبیعی و نیروی محرکه حرکت سیال بوده و موجب کاهش نسبی نوسانات گردیده و اضافه فشار هیدروژن نسبت به کلر باعث افزایش طول عمر و کارایی ممبران می شود. در نتیجه برای حفظ اختلاف فشار در حد مطلوب باید از افزایش فشار در داخل دگازور طرف کلر جلوگیری کرد.

باید توجه داشت که وجود پدیده نوسان در داخل سل هایی که جریان دوفازه گاز و مایع در لوله های خروجی سل جریان دارد پدیده طبیعی می باشد. اما اگر اختلاف فشار در طرف کاتد ناکافی باشد ممبران در بین آند و کاتد لرزش پیدا کرده و در نقاط چین خوردگی، باعث سوراخ شدن ممبران می گردد. لذا برای غلبه بر این مشکل باید فشار طرف کاتد از طرف آند بیشتر باشد.

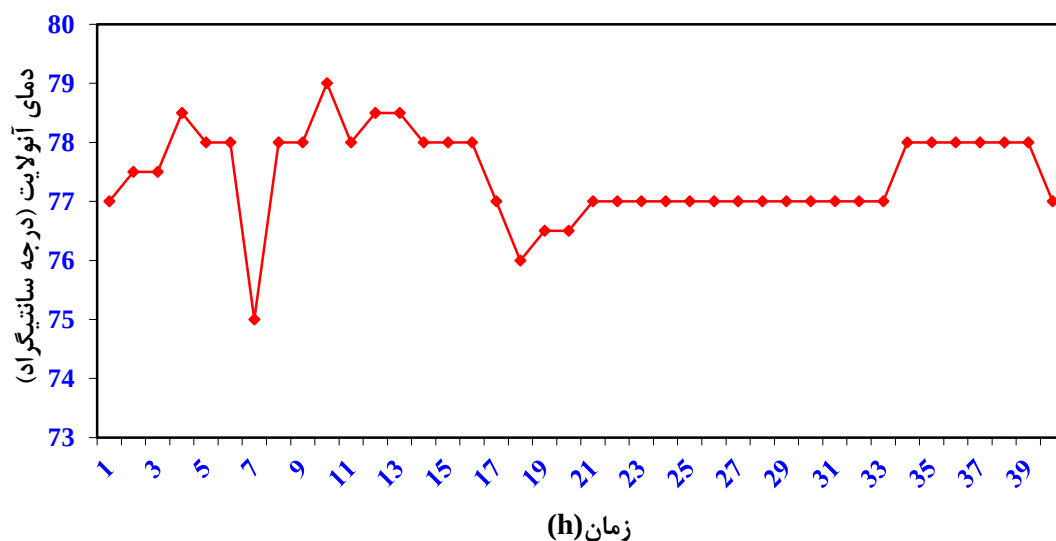
اختلاف فشار طرف کاتد و آند با توجه به وضعیت واقعی داخل سل ها قابل تغییر بوده و در الکترولیزهای مشابه AZEC، اختلاف فشار در حدود ۴۵۰ میلی متر آب پیشنهاد شده است. بنابراین افزایش فشار طرف هیدروژن برای کارکرد مطمئن و عدم ایجاد لرزش در ممبران ها ضروری به نظر می رسد. پیشنهاد می گردد اختلاف فشار بین دگازورهای آند و کاتد از اختلاف فشار موجود افزایش پیدا کرده و حداقل در فشار ۳۰۰ میلی متر آب تنظیم گردد [۵].

🔧 بررسی تغییرات دمای طرف کاتد و آند بر حسب زمان

در نمودارهای شکل ۴ تغییرات دمای آب نمک خروجی بر حسب زمان نشان داده شده است دمای آب نمک رقیق بین ۷۴ تا ۷۹ درجه سانتیگراد در حال تغییر بوده و سیستم نوسان زیادی از خود نشان نمی دهد. ولی با توجه بررسی های صورت گرفته دمای کارکرد الکترولیزرها باید مابین ۸۰ الی ۹۰ درجه سانتیگراد نگه داشته شود زیرا کاهش دما باعث کاهش راندمان جریان و افزایش مقاومت الکتریکی آن می شود. افزایش مقاومت ممبران بسیار خطرناک بوده و باعث تبخیر آب داخل ممبران و صدمه دائمی به آن می گردد لذا کاهش دمای کارکرد توصیه نشده و این دما باید در محدوده مجاز نگه داشته شود. راهکار عملی برای انجام اینکار افزایش دمای آب نمک ورودی به الکترولیزر می باشد [۷].

در نمودار شکل ۵ نیز دمای سود خروجی از الکترولیزر بر حسب زمان منعکس گردیده است. این دما مابین ۷۸ الی ۸۰ درجه سانتیگراد در نوسان می باشد. با افزایش دمای آب نمک ورودی این دما نیز می تواند به محدوده اپتیمم برسد.

در نمودار شکل ۶ تغییرات غلظت آب نمک خروجی از الکترولیزر بر حسب زمان منعکس گردیده است. همانطور که از نمودار مزبور نیز استنباط می گردد سیستم دارای نوسان زیادی می باشد. معمولا برای کاهش پدیده تورم در ممبران غلظت آب نمک خروجی از الکترولیزر را از طریق افزایش فلوی آب نمک ورودی به الکترولیزر افزایش می دهند. بنابراین توصیه می شود فلوی آب نمک ورودی به الکترولیزر باید در حداکثر مقدار مجاز نگهداشته شود.

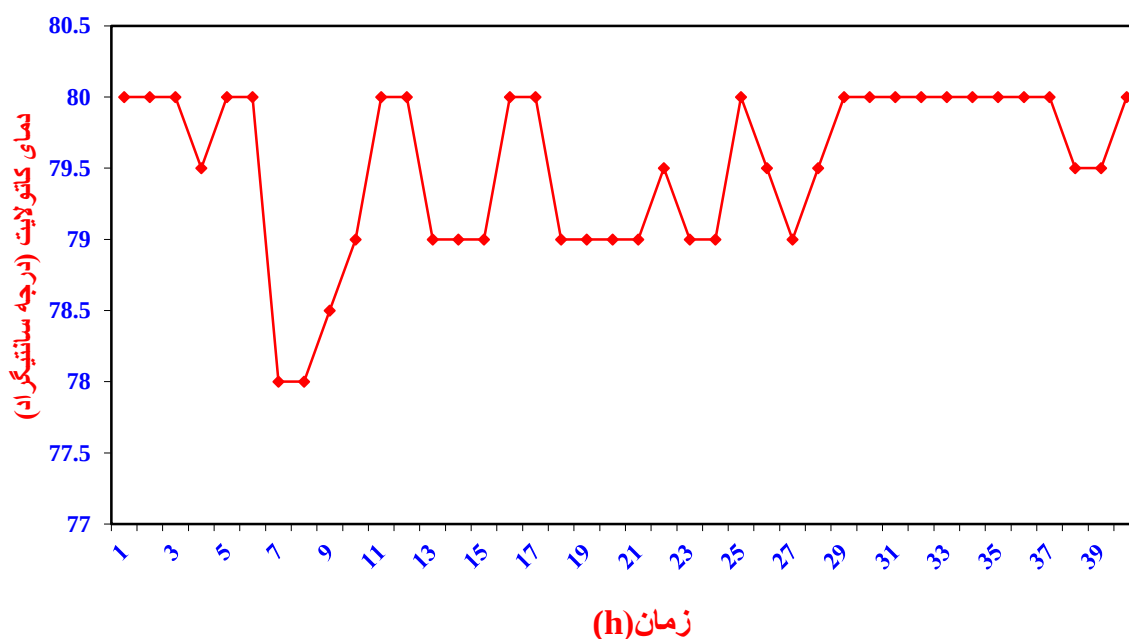


نمودار ۴- تغییرات دمای آب نمک خروجی بر حسب زمان

پیشنهاد برای بهبود شرایط عملیاتی

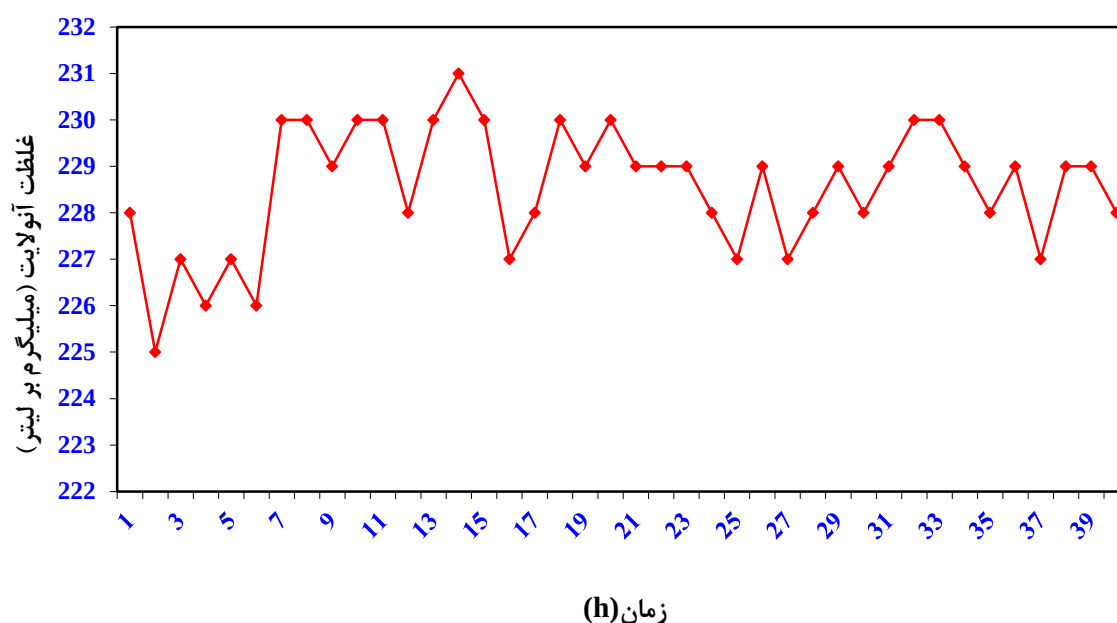
با توجه به نمودارهای ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ سیستم دارای نوسان و upset های زیادی بوده و برای غلبه بر مشکلات موجود راهکارهای عملی زیر پیشنهاد می گردد [۸]:

- ۱- استفاده از ممبران های با استحکام مکانیکی بیشتر که در در برابر شرایط بد عملیاتی و وجود نوسانات و آشفته گی های زیاد دچار پدیده های تورم و چروکیدگی نگردیده و در مقابل سائیدگی و تنش های مکانیکی مقاومت نشان می دهند. ممبران های نفیون سری ۹۰۰ و غشاهای آساهی گلاس سری ۸۵۵ و ۸۶۵ برای این شرایط عملیاتی مناسب هستند [۲].



نمودار ۵- تغییرات دمای سود خروجی بر حسب زمان

- ۲- پرهیز از هرگونه عملکردی که موجب انبساط بیش از حد و در نتیجه نازکتر شدن غشاها می‌گردد. نازکتر شدن ممبران‌ها باعث کاهش استحکام مکانیکی ممبران‌ها می‌گردد.
- ۳- یکی از مزایای الکترولایزرهای زیروگپ استفاده از الکترودها در دوطرف ممبران بعنوان ساپورت و حائل جهت جلوگیری از لرزش ممبران در داخل الکترولایزر می‌باشد. با مراجعه به مقالات با کاستن ضخامت گسکت و افزایش خاصیت فنری در الکترودها طرف کاتد از طریق افزایش حجم ماترس طرف کاتد می‌توان از لرزش ممبران در داخل سل کاست [۳].
- ۴- با افزایش فلوی آب نمک ورودی به الکترولایزر از ایجاد گرادیان دما و غلظت در داخل سل‌ها می‌توان جلوگیری بعمل آورد [۲].
- ۵- افزایش طول عمر ممبران مهمتر از افزایش راندمان آن است و رعایت مواردی که موجب افزایش طول عمر آن می‌گردد به مواردی که راندمان آنرا افزایش می‌دهد رجحان دارد.
- ۶- الکترولایزرهای DD دنورا که در شرکت کلرپارس مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای نوسانات و آشفتگی‌های داخلی بالایی بوده و نیاز به دقت بالاتری در بهره‌برداری و نگهداری دارد. بنابراین تجهیزات بکاررفته در این الکترولایزرها باید تحمل این نوسانات و آشفتگی‌ها را داشته باشند.



نمودار ۶- تغییرات غلظت آب نمک خروجی بر حسب زمان

1. Takahoshi , Y. , Obanawa, H., Noaki, Y., "New Electrolyser Design for High Current Density", Modern Chlor- Alkali Technology, PP.213-224,(2000)
2. Davis,Tomas A. , Genders , J. D ., ' First Course in Ion permeable Membranes",UK,(1997)
3. Keating,T.J., "Understanding Membrane Operating Conditions,"Modern Chlor-Alkali Technology, Vol.5, PP.69-80, (1992)
4. Tominaga, Y. K., Takagi, K., "Design, Installation and Ion Exchange Membrane Chlor- Alkali Process ", Modern Chlor-Alki Technology, Vol. 4, PP. 251*270, (1990)
5. Behling, K. J., Peet, D. L., "Influence of Systems Design and Operation Parameters on Membrane Performance" , Modern Chlor- Alkali Technology, Vol.4, PP.63-70,(1990)
6. Keating,J. T., Behling ,K.Jochen.,'Brine , Impurities, and Membrane Chlor-Alkali Cell Performance', , Modern Chlor- Alkali Technology, PP.125-129,(1990)
7. Advanced Membrane Technology , "Norman. N." , Vol. 984,2003
7. Advanced Membrane Technology , "Norman. N." , Vol. 984,2003
8. تقوی ، فیروزه. پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی شیمی - دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران) ،