

## مقدمه

انرژی گرادیان شوری ( $SGP^1$ ) را می توان از اختلاط جریان های آبی با شوری متفاوت به دست آورد. به صورت تئوری، از اختلاط  $1 \text{ m}^3$  جریان آب شیرین با آب دریا تقریباً  $0.8 \text{ kWh}$  انرژی می تواند به دست آید که با این احتساب می توان معادل  $2 \text{ TW}$  (تراوات) انرژی از اختلاط جریان آب شیرین رودهای اصلی در جهان با آب دریاها بدست آورد.

در سال ۱۹۵۴، برای نخستین بار پتل مفهوم انرژی گرادیان شوری را مطرح کرد. او با استفاده از ۴۷ جفت از غشاهای اسیدی و بازی با سطح مقطع  $8 \text{ m}^2$  و اختلاط آب شیرین و آب شور (دریا) با دمای  $39^\circ\text{C}$ ، توانست  $0.2 \text{ W/m}^2$  توان خروجی و  $3/1 \text{ V}$  انرژی الکتریکی بدست آورد.

فرایند الکترودیالیز معکوس ( $RED^2$ ) تکنولوژی اصلی برای حصول انرژی گرادیان شوری است. قلب فرایند الکترودیالیز نیز محفظه الکترودیالیز معکوس است که از تعداد معینی سلول تشکیل می شود که به صورت متناوب درون محفظه قرار گرفته اند. هر سلول در الکترودیالیز معکوس، به ترتیب، دارای یک غشای تبادل کاتیون، یک فاصله انداز، جریان خوراک شور، غشای تبادل آنیون، فاصله انداز و جریان خوراک لب شور است و تعداد سلول های یک محفظه در شرایط آزمایشگاهی از ۱ تا ۳۰ سلول متغیر است.

در فرایند الکترودیالیز معکوس یون های مثبت (کاتیون) موجود در جریان شور با نفوذ از غشای تبادل کاتیون به جریان لب شور وارد می شوند و در یک طرف محفظه پتانسیل مثبت ایجاد می کنند. از طرف دیگر یون های منفی (آنیون) موجود در جریان شور با عبور از غشای تبادل آنیون وارد جریان لب شور شده و در طرف دیگر محفظه پتانسیل منفی ایجاد می کنند. جریان یونی سلول ها طی واکنش های اکسیداسیون-احیا ( $redox^3$ ) در مجاورت الکترودها به جریان الکترونی خارجی تبدیل می شوند که در صورتیکه یک مدار خارجی به الکترودهای انتهایی محفظه متصل شود، انرژی الکتریکی حاصل می تواند از مدار خارج شود.

## اجزا و شرح عملکرد سامانه الکترودیالیز معکوس

سامانه الکترودیالیز معکوس مطابق شکل از اجزای زیر تشکیل شده است:

<sup>1</sup> Salinity Gradient Power

<sup>2</sup> Reverse Electrodialysis

<sup>3</sup> Reduction-oxidation reaction

- محفظه<sup>۴</sup> الکترودیالیز معکوس (شامل غشاهای تبادل یونی، فاصله دهنده ها، و الکترودها)
- مخازن آب لبشور و آب شور و مخزن حاوی محلول الکترولیت
- پمپ های دیافراگمی
- فلومترها
- فشارسنج ها
- شیرهای سوزنی



### شکل ۱: تصویر نمادین سامانه الکترودیالیز معکوس

در این سامانه (مطابق شکل ۱) جریان های شور، لبشور و مایع الکترولیت توسط پمپ به محفظه الکترودیالیز معکوس (قلب فرایند) وارد می شوند. درون محفظه، غشاهای تبادل یونی از دو نوع تبادل کاتیونی و تبادل آنیونی به صورت متناوب قرار گرفته اند. مابین این غشاهای فاصله دهنده های نهرگونه قرار گرفته اند که برش های روی این فاصله دهنده ها تعیین کننده نوع جریان (شور/لبشور) بین غشاهاست و در نتیجه کانال های جریان شور و لبشور به صورت متناوب بین غشاهای ایجاد می گردد. فاصله دهنده های مورد استفاده به گونه ای طراحی شده اند تا کمترین میزان نشت داخلی را داشته و مانع ایجاد میانبر هیدرولیک و الکتریکی در سطح غشا شوند. این فاصله دهنده ها قابلیت استفاده بدون توری میانی را داشته و بیشترین سطح موثر را در بین فاصله دهنده های متعارف دارا می باشند. جهت جریان آب های شور و لبشور در این محفظه همسو می باشد. در دو انتهای محفظه الکترودهای آند و کاتد قرار گرفته اند. مایع الکترودی تنها روی سطح دو الکترود (استیل ضد زنگ) و دو غشای انتهایی جریان می یابد، به گونه ای که آهن موجود در این مایع در سطح یک الکترود اکسید و در سطح دیگر احیا گردد. در مراحل آماده سازی الکترودها و به جهت افزایش سطح تماس محلول الکترولیت با الکترودها، سطح الکترودها در ولتاژهای بالا اندکی متخلخل شده و فضای بیشتری برای انجام اکسایش و کاهش روی سطح الکترود فراهم شده است. به منظور ایجاد گردش مایع الکترودی، توسط یک شیلنگ دو انتهای محفظه به هم اتصال می یابد تا گردش مایع الکترودی روی الکترودها و غشاهای انتهایی حفظ گردد. این جریان گردشی، می تواند موجب اتصال کوتاه در مدار شود. اگر مقاومت الکتریکی جریان گردشی کمتر از مقاومت داخلی محفظه باشد می توان از این اثر چشم پوشی کرد. به منظور جلوگیری از اتصال کوتاه در سامانه، طول این شیلنگ

بیشتر از ۳۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

تمامی اجزایی که ذکر شد (اعم از غشاها، فاصله دهنده‌ها و الکترودها) بین دو صفحه تحت عنوان بدنه محفظه الکترودیالیز معکوس قرار گرفته است. در این تحقیق بدنه این محفظه از جنس پلکسی گلاس ساخته شد که دارای ویژگی‌هایی نظیر استحکام، قابلیت تراشکاری، شفافیت جهت مشاهدات آزمایشگاهی بوده و در برابر خوردگی مقاوم است.

به دلیل کار در محیط الکتروشیمیایی و وجود پتانسیل بالای خوردگی کلیه اتصالات و شیر آلات سامانه و محفظه از انواع مقاوم به خوردگی استفاده شده است.

محلول الکترولیت مناسب برای این دستگاه از نوع محلول  $FeCl_2/FeCl_3$  می‌باشد. برای تهیه این محلول ۰/۰۵ مول آهن II کلریدتتراهیدرات و ۰/۰۵ مول آهن III کلریددهگزاهایدرات و ۰/۰۵ مول کلرید سدیم در الیتر آب مقطر حل می‌شود. در سطح الکترودهای کاتد و آند واکنش‌های اکسیداسیون-احیا به صورت زیر انجام می‌شود:



لازم به ذکر است که به منظور جلوگیری از نفوذ کاتیون‌های آهن موجود در محلول الکترودی، غشاها را انتهای باید از نوع غشای تبادل آنیونی باشند، زیرا این نوع غشا در سطح خود دارای بار مثبت بوده و به سبب دافعه الکترواستاتیک به کاتیون‌های آهن اجازه عبور و نفوذ در بخش خوراک را نمی‌دهند. لازم به ذکر است، با گذشت زمان در سامانه الکترودی امکان تشکیل اکسیدجامد وجود دارد، لذا توصیه شده است برای جلوگیری از تولید اکسید فلزی، مقدار pH محلول الکترودی با استفاده از اسید هیدروکلریک در مقادیر پایین (حدود ۳) تنظیم شود.

در این دستگاه می‌توان تعداد سلول‌های موجود در محفظه الکترودیالیز معکوس را از ۱ تا ۳۰ سلول تغییر و اثر تعداد سلول‌ها بر عملکرد سامانه را بررسی کرد.

همچنین دبی حجمی جریانهای خوراک و محلول الکترودی یک عامل مهم موثر بر عملکرد سامانه الکترودیالیز معکوس اعم از مقاومت داخلی، ولتاژ مدار باز و چگالی‌توان تولیدی است. این سامانه به قسمی طراحی شده است که می‌توان با تغییر دبی جریان برگشتی مقدار دبی خوراک‌ها و محلول الکترولیت ورودی به محفظه را تغییر و ضمن اندازه‌گیری آنها با فلومترهای دقیق تعبیه شده روی دستگاه؛ تاثیر دبی جریان‌ها بر

عملکرد سامانه را بررسی کرد.

مشخصات کامل دستگاه الکترودیالیز معکوس در جدول زیر ارائه شده است:

|  |   |
|--|---|
| <br><b>TARAVA FARAYAND AFRAZ</b><br>تراوا فرایند افراز |   |
| <b>دستگاه الکترودیالیز معکوس (Reverse Electrodialysis)</b>   |   |
| تراوا فرایند افراز   | شرکت سازنده                                       |
| ۱۴۰۱   | سال ساخت  |
| 3L   | حجم مخزن خوراک شور                                |
| 3L   | حجم مخزن خوراک لب شور                             |
| 2.5L   | حجم مخزن محلول الکترولیت                          |
| 0-80 psia  | محدوده فشار عملیاتی                               |
| 30-120/100-500 ml/min  | نرخ خوراک دهی محلول های شور و لب شور              |
| 120 cm <sup>2</sup>  | سطح موثر غشا تبادل یونی                           |
| مسطح   | نوع غشای مورد استفاده                             |
| 1-11   | تعداد سلول های غشایی در محفظه الکترو دیالیز معکوس |
| 2V   | حداکثر ولتاژ تولیدی                               |
| استیل زنگ نزن 316  | جنس الکترودها                                     |
| پلکسی گلس  | جنس محفظه الکترودیالیز معکوس                      |