

تأثیر غشانانوساختار بر عملکرد مدل های فیزیکی استحصال انرژی از گرادیان شوری در رودخانه اروند

سمیه خدادادیان الیکایی^۱

کامران لاری^۲

مسعود ترابی آزاد^{۳*}

torabi_us@yahoo.com

عبدالرضا ثابت عهد جهرمی^۴

افشین محسنی آراسته^۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۷

چکیده

زمینه و هدف: اهمیت و ضرورت کشف منابع انرژی تجدید پذیر و سرمایه گذاری بر روی روشهای استحصال انرژی الکتریکی یکی از بزرگترین اهداف کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه است. توان گرادیان شوری همان استفاده از پتانسیل موجود در اختلاف غلظت میان دو محلول نظیر آب شور دریا و آب شیرین رودخانه یکی از راههای استحصال انرژی الکتریکی است. انرژی الکتریکی حاصل شده از فرایند توان گرادیان شوری میتواند جایگزین خوبی جهت تولید انرژی الکتریکی باشد، که از اهداف این تحقیق است و با موضوع تأثیر غشانانوساختار بر عملکرد مدل های فیزیکی استحصال انرژی از گرادیان شوری در رودخانه اروند مورد بررسی قرار گرفته است. روش بررسی: ابتدا با بررسی منطقه مورد مطالعه و محاسبه انرژی گیس، مقدار آن منفی شد. پس نشان میدهد که فرایند استحصال انرژی از گرادیان شوری خود به خودی است. یک مدل فیزیکی مبتنی بر روش فشار اسمز تاخیری (PRO)، طراحی و ارزیابی شد. مدل فیزیکی طراحی شده با غشاء TFC نانو ساختار است که در آن با استفاده از آب رودخانه و آب دریا در شرایط آزمایشگاهی با غلظت های متفاوت، اختلاف ارتفاع ایجاد کرد. پس از طراحی PRO و دریافت خروجی از مدل فیزیکی، نتایج با مدل فرایند فشار اسمز معکوس (RED) مقایسه شد. این تحقیق در سال ۲۰۲۰ با استفاده از داده های مورد نیاز از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ انجام شده است.

۱- دانشجوی دکترای فیزیک دریا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۲- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.

۳- استاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۴- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جهرم، جهرم، ایران.

یافته ها: با محاسبه انرژی گیبس در هر دو فرایند فشار اسمز معکوس (RED) و فشار اسمز تاخیری (PRO) مقدار آن منفی شد. مدل فیزیکی طراحی شده مبتنی بر روش PRO با غشاء TFC نانو ساختار طراحی شد که در آن با استفاده از آب رودخانه ppm ۱۰ و آب دریا ppm ۵۰ در شرایط آزمایشگاهی، بیشترین میزان جریان را ایجاد کرد. مقدار اختلاف پتانسیل ایجاد شده میان دو سر هر سلول در سیستم الکترودیالیز معکوس، با توجه به نسبت غلظت آب دریا به آب رودخانه برای هر ایستگاه هیدرومتری محاسبه شد و بیشترین مقدار مربوط به ایستگاه خرمشهر مقدار ۸۰ mV است. این مقدار به واسطه ی استفاده از تکنیک نانو بر روی غشاء مورد استفاده در این سیستم و طراحی مناسب سلول بدست آمد که راندمان دستگاه را در مقایسه با غشاهای غیر نانو ۱۱ درصد افزایش داد.

بحث و نتیجه گیری: با بررسی و مقایسه این دو روش به این نتیجه میرسیم که با به دست آوردن انرژی گیبس در هر دو فرایند به صورت خود به خودی انجام میپذیرد. هر دو روش ایستگاه خرمشهر بهترین بازدهی را دارد. مزیت RED نسبت به PRO این است انرژی الکتریکی تولید شده در گرادیان شوری پایین تری اتفاق میفتد در صورتی که در فرایند PRO اختلاف گرادیان شوری بالاتری مورد نیاز است. با محاسبه پتانسیل تولید انرژی ایستگاه خرمشهر بالاترین بازدهی را دارد. استفاده از غشا نانو ساختار نیز در هر دو روش تاثیر مستقیمی در عملکرد دستگاه داشته است.

واژه های کلیدی: الکترودیالیز معکوس، فشار اسمز تاخیری، ارنود رود، گرادیان شوری.

The effect of membrane structure on the performance of physical models of energy extraction from salinity gradient in Arvand River

Somayeh Khodadadian Elikaiy¹

Kamran Lari²

Masoud Torabi Azad^{3*}

torabi_us@yahoo.com

Abdolreza Sabet Ahd Jahromi⁴

Afshin Mohseni Arasteh²

Admission Date: May 23, 2022

Date Received: April 27, 2022

Abstract

Background & Objective: The importance and necessity of discovering renewable energy sources and investing in electrical energy extraction methods is one of the biggest goals of developed and developing countries. Salinity gradient power is the use of the potential in the concentration difference between two solutions, such as sea salt water and fresh river water, is one of the ways to obtain electrical energy. The electrical energy obtained from the process of salinity gradient power can be a good alternative to produce electrical energy, which is The objectives of this research are the effect of nanostructured membranes on the performance of physical models of energy extraction from the salinity gradient in Arvand River.

Material and Methodology: First, by examining the study area, Gibbs energy was calculated and its value was found to be negative. Therefore, the process of extracting energy from the salinity gradient is spontaneous. A physical model based on delayed osmosis pressure (PRO) method was designed and evaluated. The physical model designed with the TFC membrane is a nanostructure in which a difference in height was created by using river water and sea water in laboratory conditions with different concentrations. After designing the PRO and receiving the output from the physical model, the results with the pressure process model Reverse osmosis (RED) was compared. This research was conducted in 2020 using the required data from 2010 to 2018.

Findings: By calculating the Gibbs energy in both reverse osmosis (RED) and delayed osmosis (PRO) processes, its value was negative. The designed physical model based on the PRO method was designed with a nanostructured TFC membrane, in which using water 10 ppm river and 50 ppm sea water created the highest amount of flow in laboratory conditions. The amount of potential difference created between the two ends of each cell in the reverse electro dialysis system was calculated according to the concentration ratio of sea water to river water for each hydrometric station and the highest The value

1- PhD student in Physical oceanography, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

2- Associate Professor of Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran.

3- Professor of Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran. **(Corresponding Authors)*

4- Assistant Professor of Islamic Azad University, Jahrom Branch, Jahrom, Iran.

for Khorramshahr station is 80 mV. This amount was obtained by using nano technique on the membrane used in this system and the proper design of the cell, which increased the efficiency of the device by 11 percent compared to non-nano membranes.

Discussion and conclusion: By examining and comparing these two methods, we come to the conclusion that by obtaining the Gibbs energy in both processes, it is done spontaneously. Both methods of Khorramshahr station have the best efficiency. The advantage of RED compared to PRO is that the electrical energy produced occurs in a lower salinity gradient, while a higher salinity gradient difference is required in the PRO process. By calculating the energy production potential, Khorramshahr station has the highest efficiency. The use of nano-structured membrane has also had a direct effect on the performance of the device in both methods.

Keywords: Reverse electro dialysis, Delayed osmosis pressure, Arvand River, Salinity gradient

مقدمه

انرژی با روش های RED و PRO را با یکدیگر مقایسه کنند (۴). انجای و همکاران در سال ۲۰۱۶ تحت مقاله‌ای با عنوان "گرادیان (شیب) شوری یک انرژی پایدار" به بررسی و بازبینی خلاصه‌ای از پیشرفت‌های فعلی در تولید انرژی گرادیان شوری پرداخته‌اند و روش‌های اسمز معکوس، الکترودیالیز معکوس و مخلوط خازنی (cap mix) را مورد ارزیابی قرار دادند (۵).

می و همکاران نیز در سال ۲۰۱۸ به بررسی تحولات اخیر در استحصال انرژی از روش الکترودیالیز معکوس پرداختند و استفاده از نانو غشا جهت افزایش انرژی و جریان موثر دانستند. در فرایند PRO انتخاب نوع غشا و بررسی عملکرد آن بسیار اهمیت دارد (۶). در تحقیقی که در سال ۲۰۱۸ توسط لی فن و همکاران انجام شد به بررسی تاثیر غشا TFC بر روی دستگاه فشار اسمز تاخیری پرداخته است و بر روی غشا به اصلاح آن پرداخته اند (۷). خدادادیان و همکاران در سال ۲۰۲۰ به بررسی پتانسل بالقوه در ارون رود با استفاده از روش PRO پرداختند و میزان انرژی گیبس و انرژی پتانسیل رودخانه ارون رود را محاسبه کردند (۸). در سواحل ایران و در خلیج فارس موقعیت مناسبی برای دسترسی به این منبع انرژی وجود دارد. لذا هدف از انجام این تحقیق، مطالعه‌ی گرادیان شوری رودخانه ارون رود منتهی به خلیج فارس میباشد که با ارائه‌ی مدلی آزمایشگاهی برای استحصال انرژی از گرادیان شوری بررسی و مقایسه گردید.

انرژی، آب و محیط زیست فصل مشترک عمده نیازهای بشر امروز به شمار می روند. محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی، تنوع بخشی به منابع انرژی، توسعه‌ی پایدار و ایجاد امنیت انرژی و مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی فسیلی از یک طرف و پاک و تجدید پذیر بودن منابع انرژی‌های نو از طرف دیگر باعث توجه جدی جهانیان به توسعه و گسترش استفاده از انرژی-های تجدید پذیر و افزایش سهم آن در سبد انرژی جهان شده است. در این راستا اختلاف غلظت شوری منابع آب به منزله منبع انرژی پاک مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. توان گرادیان شوری (SGP) یکی از انواع انرژی‌های تجدید پذیر است که قابل استحصال از دریا است. این انرژی تجدید پذیر بیشتر در مصب رودخانه‌های آب شیرین وجود دارد. برای اولین بار مفهوم این انرژی توسط پاتل در سال ۱۹۵۴ ارائه و مطرح شد (۱). هلفور و همکاران در سال ۲۰۱۳ در مقاله‌ای تحت عنوان انرژی گرادیان شوری یک انرژی تجدید پذیر در استرالیا به اهمیت استفاده از این انرژی به لحاظ اثرات نامطلوب سوخت فسیلی روی محیط زیست پرداخته است. و به روش فشار اسمز معکوس پرداخته است (۲). در سال ۲۰۱۵ ثابت عهد جهرمی و همکاران در تحقیق یک مدل فیزیکی مبتنی بر روش الکترودیالیز معکوس چگالی توان و راندمان انرژی تولیدی را ارزیابی کردند (۳). در سال ۲۰۱۶ عمادی و همکاران توانستند با بررسی میزان انرژی پتانسیل برای تولید انرژی از ورود آب رودخانه زرينه رود به دریاچه ارومیه، استحصال

مواد و روش ها

توان گرادیان شوری (SGP)

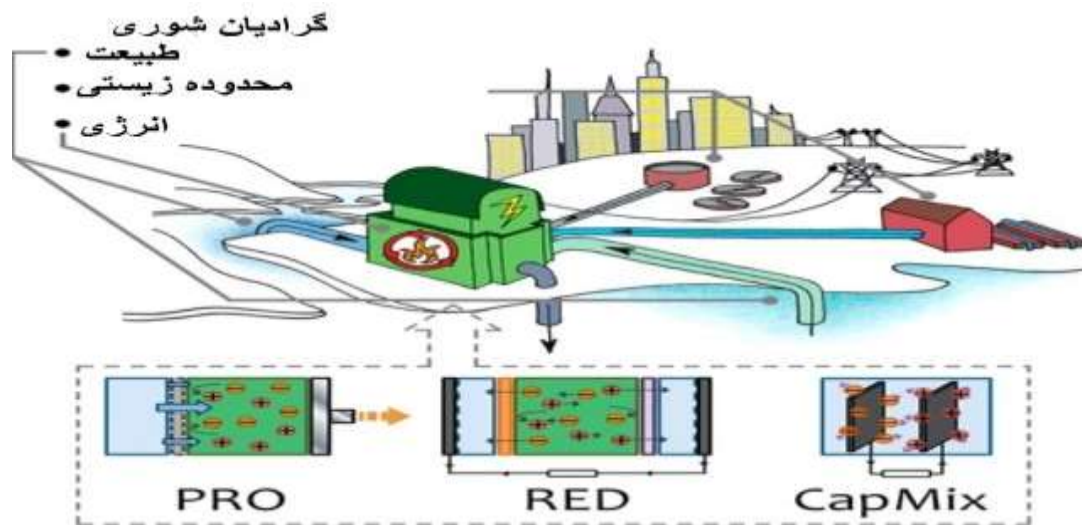
انرژی آزاد گیبس یا انرژی گیبس به کمیت ترمودینامیکی گفته می شود که میزان خود به خود انجام گرفتن یک واکنش شیمیایی را نشان می دهد. در واقع، از آن می توان برای محاسبه حداکثر کار برگشت پذیری که ممکن است به وسیله یک سیستم ترمودینامیکی در دما و فشار ثابت انجام شود، بهره برد. به بیان

دیگر، تابع گیبس کمیتی است که آنتالپی، آنتروپی و دما را به یکدیگر ربط می دهد. این کمیت را با نماد G نمایش می دهند.

این تابع را انرژی آزاد گیبس (G) می نامند. (۹)

$$G = H - TS \quad (1)$$

زمانی انجام یک فرایند از لحاظ ترمودینامیکی هنگامی امکان پذیر است که تغییرات انرژی آزاد گیبس منفی باشد.



شکل ۱- فرآیند چگونگی توان گرادیان شوری جهت استحصال انرژی الکتریکی را نشان میدهد (۱۰)

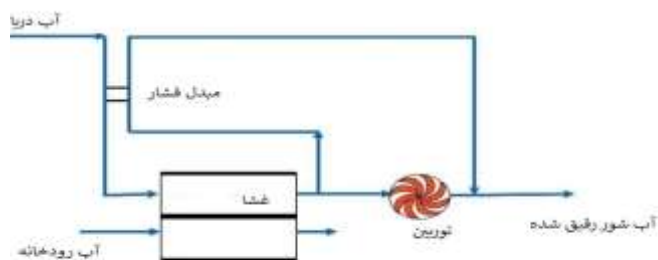
Figure 1. shows the process of how the salinity gradient is capable of extracting electrical energy (10)

کردن محلول یا حلال با غلظت کمتر (مثلاً آب شیرین) از محلول غلیظ تر و تحت فشارتر (مثلاً آب دریا) استفاده می کند و به حلال اجازه می دهد تا به سمت محلول غلیظ منتقل شود. حجم اضافی فشار را در این سمت افزایش می دهد، که می تواند توسط یک هیدروتوربین برای تولید نیرو کاهش یابد. بنابراین اصطلاح "قدرت اسمزی" نامیده می شود (۱۱). شکل ۲ نمایی از این فرایند را تشریح میکند.

از تکنیک های استحصال انرژی میتوان به روش فشار اسمز تاخیری و الکترودیالیز معکوس اشاره کرد که به آن میپردازیم.

تئوری فرایند فشار اسمز تاخیری (PRO)

این انرژی تجدیدپذیر می تواند به طور بالقوه زمانی که آب هایی با شوری های مختلف با هم مخلوط می شوند تولید شود. این انرژی برای تبدیل به توان را می توان با استفاده از فشار اسمز تاخیری انجام داد. این روش از یک غشای نیمه تراوا برای جدا



شکل ۲- فرایند فشار اسمز تاخیری را نشان میدهد. (۱۲)

Figure 2. shows process of the pressure retarded osmosis (12)

یون‌های مثبت نفوذپذیر که یون‌های منفی (غشاء تبادل آنیون، AEM) هستند. با تفکیک یونها جریان یونی ایجاد می‌شود. این جریان یونی با واکنش‌های مناسب به جریان الکترونی در الکترودها تبدیل می‌شود. با استفاده از توان پتانسیل با این تکنیک تولید برق انجام می‌پذیرد. (۴) شکل ۳ نمایی از این فرایند را تشریح میکند. محاسبه ی تئوریک انرژی گیس حاصل از آنژیومی اختلاط دو محلول با غلظتهای مختلف از رابطه زیر محاسبه می‌شود. (۱۴)

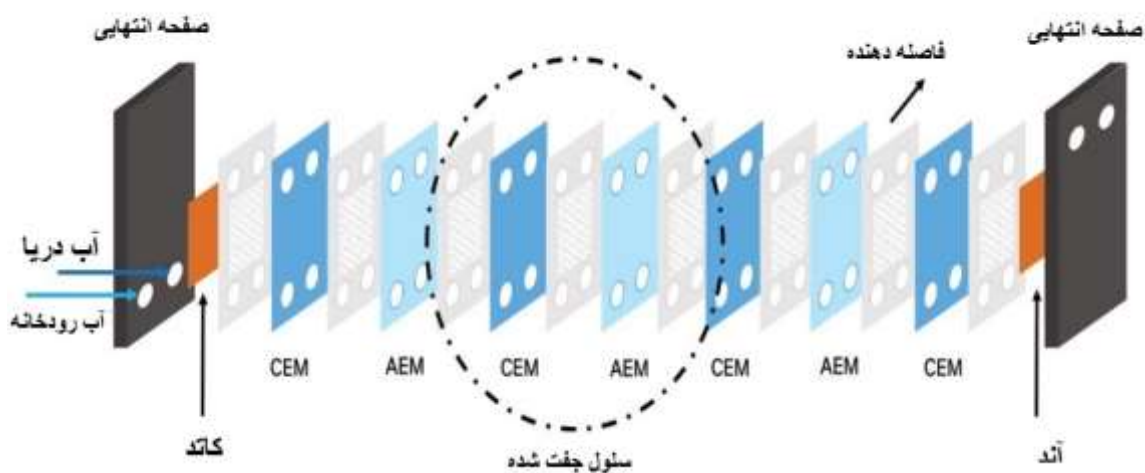
$$\Delta G = -2RT \left[C_S V_S \ln \frac{C_S}{C_M} + C_R V_R \ln \frac{C_R}{C_M} \right] \quad (3)$$

انرژی گیس حاصل از اختلاط دو محلول با غلظت مختلف در فرایند فشار اسمز تاخیری با معادله ۱ محاسبه میگردد (۱۳).

$$\begin{aligned} \Delta G_{mix} &= G_B - (G_S - G_r) \quad (2) \\ &= -C_{i,B} V_B \ln(x_{i,B}) \\ &= RT \sum_i [C_{i,S} V_S \ln(x_{i,S}) + C_{i,r} V_r \ln(x_{i,r})] \\ \Delta G_{mix} &= \sum_i (G_{i,S} + G_{i,r} - G_{i,B}) \end{aligned}$$

تئوری فرایند الکترودیالیز معکوس (RED)

در این فرایند از دو نوع غشا استفاده می‌شود: یکی برای یون‌های مثبت (غشاء تبادل کاتیونی، CEM) و دیگری فقط برای



شکل ۳ - فرایند الکترودیالیز معکوس را نشان میدهد. (۱۵)

Figure 3. shows the reverse electrodialysis process (15)

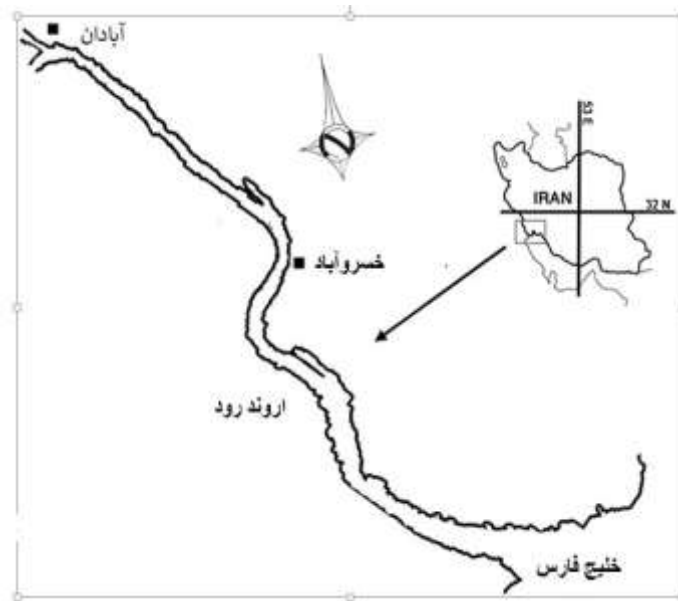
سراسری آن حدود ۱۹۰ کیلومتر است. اروند رود اصلی ترین منبع آب شیرین برای خلیج فارس است و نقش زیست محیطی مهمی در مناطق ساحلی شمال غرب خلیج فارس دارد. جهت بررسی میزان انرژی دست یافتنی، این تحقیق در سال ۲۰۲۰ با استفاده از میانگین ۸ ساله داده های ۳ ایستگاه هیدرومتری خسروآباد، دیریفارم و خرمشهر واقع در روخانه اروند در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ انجام شد.

جهت محاسبه ی ولتاژ دو سر هر تک سلول الکترودیالیز معکوس از معادله ی نرنست استفاده شد. این اختلاف پتانسیل ایجاد شده میان دو سر هر سلول در باطری الکترودیالیز معکوس از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$E = E^0 - \left(\frac{RT}{zF} \right) \ln \frac{C_S}{C_R} \quad (4)$$

منطقه مورد مطالعه

رودخانه اروند، رودخانه ای دائمی است که در حوضه ابریز خلیج فارس واقع است. طول بخش مرکزی آن ۸۴ کیلومتر و طول



شکل ۴-نمایی از رودخانه اروند (۱۶)

Figure 4. View of the Arvand River (16)

غشانانو ساختار

کردن غشا ارائه شد که یک جایگزین برای نرم شدن مواد شیمیایی توسعه یافته است، به همین ترتیب نانوفیلتراسیون را می توان به عنوان یک پیش درمان قبل از ضایعات اسمزی به کار گرفت. به حداقل رساندن ذرات و رسوب میکروبی از غشا با برداشتن کدورت ها و باکتری ها، جلوگیری از پوسته پسته شدن با برداشتن یونهای سخت از مزایای استفاده از غشا نانوساختار است (۱۷).

غشا سدی است که در هنگام قرار گرفتن در مسیر یک سیال به علت ویژگی ساختار خود می تواند اجزا معینی از سیال را به طور انتخابی جدا کرده و به اجزا دیگر اجازه عبور دهد. ویژگی کلی غشاها در واقع وابسته به اندازه حفره های آنها است و با در نظر گرفتن این ویژگی طبقه بندی می شوند. نانوفیلتراسیون به عنوان شل کننده شناخته شده و می تواند ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۱ میکرومتر را عبور دهد و برای حذف ترکیبات محلول از فاضلاب استفاده می شود. در درجه اول به عنوان یک فرایند نرم



شکل ۵ - میزان تاثیر نانو غشا را بر روی ذرات محلول غیر محلول در آب را نشان میدهد.

Figure 5. shows the effect of nanomembranes on soluble-insoluble particles in water

خصوصیات غشاء مورد استفاده در تحقیق در جدول ۱ قرار داده شده است. همچنین در جدول ۲ نیز روند و میزان محدودیت غشا را نشان داده است.

جدول ۱- ویژگی های عملکرد غشا را نشان میدهد.

Table 1. shows the performance characteristics of the membrane

MODEL NUMBER	WATER FLUX	% MgSO ₄ REJ	% NaCl REJ	% LACTOSE REJ
NF3	۲۵ gfd	۹۸	۶۰	۹۹

جدول ۲- روند محدودیت های غشاء را نشان میدهد.

Table 2. shows the trend of membrane limitations

محدودیت های فرایند PH	3-10
محدودیت های PH	2-11
حداکثر دمای فرآیند	122F
حداکثر دما CI	122F

نتایج

نیز از تقسیم پارامتر TDS به جرم یک مول NaCl استفاده گردید. غلظت آب دریا (C_S) و غلظت آب رودخانه (C_R) می باشد.

محاسبه انرژی گیبس

جهت محاسبه غلظت آب رودخانه و دریا از سه رابطه در جدول ۳ استفاده به عمل آمد. برای محاسبه غلظت آب رودخانه و دریا

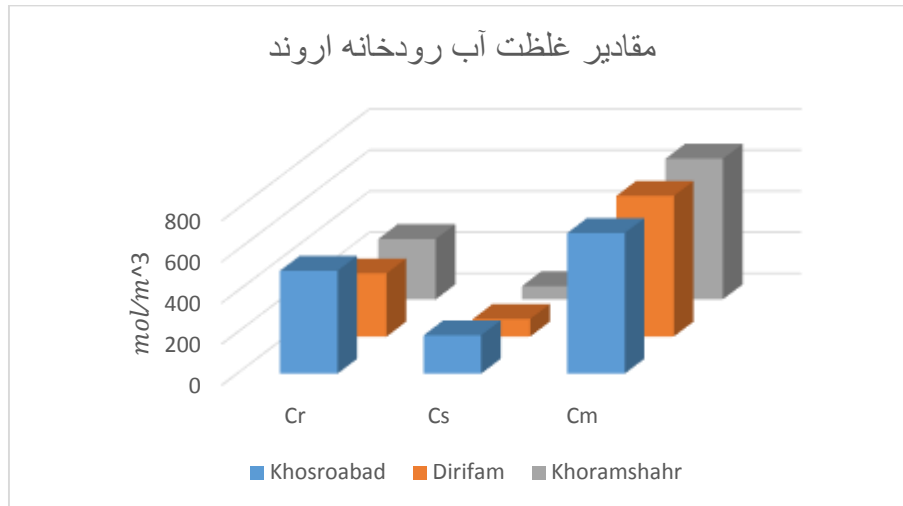
جدول ۳- روابط قابل اندازه گیری غلظت اب دریا و رودخانه.

Table 3. describes the measurable relationships between seawater and river water concentrations

$C_S = \frac{TDS}{58.44} (mol/m^3)$	$C_r = TDS/58.44 (mol.m^{-3})$	$C_M = \frac{C_S V_S + C_R V_R}{V_S + V_R}$
-------------------------------------	--------------------------------	---

دیریفام و خرمشهر محاسبه و رسم شد. این مقادیر در ایستگاه خرمشهر دارای بالاترین مقدار است.

در نمودار ۱ میزان غلظت آب رودخانه اروند -خلیج فارس از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ در ۳ ایستگاه هیدرومتری خسروآباد،

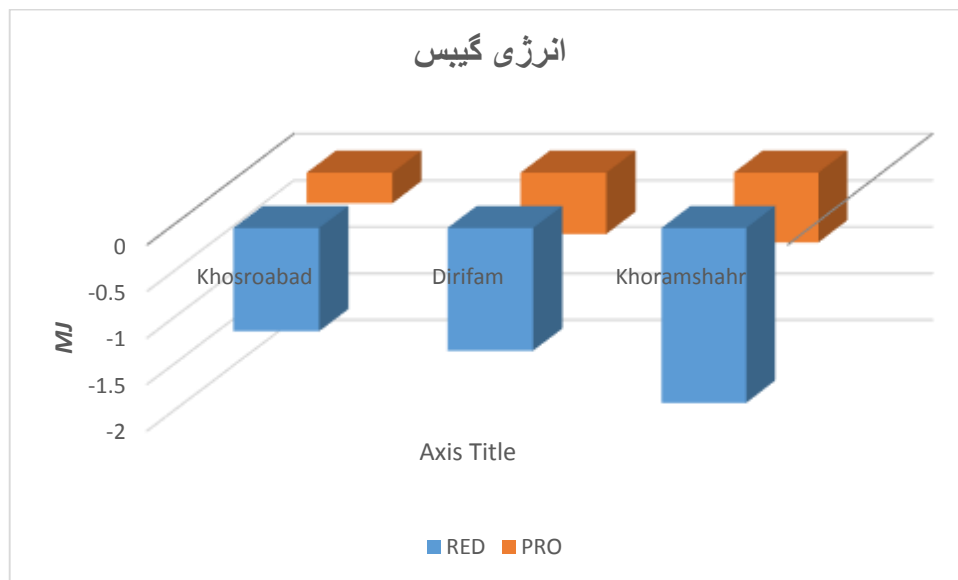


نمودار ۱- مقادیر غلظت آب رودخانه اروند -خلیج فارس از ۲۰۱۰-۲۰۱۸ در ۳ ایستگاه هیدرومتری

Figure 1. Arvand-Persian Gulf water concentration values from 2010-2018 in 3 hydrometric stations

نقش مؤثرتری در افزایش میزان استحصال انرژی آزاد گیبس دارد. بهترین حجم ورودی و خروجی انرژی گیبس در ۳ ایستگاه هیدرومتری مطابق نمودار ۲ محاسبه شد و مقدار آن منفی بدست آمد که نشان میدهد این یک فرایند در روش استحصال انرژی از گرادیان شوری خود به خودی است.

جهت محاسبه انرژی گیبس با داشتن مقادیر غلظت آب دریا (C_S)، ورودخانه (C_R) محاسبه آن انجام شد. میزان حجم ورودی و خروجی دارای اهمیت به سزایی است. ابتدا انرژی آزاد گیبس (ΔG) برای ترکیب حجم های مختلف آب دریا (V_S) و رودخانه (V_R) مورد بررسی قرار می گیرد. در ترکیب آزمایش های مختلف آب دریا و رودخانه، افزایش میزان آب رودخانه نسبت به آب دریا



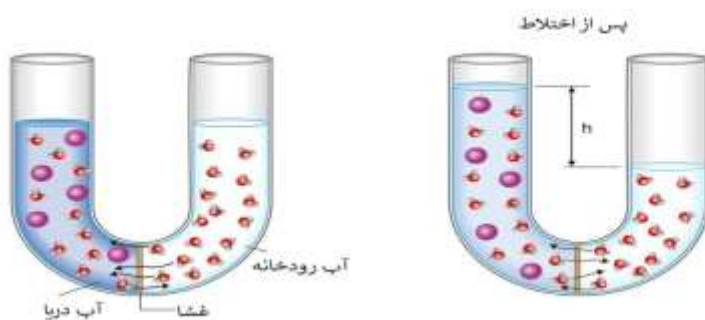
نمودار ۲- انرژی گیبس از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ در ۳ ایستگاه هیدرومتری

Figure 2. Gibbs energy from 2010-2018 in 3 hydrometric stations

مدل فیزیکی PRO

است به طوری که این غشا دارای منافذ نانویی می‌باشد. در شکل ۵ طرح شماتیکی از مدل فیزیکی ساخته شده نشان داده شده است.

مدل فیزیکی مبتنی بر روش فشار اسمز تاخیری، در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. در PRO، لایه فعال غشاء با محلول آب دریا و پشتیبانی با آب رودخانه روبرو می‌شود. غشایی که در این مدل فیزیکی از آن استفاده شده است غشاء نانوفیلتر



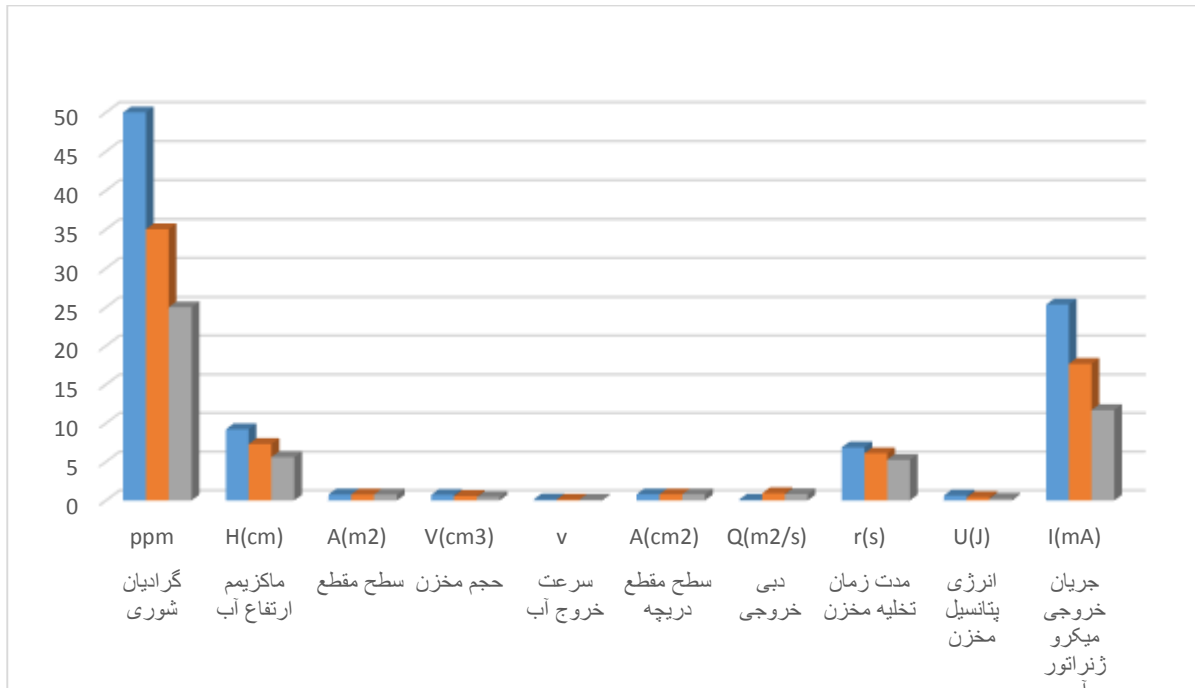
شکل ۵- طرح شماتیکی از مدل فیزیکی PRO

Figure 5. Schematic diagram of the physical model PRO

اختلاط در غلظت آب دریا ۵۰ ppm و آب رودخانه ppm ۱۰ است.

با استفاده از اختلاف ارتفاع ایجاد شده و افزایش حجم منبع آب با غلظت بالا توربین حرکت کرده و جریان تولید کرده است. هرچه میزان اختلاف ارتفاع افزایش یابد میزان انرژی پتانسیل مخزن افزایش یافته و جریان خروجی از مینی ژنراتور آبی افزایش می‌یابد. نمودار ۳ میزان جریان ایجاد شده از میکرو ژنراتور آبی را نشان می‌دهد.

جهت آزمایش مدل فیزیکی مقداری محلول با سه غلظت متفاوت ppm ۵۰ و ppm ۳۵ و ppm ۱۰ است که به عنوان آب شور دریا و محلول با غلظت ppm ۱۰ تحت عنوان آب رودخانه (آب شیرین) نیز تهیه شد. حجم هریک از این محلول‌ها ۴۰۰۰ سی سی است. در شرایط آزمایشگاهی و در بازه زمانی متفاوت اختلاف ارتفاع ایجاد شده در ستون محلول آب شور برای غلظت‌های مختلف با حضور نانوغشا بدست آمد. از نتایج مشخص شد که بالاترین میزان ارتفاع ایجاد شده در شرایط

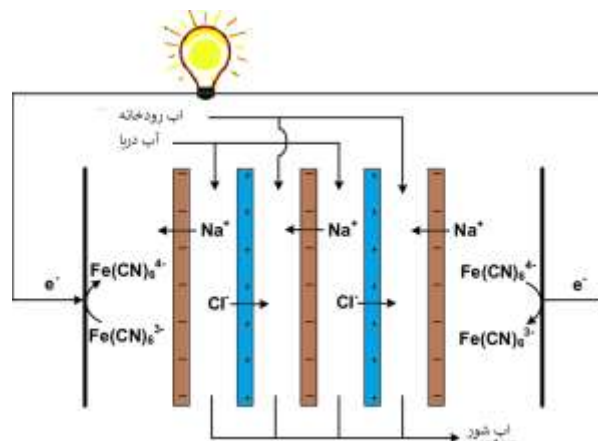


نمودار ۳- میزان جریان بدست آمده از اختلاف ارتفاع ایجاد شده توسط گرادینان شوری

Figure 3. shows the amount of flow obtained from the height difference created by the salinity gradient

مورد استفاده در مدل فیزیکی غشاء نانو ساختار است. هدف از انتخاب غشا نانو کمک به افزایش سرعت فرایند و کاهش رسوب گذاری است.

مدل فیزیکی RED در این سیستم، یک فرایند یونی تولید میشود که به وسیله واکنش های اکسایش کاهش در الکترودها به جریان الکترونی تبدیل می شود. این فرایند تا زمانی که غلظت محلول ها در طرفین یکسان شود، ادامه می یابد. غشای



شکل ۶- عملکرد باتری الکترو دیالیز معکوس را نشان میدهد (۱۸)

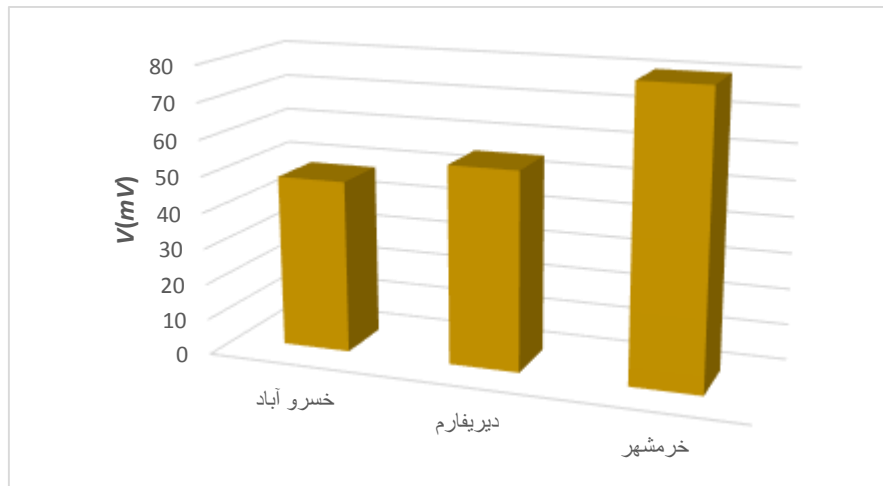
Figure 6. shows the performance of a reverse electro-dialysis battery (18)

به طور کامل پر شوند. در این حالت خروجی های سیستم کاملاً بسته اند. مدت زمانی که طول می کشد سیستم با نرخ شار 10 ml/s پر شود، ۳۲ ثانیه و برای نرخ شار 20 ml/s ، ۲۴ ثانیه است.

با تزریق محلول ها با غلظت متفاوت الکتروولیت در محفظه های الکترودها، محلول های رقیق و غلیظ را با دو نرخ شار متفاوت به میان غشاها تزریق شد. در هر دو حالت ابتدا برای چند ثانیه ورودی های سیستم را باز می ماند تا سلول های آب شور و شیرین

توجه به آزمایش غلظت آب دریا به آب رودخانه برای هر ایستگاه هیدرومتری محاسبه شده است.

در نمودار (۴) مقدار اختلاف پتانسیل ایجاد شده میان دو سر هر سلول در سیستم الکترودیالیز معکوس به صورت تئوری و با



نمودار ۴- اختلاف پتانسیل میان دو سر هر سلول در باطری

Figure 4. The potential difference between the two ends of each cell in the battery

بحث و نتایج

شده با مقدار 80 mV مربوط به ایستگاه خرمشهر است. این مقدار به واسطه ی استفاده از تکنیک نانو بر روی غشاء مورد استفاده در این سیستم و طراحی مناسب سلول بدست آمد که راندمان دستگاه را در مقایسه با غشاهای غیر نانو ۱۱ درصد افزایش داد.

در بررسی و مقایسه این دو روش میتوان گفت که در هر دو فرایند به صورت خود به خودی انجام می پذیرد و ایستگاه خرمشهر بهترین بازدهی را دارد. از مزیت های RED نسبت به PRO این است انرژی الکتریکی تولید شده در گرادیان شوری پایین تری اتفاق می افتد. همچنین در روش فشار اسمز تاخیری جهت تولید الکتروسیسته نیاز به توربین است ولی در روش الکترودیالیز معکوس با انتشار یون ها در میان غشاها یک جریان یونی تولید می شود. استفاده از غشا نانو ساختار نیز در هر دو روش تاثیر مستقیمی در عملکرد دستگاه داشته است.

انتخاب موقعیت جغرافیایی مناسب نقش بسزایی در تحقیق دارد لذا میتوان گفت رودخانهی اروند را می توان از نقاط مورد نظر جهت استحصال انرژی در نظر گرفت.

در مرحله اول جهت شروع فرایند میزان انرژی گیبس بدست آمد که در دو روش مقدار انرژی منفی است و نشان میدهد مصب رودخانه اروند مکان مناسبی برای توان گرادیان شوری است. با استفاده از روش فشار اسمز تاخیری ایستگاه خرمشهر با مقدار 0.75 MJ بالاترین میزان انرژی قابل استحصال را داراست. پس از مکان یابی و با برپایی مدل فیزیکی PRO این نتایج حاصل شد. در ابتدا با افزایش میزان حجم آب با غلظت بالا بیشترین میزان اختلاف ارتفاع ایجاد شده در مدل فیزیکی PRO با اختلاف ارتفاع $9/2\text{ cm}$ مربوط به غلظت شوری دریا با مقدار 50 ppm و غلظت رودخانه 10 ppm بود. بیشترین جریان ایجاد شده نیز در شرایط اختلاف ارتفاع $9/2\text{ cm}$ و غلظت شوری 10 ppm است که مقدار $26/35\text{ mA}$ را تولید کرده است.

در روش الکترودیالیز معکوس میزان انرژی گیبس در ایستگاه خرمشهر با مقدار $1/88\text{ MJ}$ بیشترین میزان انرژی قابل استحصال را دارد. برای ولتاژ نظری دو سر هر سلول الکترودیالیز معکوس در یک سیستم RED در سه ایستگاه موجود بر روی رودخانه اروند نشان می دهد که بیشترین اختلاف پتانسیل ایجاد

References

1. Pattle, R.E., 1954. "Production of electric power by mixing fresh and salt water in the hydroelectric pile", Nature, Vol. 174, pp.660.

- Technology volume 18, pages463–470 (2021)
9. Zemansky, M. W., Dittman, R., 1981. "Heat and Thermodynamics", sixth edition, Mc Graw-Hill, pp. 233-267.
 10. Ying Mei, Chuyang Y. Tang,2018," Recent developments and future perspectives of reverse electro dialysis technology: A review", Desalination,425(2018)156-174.
 11. F.Helfera, 2014 "Osmotic power with Pressure Retarded Osmosis: Theory, performance and trends– A review" Journal of Membrane Science,Volume 453, 1 March 2014, Pages 337-35.
 12. Aamer Ali 1, Enrico Drioli 1,2,3 and Francesca Macedonio, 2018, "Progress and prospects in reverse electro dialysis for salinity gradient energy conversion and storage", Published 1 September 2018, Engineerin , Applied Energy.
 13. Han, Sui Zhang, Xue Li, Tai-Shung Chung, Progress in pressure retarded osmosis (PRO) membranes for osmotic power generation, (2015), Progress in Polymer Science July
 14. Sabetahd Jahromi AR (2014) Study of salinity gradients in the Persian Gulf and an experimental model for electric energy extraction from them using nano-membranes (Doctoral dissertation, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran).
 15. Ramato et al, "Progress and prospects in reverse electro dialysis for salinity gradient energy conversion and storage", Applied Energy, Volume 225, 1 September 2018, Pages 290-331
 16. Amir Etemad-Shahidi,1 * Mostafa Pirnia,2 Hengameh Moshfeghi2 and Charles Lemckert1," Investigation of hydraulics transport time scales within the Arvand River estuary, Iran ",
 2. F. Helfer., O. Sahin., C. J. Lemckert ., Y. G. Anissimov, 2013. Salinity gradient energy: a new source of renewable energy in Australia.
 3. sabetahdjahromi, a, 2014, Study of salinity gradients in the Persian Gulf and an experimental model for electric energy extraction from them using nano-membranes, Faculty of Marine Science and Technologies-Department of Physical Oceanography.
 4. Arash Emdadi a, Petros Gikas b, Maria Farazaki b, Yunus Emami,2016, Salinity gradient energy potential at the hyper saline Urmia Lake e Zarrineh Rud River system in Iran, Renewable Energy 86,154e162.
 5. Y.Y, Ngai., B, Doriano ., H, V. M, Hamelers., Kitty ,B ,2016. Salinity Gradients for Sustainable Energy: Primer, Progress, and Prospects.
 6. Ngai Yin Yip, Doriano Brogioli, Hubertus V. M. Hamelers, and Kitty Nijmeijer," Salinity Gradients for Sustainable Energy: Primer, Progress, and Prospects ", Environ. Sci. Technol. 2016, 50, 22
 7. Li-Fen Liu 1, 2, *, Xing-Ling Gu 1, Sa-Ren Qi 3, XinXie 1, Rui-Han Li 1, Ke Li 4, Chun-Yang Yu 4 and Cong-JieGao, 2018, Modification of Polyamide-Urethane (PAUt) Thin Film Composite Membrane for Improving the Reverse Osmosis Performance, polymers.
 8. S. Khodadadian Elikaiy, K. Lari, M. Torabi Azad, A. Sabetahd Jahromi & A. Mohseni Arasteh, 2020 "Investigation and evaluation of salinity gradient power in Arvand River estuary using pressure retarded osmosis (PRO) method", International Journal of Environmental Science and

- University, North Tehran Branch. (In Persian)
18. Ngai Yin Yip, Dorian Brogioli, Hubertus V. M. Hamelers, and Kitty Nijmeijer
19. Salinity Gradients for Sustainable Energy: Primer, Progress, and Prospects, Environ. Sci. Technol. 2016, 50, 22.
- HYDROLOGICAL PROCESSES
Hydrol. Process. 28, 6006–6015 (2014)
Published online 15 November 2013 in
Wiley Online Library
(wileyonlinelibrary.com) DOI:
10.1002/hyp.10095
17. Ostovar, Niko, 2016, "Laboratory model of reducing the salinity of the Caspian Sea water using a magnetic field" Master Thesis of Islamic Azad