



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1062P-NWWCE

## تأثیرات دما بر عملکرد یک واحد صنعتی اسمز معکوس با استفاده از نرم افزار ROSA

مرضیه دومیرانی<sup>۱</sup>، محمد حسن ایکانی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فرآیند، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی دانشگاه

آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲- دانشیار، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی

Marzieh.domirani@yahoo.com

### خلاصه

افزایش تقاضا برای مصرف آب از یک طرف و محدودیت منابع آب شیرین در دسترس از طرف دیگر، استفاده از آب شور را در کانون توجه قرار داده است. به همین دلیل انتخاب روش بهینه جهت نمک‌زدایی از آب‌های شور ضروری به نظر می‌رسد. امروزه روش اسمز معکوس در صنعت تصفیه آب کاربرد گسترده‌ای یافته است. سادگی این روش و پایین بودن هزینه‌های عملیاتی آن موجب توجه روزافزون واحدهای صنعتی به استفاده از این تکنولوژی گردیده است. در طراحی سیستم‌های اسمز معکوس توجه به فاکتور مهمی مانند دما ضروری به نظر می‌رسد. دما یکی از مهم‌ترین پارامترهای طراحی در سیستم RO می‌باشد. در این مقاله، یک واحد صنعتی اسمز معکوس واقع در جنوب کشور با استفاده از نرم‌افزار ROSA در بازه دمایی  $13^{\circ}\text{C}$  و  $35^{\circ}\text{C}$  طراحی شده است. خوراک ورودی، آب دریای خلیج فارس و میزان دبی تولیدی  $105 \text{ m}^3/\text{hr}$  است. هدف در این تحقیق بررسی تأثیرات دما بر کیفیت آب تولیدی و عملکرد سیستم می‌باشد.

کلمات کلیدی: اسمز معکوس، دما، ROSA

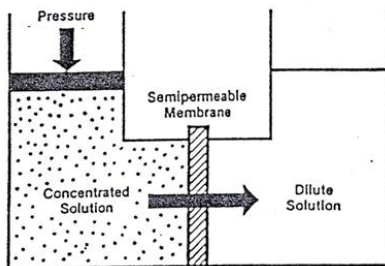
### ۱. مقدمه

استفاده از غشاء یکی از جدیدترین فناوری‌های نوین در تصفیه و تولید آب می‌باشد و در صنایع مختلف از جمله پالایشگاه‌ها، مجتمع‌های پتروشیمی و بعضی دیگر از صنایع مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. روش‌های غشایی گوناگونی برای تصفیه و خالص‌سازی آب وجود دارد که هر یک دارای معایب و مزایای خود بوده و بر حسب شرایط اقتصادی و نیازهای مصرف‌کننده نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت یافته است. اسمز معکوس (RO) یکی از این روش‌هاست که توانایی تولید آب با خلوص بسیار بالا را دارد. این روش حتی برای شیرین‌سازی آب دریا به طور وسیعی کاربرد داشته و روز به روز جذابیت بیشتری می‌یابد. روش RO به دلیل تهیه آب با کیفیت مناسب از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. پارامترهای بسیاری بر عملکرد سیستم‌های اسمز معکوس تأثیر دارند. مهم‌ترین قسمت یک سیستم اسمز معکوس مربوط به ممبران‌ها می‌باشد. در نتیجه بررسی رفتار این ممبران‌ها و شناخت تأثیر عوامل مختلف بر عملکرد آن‌ها تأثیر بسزایی در راهبری مناسب این واحدها دارند. از عوامل مختلف مؤثر بر عملکرد ممبران‌ها می‌توان به pH آب ورودی، ناخالصی‌های موجود در آب و همچنین دمای آب ورودی اشاره کرد. دمای آب ورودی می‌تواند تأثیر بسزایی بر عملکرد این ممبران‌ها داشته باشد. در این مقاله به کمک نرم‌افزار ROSA که یکی از نرم‌افزارهای پیشرفته و قابل قبول در صنعت طراحی تصفیه آب است به بررسی تأثیر دما بر عملکرد سیستم اسمز معکوس می‌پردازیم.

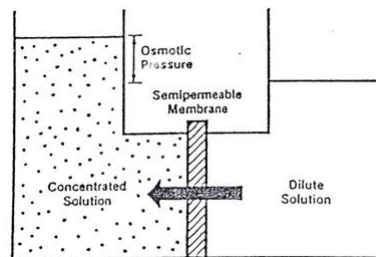
## ۲. اسمز و اسمز معکوس

پدیده اسمز تمایل حلال خالص برای وارد شدن در محلول است که توسط یک غشاء نیمه تراوا (غشایی که نسبت به حلال تراوا و نسبت به حل شونده ناتراواست) از حلال جدا شده باشد. بدین ترتیب آب خالص که توسط یک غشاء نیمه تراوا از محلول آب نمک جدا شده است، به طرف محلول آب نمک جریان می یابد (اسمز طبیعی). از آنجایی که مواد حل شده در محلول غلیظ تر نمی تواند از درون غشاء عبور کند و به محلول رقیق تر نفوذ نماید (زیرا غشاء آن مواد را از خود دفع می کند) لذا با حرکت حلال از محلول رقیق تر و افزایش پتانسیل شیمیایی حلال در محلول غلیظ تر سیستم به سوی تعادل پیش می رود. این عمل (انتقال حلال به محلول غلیظ تر) تا زمانی که پتانسیل شیمیایی حلال در هر دو محلول غلیظ و رقیق با هم برابر شود، ادامه می یابد، این تعادل نهایی را اصطلاحاً تعادل اسمزی می نامند. اختلاف سطحی که پس از برقراری حالت تعادل در دو محلول غلیظ و رقیق مشاهده می شود را فشار اسمزی می نامند.

حال اگر فشاری بیشتر از فشار اسمزی به محلول رقیق شده وارد شود سیستم از حالت تعادل خارج و حالت تعادلی جدیدی را می طلبد. این امر تنها با عبور معکوس حلال از محلول غلیظ به محلول رقیق امکان پذیر است. این پدیده به اسمز معکوس یا RO معروف است. بنابراین RO یک روش جداسازی ناخالصی ها از آب می باشد که نیروی محرکه جداسازی اعمال فشار مکانیکی است (مطابق شکل ۱) [۱].



شکل ۱-ب. پدیده اسمز معکوس



شکل ۱-الف. نمای شماتیک اسمز و فشار اسمزی

شکل ۱. اسمز و اسمز معکوس

## ۳. مراحل تصفیه به روش اسمز معکوس

فرآیند تصفیه آب به روش اسمز معکوس شامل سه مرحله زیر می باشد [۲]:

- پیش تصفیه: به طور کلی غشاهای مورد استفاده در فرآیند RO، در مقابل بعضی از ترکیبات و آلودگی های آب حساس می باشند و در صورتی که از سیستم پیش تصفیه مناسب استفاده نگردد آسیب های جدی می بینند. بنابراین با قرار دادن یک سیستم پیش تصفیه مناسب قبل از واحد RO، عمر غشاها حتی به بیش از سه سال خواهد رسید. البته سیستم تصفیه به کیفیت آب خام ورودی، جنس غشاء و نوع مدول انتخابی بستگی دارد. به منظور رسیدن به یک فرآیند تصفیه موفق باید ناخالصی های درشت و ذرات معلق آب خام ورودی از آن حذف شوند. متداولترین روش ها در مورد آب شور و آب دریا مرحله پیش تصفیه، فیلتراسیون و تصفیه شیمیایی می باشد.
- واحد اسمز معکوس: این مرحله به طور کلی شامل فیلترهای کارتریجی، پمپ های فشار قوی برای ایجاد فشار مورد نیاز آب ورودی به مدول RO، تصفیه کننده های RO شامل مخزن های تحت فشار و غشاها و سیستم شستشوی شیمیایی مرتب غشاها برای تمیز کردن رسوب های معدنی، بیولوژیکی، کلوئیدی و آلی حل نشده موجود در سیستم است.
- تصفیه نهایی: این مرحله بستگی به کیفیت آب تصفیه شده مورد نظر دارد که می تواند شامل مرحله ضد عفونی و کلر زنی، تنظیم pH به وسیله تزریق های شیمیایی و ستون های با بستر همزده باشد.

## ۴. عوامل مؤثر بر عملکرد غشاء اسمز معکوس

شرایط عملیاتی بر روی عملکرد سیستم RO اثر می‌گذارد. این شرایط عبارتند از [۳]:

- ۱- **کیفیت آب خوراک و منبع آب:** کیفیت آب خوراک و تمایل آن به لای گرفتگی، تأثیر قابل توجهی در طراحی سیستم RO دارد. آب منبعی با کیفیت بالا مانند آب چاه نسبت به آب منبعی با کیفیت پایین‌تر مانند آب‌های سطحی شانس کمتری در ایجاد رسوب روی غشاء RO دارد.
- ۲- **مجموع جامدات حل شده:** در یک سیستم RO، غلظت مجموع جامدات حل شده (TDS) بر روی شدت نفوذ سیستم و مقدار دفع نمک، تأثیر می‌گذارد. با افزایش TDS خوراک، نیرو محرکه برای آب کاهش می‌یابد (تحت فشار ثابت اعمال شده)، زیرا فشار اسمزی خوراک زیاد می‌شود. این امر موجب کاهش شدت نفوذ سیستم می‌گردد. با کاهش نیرومحرکه آب، مقدار عبور آب از میان غشاء و نیز مقدار نمک، متناسب با آن کم می‌شود. در نتیجه غلظت TDS در آب تصفیه شده زیاد می‌گردد. بنابراین در آب خوراک با TDS بیشتر، مقدار دفع نمک کمتر (و مقدار عبور نمک زیادتر) خواهد شد.
- ۳- **درجه حرارت:** درجه حرارت بر شدت نفوذ و مقدار دفع سیستم تأثیر گذار است. شدت نفوذ آب با درجه حرارت به صورت خطی تغییر می‌کند. برای هر  $1^{\circ}\text{C}$  تغییر در درجه حرارت، یک تغییر سه درصدی در شدت نفوذ آب وجود دارد. علت این اتفاق پایین‌تر بودن ویسکوزیته آب گرم‌تر است که سرعت جریان آب در غشاء را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر مقدار دفع نمک با افزایش دما، مقداری کاهش می‌یابد. نفوذ نمک در غشاء برای آب گرم‌تر، بیشتر خواهد بود.
- ۴- **فشار:** فشار عملیاتی به صورت مستقیم بر روی شدت نفوذ آب و به طور غیر مستقیم بر روی مقدار دفع نمک اثر گذار است. از آنجا که فشار عملیاتی به طور مستقیم بر نیروی عبوردهنده آب از غشاء اثر می‌گذارد، افزایش فشار موجب بیشتر شدن شدت نفوذ می‌شود. با این حال انتقال نمک، تحت تأثیر فشار است. بنابراین به نظر می‌رسد که با افزایش فشار، عبور نمک کم و مقدار دفع نمک زیاد می‌شود.
- ۵- **شدت جریان آب خوراک:** شدت جریان آب خوراک که از یک سیستم RO عبور می‌کند باید توسط منبع آب تعیین گردد. در مورد منبع آب "تمیزتر" می‌توان شدت جریان بالاتری برای آب خوراک در نظر گرفت. در نتیجه سیستم‌ها کوچکتر و هزینه‌های کلی برای انجام بهره‌برداری نیز کمتر خواهد شد. در نرخ شدت جریان‌های بالاتر آب خوراک، آلودگی‌هایی مانند کلوئیدها و باکتری‌ها که ممکن است در آب منبع وجود داشته باشند با سرعت بیشتری به سمت غشاء فرستاده می‌شوند. در نتیجه لای گرفتگی در غشاء سریع‌تر اتفاق می‌افتد. این امر نشان می‌دهد که چرا نرخ شدت جریان‌های پایین‌تر برای منابعی توصیه می‌شوند که دارای غلظت‌های بالاتری از آلاینده‌ها هستند.
- ۶- **شدت جریان تغلیظ شده:** نرخ شدت جریان توصیه شده برای آب غلیظ، تابعی از منبع خوراک است. در مورد منبع آب "تمیزتر" می‌توان شدت جریان بالاتری برای آب غلیظ در نظر گرفت. در نتیجه سیستم‌ها کوچکتر و هزینه‌های کلی برای انجام بهره‌برداری نیز کمتر خواهد شد. قابلیت لای گرفتگی و رسوب گرفتگی یک غشاء می‌تواند در نرخ شدت جریان‌های پایین آب غلیظ، بسیار زیاد باشد.
- ۷- **مقدار بازیافت:** مقدار بازیابی سیستم اسمز معکوس بر روی کل شدت نفوذ آب و مقدار دفع نمک تأثیر می‌گذارد. با افزایش مقدار بازیابی، شدت نفوذ آب به آرامی کاهش یافته تا مقدار بازیابی آنقدر زیاد شود که فشار اسمزی آب خوراک با فشار اعمال شده برابر گردد. در این حالت نیرو محرکه برای آب در غشاء از دست می‌رود و روند نفوذ متوقف خواهد شد. با افزایش مقدار بازیابی، مقدار عبور نمک افزایش و مقدار دفع نمک کاهش می‌یابد.
- ۸- **pH:** بر حسب نوع غشاء و سازنده آن، pH مقادیر کمتر از ۲ تا بالاتر از ۱۱ را در بر می‌گیرد. pH عملیاتی قابل قبول، تابعی از دماست. برای بهره‌برداری در درجه حرارت‌های بالاتر به محدوده کم‌تری از pH نیاز می‌باشد. مقدار pH بر روی قابلیت‌های دفع نمک در غشاهای کامپوزیت پلی آمیدی نیز تأثیر می‌گذارد. مقدار دفع بیشتر ذرات در pH تقریباً ۷ تا حداکثر ۷/۵ می‌باشد. مقدار دفع در pHهای بالاتر و پایین‌تر دچار افت می‌شود اما در pHهای پایین‌تر، این کاهش بسیار تدریجی انجام می‌شود.
- ۹- **شدت نفوذ:** شدت نفوذ آب برای یک کاربرد مشخص باید مبتنی بر منبع آب خوراک باشد. منبع آب "تمیزتر" شدت نفوذ بیشتری دارد که این امر به نوبه خود یعنی سطح غشاء کمتری برای رسیدن به جداسازی مورد نظر لازم است.

## کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

### ۵. تأثیر دما بر عملکرد غشاء اسمز معکوس

عملکرد فرآیند اسمز معکوس تابع چندین پارامتر است. از جمله: مشخصات خوراک، مشخصات غشاء، انتقال جرم، فشار اعمال شده، چیدمان و آرایش سیستم و شرایط عملیاتی.

چهار مورد اول تحت تأثیر دمای آب خوراک هستند. بنابراین تأثیر دما بر عملکرد سیستم RO یکی از دغدغه‌های اصلی طراحان فرآیند، محققین غشاء و اپراتورهای واحدهاست. با افزایش دما، ویسکوزیته محلول کاهش یافته اما میزان نفوذ حل‌شونده و فشار اسمزی محلول افزایش می‌یابد. افزایش دما سبب می‌شود اندازه حفره‌های غشاء RO افزایش یابد و بنابراین حلال و حل‌شونده راحت‌تر به داخل غشاء نفوذ می‌کنند که این مسئله منجر به کاهش فشار اعمال شده و میزان نمک برگشتی می‌شود. [۵۴]

یکی از عواملی که به شدت بر عملکرد اسمز معکوس تأثیر گذار است، پلاریزاسیون غلظتی است. عبور مواد از میان غشاء باعث ایجاد یک گرادیان غلظت در سمت خوراک و در نزدیکی سطح غشاء می‌گردد. بدین صورت که تراکم مولکول‌های نگه‌داشته شده در سمت غشاء زیاد شده و این باعث کاهش میزان تراوش از غشاء و در نتیجه کاهش کارایی غشاء می‌شود. به دنبال پلاریزاسیون غلظتی، مولکول‌های نگه‌داشته شده روی سطح غشاء رسوب کرده و یا جذب آن می‌شود و بدین ترتیب با مرور زمان میزان تراوش سیال از غشاء کاهش چشمگیری از خود نشان می‌دهد که این پدیده منجر به گرفتگی غشاء خواهد شد.

پلاریزاسیون غلظتی تابعی از میزان نمک برگشتی، شار نفوذی و انتقال جرم است. با افزایش دمای آب خوراک، میزان نمک برگشتی کاهش و میزان نفوذ حل‌شونده افزایش می‌یابد. بنابراین پلاریزاسیون غلظتی باید با افزایش دمای آب، کاهش یابد. این مسئله بسیار حساس است زیرا پلاریزاسیون غلظتی همچنین بر میزان عبور حل‌شونده، فشار اسمزی و گرفتگی سطحی تأثیر می‌گذارد. [۶]

### ۶. شرح فرآیند

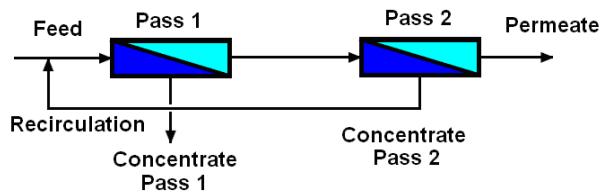
یک سیستم RO شامل دسته‌ای از المان‌های غشایی RO می‌باشد که در تانک‌های فشاری منظم قرار گرفته‌اند. از یک پمپ فشار قوی برای خوراک رسانی به تانک‌های فشار استفاده می‌شود. یک سیستم RO معمولاً برای عملکرد پیوسته طراحی می‌شود و شرایط عملیاتی نسبت به زمان ثابت است. آب دریا با دبی  $305 \text{ m}^3/\text{hr}$  و با مشخصات موجود در جدول شماره ۱ وارد واحد پیش تصفیه شده و پس از تصفیه اولیه وارد واحد RO می‌شود.

جدول ۱. مشخصات آب ورودی

مشخصات	مقدار
دبی آب ورودی ( $\text{m}^3/\text{hr}$ )	۳۰۵
دما ( $^{\circ}\text{C}$ )	۱۳-۳۵
pH	۸/۲
TDS ( $\text{mg}/\text{lit}$ )	۴۵۶۲۶

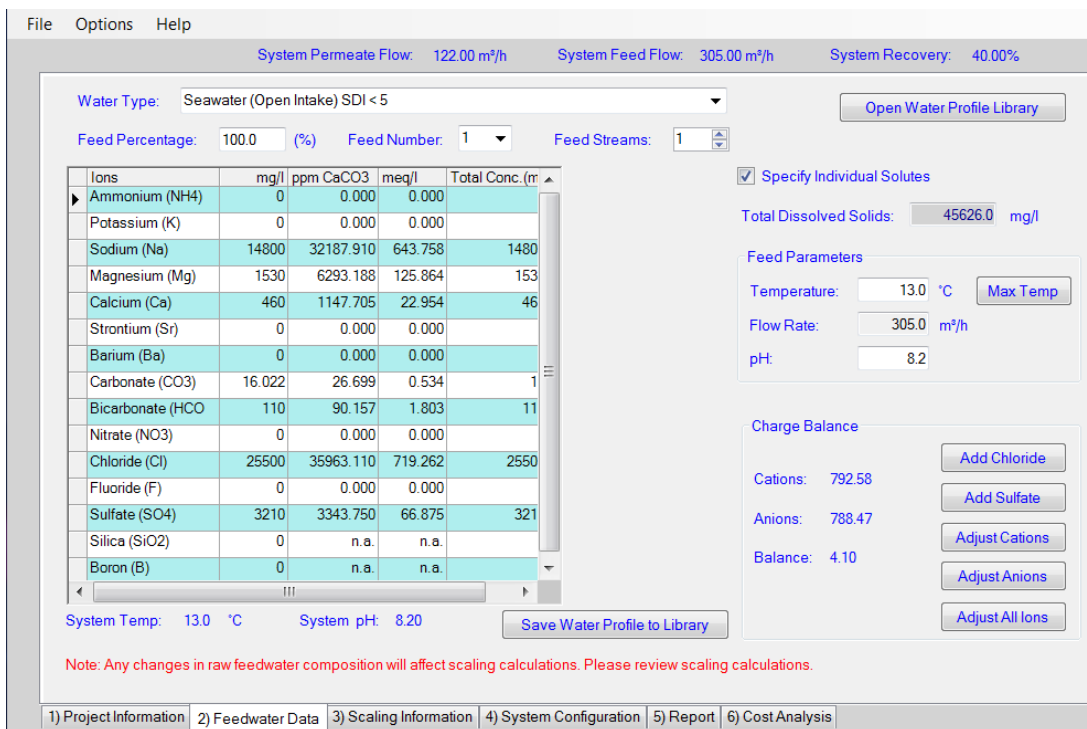
به منظور دستیابی به آبی با کیفیت بالاتر، سیستم RO دو مرحله‌ای تعبیه شده است. یک سیستم RO دو مرحله‌ای زمانی استفاده می‌شود که جریان تولیدی با کیفیت بالا مورد نیاز باشد. شکل ۲ طرح شماتیکی از این سیستم را نشان می‌دهد. جریان تغلیظ شده مرحله دوم به جریان خوراک مرحله اول بازگردانده می‌شود. زیرا کیفیت آن معمولاً بهتر از جریان آب خوراک است. در این ترکیب بندی، جریان عبوری از مرحله اول، خوراک مرحله دوم است. دبی تولیدی مرحله اول و دوم به ترتیب  $122 \text{ m}^3/\text{hr}$  و  $105 \text{ m}^3/\text{hr}$  می‌باشد. میزان بازیافت RO مرحله اول ۴۰٪ و RO مرحله دوم ۸۶٪ در نظر گرفته شده است. اکنون تأثیرات دما را بر عملکرد این سیستم با استفاده از نرم‌افزار ROSA بررسی خواهیم کرد.

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران  
 دانشگاه تهران، تهران  
 ۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



شکل ۲. سیستم RO دومرحله‌ای

با این تفاسیر به طراحی واحد می‌پردازیم. آنالیز آب دریای خلیج فارس و اطلاعات مربوط به طراحی، ورودی‌های نرم‌افزار ROSA هستند. این اطلاعات در شکل شماره ۳ نشان داده شده‌اند.



System Permeate Flow: 122.00 m<sup>3</sup>/h    System Feed Flow: 305.00 m<sup>3</sup>/h    System Recovery: 40.00%

Water Type: Seawater (Open Intake) SDI < 5

Feed Percentage: 100.0 (%)    Feed Number: 1    Feed Streams: 1

Ions	mg/l	ppm CaCO <sub>3</sub>	meq/l	Total Conc. (m)
Ammonium (NH <sub>4</sub> )	0	0.000	0.000	
Potassium (K)	0	0.000	0.000	
Sodium (Na)	14800	32187.910	643.758	1480
Magnesium (Mg)	1530	6293.188	125.864	153
Calcium (Ca)	460	1147.705	22.954	46
Strontium (Sr)	0	0.000	0.000	
Barium (Ba)	0	0.000	0.000	
Carbonate (CO <sub>3</sub> )	16.022	26.699	0.534	1
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	110	90.157	1.803	11
Nitrate (NO <sub>3</sub> )	0	0.000	0.000	
Chloride (Cl)	25500	35963.110	719.262	2550
Fluoride (F)	0	0.000	0.000	
Sulfate (SO <sub>4</sub> )	3210	3343.750	66.875	321
Silica (SiO <sub>2</sub> )	0	n.a.	n.a.	
Boron (B)	0	n.a.	n.a.	

System Temp: 13.0 °C    System pH: 8.20

Total Dissolved Solids: 45626.0 mg/l

Temperature: 13.0 °C    Max Temp

Flow Rate: 305.0 m<sup>3</sup>/h

pH: 8.2

Charge Balance

Cations: 792.58    Add Chloride

Anions: 788.47    Add Sulfate

Balance: 4.10    Adjust Cations

Adjust Anions

Adjust All Ions

Note: Any changes in raw feedwater composition will affect scaling calculations. Please review scaling calculations.

1) Project Information    2) Feedwater Data    3) Scaling Information    4) System Configuration    5) Report    6) Cost Analysis

شکل ۳. ورودی‌های نرم‌افزار ROSA

با افزایش دما از ۱۳°C به ۳۵°C شاهد تغییرات زیر هستیم. این تغییرات برای هر مرحله از فرآیند به طور جداگانه در جداول شماره ۲ و ۳ آورده شده‌اند.

جدول ۲. تغییرات ایجاد شده در عملکرد سیستم اسمز معکوس مرحله اول در اثر افزایش دما

دما (°C)	شار جریان عبوری (l/h)	فشار (barg)	TDS (mg/lit)
۱۳	۱۲/۴۴	۷۳/۵۸	۹۱/۰۵
۱۵	۱۳/۱۹	۷۲/۲۹	۱۰۲/۴۲
۲۰	۱۵/۲۹	۶۹/۷۷	۱۳۶/۵۵
۲۵	۱۷/۷۳	۶۸/۰۲	۱۸۰/۳۶
۳۰	۲۰/۵۵	۶۷/۲۷	۲۳۵/۷۱
۳۵	۲۳/۸۲	۶۶/۸۵	۳۰۵/۱۹

جدول ۳. تغییرات ایجاد شده در عملکرد سیستم اسمز معکوس مرحله دوم در اثر افزایش دما

دما (°C)	شار جریان عبوری (lmh)	فشار (barg)	TDS (mg/lit)
۱۳	۳۵/۶۷	۲۲/۰۸	۰/۵۳
۱۵	۳۷/۸۴	۲۰/۱۴	۰/۵۹
۲۰	۴۳/۸۶	۱۶/۳۰	۰/۷۷
۲۵	۵۰/۸۵	۱۳/۳۹	۱/۰۱
۳۰	۵۸/۹۵	۱۱/۱۳	۱/۳۳
۳۵	۶۸/۳۴	۹/۳۸	۱/۷۴

## ۷. نتیجه گیری

اسمز معکوس یکی از روش های نوین و مورد قبول در صنعت تصفیه آب بوده و استفاده از این تکنولوژی روز به روز کاربرد گسترده تری پیدا می کند. موفقیت این تکنولوژی بیشتر به دلیل سادگی در عملیات و کارکرد اقتصادی آن است. در طراحی سیستم های اسمز معکوس توجه به فاکتورهای مهمی مانند تعیبه سیستم پیش تصفیه مناسب، انتخاب آرایش و چیدمان مناسب ممبران ها و همچنین در نظر گرفتن عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم اسمز معکوس مانند دما، فشار، TDS و... ضروری به نظر می رسد. دما یکی از مهم ترین پارامترهای طراحی در سیستم RO می باشد.

با توجه به نتایج بدست آمده از نرم افزار، افزایش دما تأثیرات متفاوتی بر سیستم تصفیه آب RO بر جا می گذارد. با افزایش دما، شاهد تغییرات زیر

هستیم:

- شار جریان عبوری افزایش می یابد. این مسئله به سبب بزرگ شدن حفره های غشاء اسمز معکوس در اثر افزایش دما اتفاق می افتد.
- فشار ورودی کاهش می یابد. فشار اعمالی در سیستم اسمز معکوس جهت غلبه بر فشار اسمزی و هدایت آب از حفره های غشاء به کار می رود. از آنجایی که با افزایش دما، اندازه حفره ها افزایش یافته، بنابراین فشار کمتری برای عبور جریان به داخل غشاء مورد نیاز است. این مسئله سبب می شود تا پمپ های فشار قوی، کوچکتر و انرژی مورد نیاز کمتر شود که این خود باعث کاهش هزینه های سرمایه گذاری طرح می گردد.
- TDS آب تولیدی افزایش می یابد. افزایش دما باعث افزایش حلالیت یون های موجود در آب شده و به عبور آن ها از سطح ممبران کمک می کند. در اثر این افزایش، غلظت جامدات محلول در آب تولید شده بالا می رود که در نهایت کیفیت آب تولیدی کاهش پیدا می کند. لذا دمای آب خوراک همواره به عنوان فاکتوری با کارکرد متناقض در حفظ کیفیت و کمیت آب تولیدی عمل می نماید. اگرچه افزایش دما موجب افزایش شار و کاهش فشار و در نتیجه کاهش هزینه ها می گردد، اما باید توجه داشت که کیفیت آب تولیدی را نیز کاهش می دهد که این مسئله به عنوان یک نکته منفی برای سیستم اسمز معکوس به حساب می آید. نکته مهم دیگر در تحمل پذیری ممبران ها در برابر افزایش دما می باشد؛ چرا که هرچه این میزان تحمل بالاتر باشد، شستشوی ممبران ها آسانتر انجام می پذیرد. باید توجه داشت که ممبران ها تا یک محدوده دمای مشخص را تحمل می کنند و اگر دما بیش از حد افزایش یابد باعث تخریب ممبران ها می شود. بنابراین طراح باید مقدار هزینه ها و همچنین کیفیت آب تولیدی مورد نیاز مشتری را در نظر گرفته و بهترین طراحی ممکن را انجام دهد.

## ۸. مراجع

1. Marcel Mulder, (1996). *Membrane Separation Process*, ISBN 978-0-7923-0979-6, The Netherlands.
2. Weber, Walter J., Jr., (1972). *Physico Chemical Process for Water*, ISBN 978-0-471-92435-0.



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



- Jane Kucera., (2010). *Reverse Osmosis Design, Processes, and Applications for Engineers*, ISBN 978-0-470-618431.
- K.Kosutic, L, Kunst-Kastelan and B. Kunst., (2008). *Porosity of Some Commercial Reverse Osmosis and Nanofiltration Polyamide Thin-Film Composite Membranes*, 2008, 101-108.
- J.C.Crittenden, R.R. Trussell, D.W. Hand, K.J. Howe and G Tchobanoglous., (2005). *Reverse Osmosis in Water Treatment Principles and Design*, 2005,1456-1468.
- M.Mulder., (1991), *Basic Principles of Membrane Technology*, 2<sup>nd</sup> ed, Kluwer Academic, Dordrecht, NL, 1991, PP, 416-426.