



Optimization of RO Unit Pre-Treatment System to Prevent Red Tide Impact on Persian Gulf Coast

Y. Nasiri¹, M. Teimouri², M. Saberi^{3*}

1- M. Sc. in Chemical Engineering, Iran University of Science and Technology

2- Ph.D. Student in Chemical Engineering, Arak University

3- Assistant Professor of Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Bushehr Branch, Islamic Azad University, Bushehr, Iran

Email: m.saberi@iaubushehr.ac.ir

Abstract

High concentrations of algae cause the sea surface to turn red and there is a possibility of discoloration to yellow, green and brown, which has eventually led to the death of many marine aquatic animals. The extent of the red tide has polluted the sea surface, making it impossible to accurately predict this phenomenon. These algae are phytoplankton with a concentration of about 2000 per liter. With the growth and multiplication of these phytoplankton in the Persian Gulf, the turbidity of seawater has increased sharply and desalination units in the region have problems such as rapid clogging of filters and reduced freshwater production. In this research, using GPS-X 8.0 simulator software, the effect of red tide phenomenon on the conventional reverse osmosis unit pre-treatment process and also the optimization of the reverse osmosis unit pre-treatment process with two methods DAF+DMF and UF+DMF are investigated. The results showed that the removal rate of TOC variable in the conventional method was 44% and in the two optimized methods mentioned was 95% and 76%, respectively, and the turbidity removal rate was 18% in the conventional method and in the two optimized methods mentioned was 94% and 78%, respectively. Also, with the economic evaluation, the cost of implementing the DAF+DMF method was estimated to be approximately 27% lower than the cost of implementing the UF+DMF method. The results show that the DAF+DMF method in the pretreatment process, technically and economically has the best performance when the red tide occurs, which is suggested to be considered in the design of seawater desalination units.

Received: 15 May 2021

Accepted: 19 July 2021

Page Number: 64-75

Keywords:

Pretreatment,
Red Tide,
GPS-X,
Reverse Osmosis

Please Cite this Article Using:

Nasiri, Y., Teimouri, M., Saberi, M., "Optimization of RO Unit Pre-Treatment System to Prevent Red Tide Impact on Persian Gulf Coast", Iranian Chemical Engineering Journal, Vol. 20, No. 119, pp. 64-75, In Persian, (2022).



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).



بهینه‌سازی سامانه پیش تصفیه واحد اسمز معکوس به منظور پیش‌گیری از تأثیر کشند قرمز در سواحل خلیج فارس

یوسف نصیری^۱، مصطفی تیموری^۲، مسعود صابری^{۳*}

۱- کارشناسی ارشد مهندس شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشگاه اراک

۳- استادیار مهندسی شیمی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

پیام نگار: m.saberi@iaubushehr.ac.ir

چکیده

غلظت بالای جلبک‌ها سبب قرمز شدن سطح آب دریا و احتمال تغییر رنگ به زرد، سبز و قهوه‌ای است که در نهایت موجب مرگ و میر بسیاری از آبزیان دریایی می‌شود. گسترده‌گی کشند قرمز باعث آلودگی سطح دریا می‌شود؛ پیش‌بینی دقیق این پدیده ممکن نیست. این جلبک‌ها، فیتوپلانکتون‌هایی هستند که غلظتی در حدود ۲۰۰۰ عدد در لیتر دارند که با رشد و تکثیر در خلیج فارس، کدورت آب دریا را به شدت بالا برده و واحدهای آب‌شیرین‌کن منطقه را به مشکلاتی از جمله گرفتگی سریع فیلترها و کاهش تولید آب شیرین دچار کرده‌اند. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز GPS-X 8.0، اثر وقوع پدیده کشند قرمز در فرایند متداول پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس و هم‌چنین بهینه‌سازی فرایند پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس با دو روش DAF+DMF و UF+DMF بررسی شد. نتایج نشان داد که میزان حذف متغیر TOC در روش متداول ۴۴٪ و در دو روش بهینه‌سازی شده مذکور به ترتیب ۹۵٪ و ۷۶٪ و میزان حذف کدورت در روش متداول ۱۸٪ و در دو روش بهینه‌سازی شده مذکور به ترتیب ۹۴٪ و ۷۸٪ است. هم‌چنین با انجام ارزیابی اقتصادی، هزینه اجرای روش DAF+DMF تقریباً ۲۷٪ کمتر از هزینه اجرای روش UF+DMF تخمین زده شد. نتایج نشان می‌دهد که روش DAF+DMF در فرایند پیش‌تصفیه، از لحاظ فنی و اقتصادی بهترین عملکرد را در هنگام وقوع کشند قرمز دارد که پیشنهاد می‌شود در طراحی واحدهای آب‌شیرین‌کن آب دریا مد نظر قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها:

پیش‌تصفیه،
کشند قرمز،
GPS-X،
اسمز معکوس

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸
شماره صفحات: ۶۴ تا ۷۵

* مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، گروه مهندسی شیمی

استناد به مقاله:

نصیری، ی.، تیموری، م.، صابری، م.، "بهینه‌سازی سامانه پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس به منظور پیش‌گیری از تأثیر کشند قرمز در سواحل خلیج فارس"، نشریه مهندسی شیمی ایران، سال بیستم، شماره ۱۱۹، صص. ۶۴-۷۵، (۱۴۰۰).

۱. مقدمه

منابع آبی در جهان به شکل‌های مختلفی هم‌چون دریا، باران، رودخانه و غیره وجود دارد؛ اما نبود تناسب میان مصرف و چرخه تولید آب و نبود تناسب در پراکندگی جغرافیایی سبب بروز مشکلات بسیاری در زندگی انسان‌ها شده است. امروزه معضل جهانی آب موجب شده است تا نیاز به آب از یک سو و تولید آب شیرین و آشامیدنی از دیگر سو به یکی از سرفصل‌های مهم و بنیادین برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران کشورها تبدیل شود؛ از این رو شیرین‌کردن آب بهترین گزینه پیش روی جوامع کنونی است [۱].

در سال‌های اخیر وجود توده‌های عظیم و گسترده جلبکی که از آن با نام کشند قرمز^۱ یاد می‌شود، در آب‌های خلیج فارس روند آنگیری و پالایش آب واحد‌های آب‌شیرین‌کن را با مشکلاتی از جمله گرفتگی سریع فیلترها، کاهش تولید آب شیرین و تحمیل هزینه‌های عملیاتی زیاد برای رفع این معضل، مواجه کرده است؛ برای نمونه در پژوهشی که بر روی سامانه آب‌شیرین‌کن به‌روش اسمز معکوس در جزیره کیش انجام شد، تأثیر نفوذ کشند قرمز به‌قدری سریع بود که اختلاف فشار بین ستون‌های کارتریج فیلتر شنی از ۰/۴ به ۲/۵ اتمسفر افزایش یافت و باعث درگیر شدن تمامی فیلترهای شنی و کاهش فشار آب ورودی غشای اسمز معکوس به ۱/۵ اتمسفر و در نهایت خاموشی پمپ شد [۱]. در این شرایط در غشاهای نیمه‌تراوای اسمز معکوس نیز اختلال به وجود آورده به طوری که باعث افزایش سریع اختلاف فشار ماژول‌های واحد تصفیه به ۳/۷ اتمسفر شده و به دنبال آن تولید آب شیرین را با کاهش حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد مواجه کرده استاز همین رو انجام این پژوهش برای رفع این معضل در واحدهای شیرین‌سازی آب شور و کاهش هزینه‌های عملیاتی یک امر ضروری و لازم است [۲ و ۱].

پژوهش گواستالی و همکاران [۳] پیرامون پیش‌تصفیه آب دریا در رابطه با حذف مواد آلی محلول^۲ در آب دریا، با دو روش مختلف پیش‌تصفیه به‌صورت موازی از "چربی‌گیر^۳ + فیلتر شنی^۴" و "چربی‌گیر + فیلتر غشایی^۵" انجام شد. در این پژوهش که به‌صورت پایلوت صنعتی اجرا شد، نتایج حاکی از آن بود که در هر دو روش مقدار کدورت آب به کمتر از ۰/۱ NTU و مقدار

شاخص گرفتگی^۶ به کمتر از ۲ رسید. این در حالی بود که میزان حذف جلبک‌های آب دریا در روش چربی‌گیر + فیلتر غشایی به میزان ۱۰۰٪ و روش دوم ۶۰٪ است و این نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن روش چربی‌گیر + فیلتر غشایی در حذف مواد آلی محلول از آب دریا در فرایند پیش‌تصفیه است.

پلانتیر و همکاران [۴] در پژوهش خود عمل‌کرد یک فیلتر شنی را در حذف شکوفایی جلبکی برای پیش‌تصفیه آب دریا در فرایند اسمز معکوس بررسی کردند؛ این پژوهش دارای دو هدف اصلی است: بررسی عملکرد فیلتر بستر شنی مرحله اول در مورد چندین شکوفایی جلبکی بازسازی‌شده و مرحله دوم درک بهتر سازوکار رسوب فیلتر ماسه ناشی از ریزجلبک‌ها. در این پژوهش بازده نگهداری رسوب‌ها در فیلتر شنی برای غلظت‌های ۳۰۰۰۰، ۵۰۰۰۰ و ۱۴۵۰۰۰ سلول/میلی‌لیتر سوسپانسیون جلبک کلرلا ولگاریس^۷ به ترتیب بالای ۹۰، ۹۰ و ۸۰٪ بوده که تنها در طول ساعات اولیه پالایش انجام شد. در ادامه پس از گذشت ۷ ساعت از فرایند، بازده نگهداری رسوب در فیلتر شنی به ترتیب مقادیر ۷۸، ۷۴ و ۴۸٪ به دست آمد که نشان‌دهنده افت در نگهداری رسوب است. بررسی رسوب‌ها نشان می‌دهد که تعداد میکروجلبک‌های جذب‌شده در فیلتر شنی در ۳۰ سانتی‌متر اول بستر، بسیار بیشتر است. در بستر فیلتر شنی، نسبت بین حجم اشغال‌شده به وسیله میکروجلبک‌های باقی‌مانده در فیلتر و حجم کل منافذ از مقدار ۰/۱۵٪ تجاوز نمی‌کند و بیانگر این است که بیشتر میکروجلبک‌ها به سطح ذرات فیلتر شنی چسبیده‌اند و منافذ بین ذرات فیلتر شنی هم‌چنان باز هستند؛ از همین رو به نظر می‌رسد که اندازه ریزجلبک‌های کلرلا ولگاریس و هتروکاپسا^۸ تأثیر قابل توجهی بر روی بازدهی نگهداری فیلتر شنی نداشته و این خود نماینگر این است که سازوکار جذب، تأثیر بیشتری بر روی نگهداری میکروجلبک‌ها دارد.

برهانت و همکاران [۵] برای نمک زدایی آب دریا به‌وسیله فرایند اسمز معکوس به مقایسه بین روش پیش‌تصفیه^۹ UF و روش پیش‌تصفیه^{۱۰} مرسوم قبل از غشاهای اسمز معکوس پرداختند و مقایسه پیش‌تصفیه^{۱۱} UF نسبت به پیش‌تصفیه^{۱۲} مرسوم را با بررسی تأثیر بر عملکرد هیدرولیکی RO ارزیابی کردند. این مطالعه

6. Silt Density Index (SDI)
7. Chlorella Vulgaris
8. Heterocapsa Triquetra
9. Ultrafiltration

1. Red Tide
2. Dissolved Organic Matter
3. Dissolved Air Flotation (DAF)
4. Dual Media Filter (DMF)
5. Membrane Filtration (UF)

شرایط شکوفایی جلبکی در آب دریا تا غلظت حدود 10 mgC/L کربن آلی محلول (DOC) شبیه‌سازی شد. در این آزمایش، بهترین عمل کرد استفاده ترکیبی از آهن مایع 58% و DAF بود که منجر به حذف تا 100% از سلول‌های جلبکی، $99/99\%$ از آدنوزین تری فسفات (ATP) و تا 92% از AOM شد.

محمودی و همکاران [۹]، در تحقیقات خود به بررسی رویکرد مدل شمارش در مورد وقوع شکوفه‌های مضر جلبکی در خلیج آمبون اندونزی پرداختند. هدف از این مطالعه شناسایی ساختار جامعه فیتوپلانکتون‌ها، اندازه‌گیری کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب (دما، شوری، اکسیژن نامحلول، نترات و فسفات) در خلیج آمبون و ایجاد یک مدل پیش‌بینی برای تخمین وقوع شکوفایی جلبکی مضر بر اساس این معیارهای کیفی آب است. نتایج مدل شمارش آماری (رگرسیون پواسون^۵) نشان داد که سه بخش فیتوپلانکتونی: باسیلاریوفیتا^۶، دینوفیتا^۷ و سیانوفیتا^۸ مشاهده شد. از این میان، باسیلاریوفیسه‌ها بیشترین فراوانی را داشتند. تنها گونه تریچادیمیم^۹ (نوعی جلبک مضر که می‌تواند زیست‌توده بالایی تولید کند و ممکن است آبش ماهی را مسدود و اکسیژن پایینی را تولید کند) از بخش سایانوفیتا شناسایی شد. مدل رگرسیون پواسون نشان داد که تمام شاخصه‌های کیفیت آب اندازه‌گیری شده، بر فراوانی تریچادیمیم در خلیج آمبون تأثیر می‌گذارند و علاوه بر این، افزایش سطوح نترات و شوری باعث افزایش در تریچادیمیم می‌شود.

ژن و همکاران [۱۰]، در مطالعات اخیر خود به تأثیر آب اکسیژنه در حذف شکوفایی جلبکی در دریاچه چائوهو چین پرداختند. آنان یک مطالعه میدانی را برای ارزیابی حذف سیانوباکتری‌ها با تراکم جلبکی بالا (کلروفیل a تقریباً $250-220$ میکروگرم بر لیتر) و تراکم جلبکی پایین (کلروفیل a تقریباً $30-50$ میکروگرم بر لیتر) با استفاده از آب اکسیژنه در غلظت‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر انجام دادند. پویایی زیست‌توده جلبکی، مواد مغذی، میکروسیستین‌ها، فیتو پلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها در طول ۷ روز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که در غلظت ۵ میلی‌گرم بر لیتر آب اکسیژنه به‌طور مؤثری زیست‌توده جلبکی را، حذف و 50% فعالیت فتوسنتزی سیانوباکتری‌ها را در ۷ روز در گروه تراکم سلولی جلبکی پایین

نشان داد که فرایالایش، آب تراوش شده را با کیفیت بالا و ثابت فراهم می‌کند و منجر به قابلیت اطمینان بالاتر فرایند RO نسبت به پیش تصفیه معمولی می‌شود. در روش پیش تصفیه فرایالایش متغیر SDI از مقدار ۲۵ به $0/8$ کاهش پیدا کرد و این در حالی است که در روش مرسوم متغیر مذکور به مقدار $2/5$ رسید. در پیش تصفیه روش UF، مقدار آب خروجی از غشای اسمز معکوس بیشتر بود و دبی پایدارتری نسبت به پیش تصفیه به روش مرسوم داشت.

ژو و همکاران [۶] پژوهشی را برای مهار تأثیر کشند قرمز از فرایند تصفیه آب دریا، عمل کرد تجهیز چربی گیر و فیلتر شنی را بررسی کردند. این پژوهش نشان داد که روش پیش تصفیه چربی گیر و فیلتر شنی می‌تواند تا 75% از کربن آلی محلول^۱ در آب همراه با جلبک‌های مضر^۲ را کاهش دهد.

رمیز و همکاران [۷]، یک پیش تصفیه پالایش شنی معمولی^۳ (CPP) و پیش تصفیه غشای فشار پایین^۴ (MPP) را در کنار هم در محلی واقع در دریای مدیترانه بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که SDI ها بعد از پیش تصفیه به روش ریزپالایش کم تر از مقادیر SDI ها بعد از پیش تصفیه به روش پالایش شنی به دست آمدند: متوسط SDI در خروجی CPP $3/5$ و در خروجی MPP $2/5$ بود. حذف ریزاندامگان از نظر باکتری‌ها و پیکتوپلانکتون‌ها در خروجی MPP بسیار بهتر بود ($1/8 \log$ در مقابل $0/6 \log$ برای حذف باکتری‌ها، $4 \log$ در مقابل $0/8 \log$ برای حذف پلانکتون) از سوی دیگر، حذف مواد آلی محلول به‌طور چشمگیری برای MPP در مقایسه با CPP کم تر بود.

در پژوهش دیگری شهری و همکاران [۸]، برای فرایند شیرین‌سازی آب دریا، نقش تجهیز DAF و تزریق مواد شیمیایی آهن مایع (FeCl_3) برای کاهش جلبک‌های آلی (AOM) را در طی وقوع پدیده کشند قرمز بررسی کردند. این مطالعه به مقایسه تأثیر میزان تزریق کلرید آهن در ترکیب با چربی گیر (DAF) به‌عنوان یک استراتژی پیش تصفیه برای حذف سلول‌های جلبکی و جلبک‌های آلی (AOM) در طول زمان شکوفایی جلبکی پرداخته است. آزمایش‌ها با استفاده از واحد DAF در مقیاس آزمایشگاهی و با تزریق محلول آهن مایع با غلظت‌های 20% و 58% در دبی ۳ میلی‌گرم بر لیتر انجام شد.

5. Poisson Regression
 6. Bacillariophyta
 7. Dinophyta
 8. Cyanophyta
 9. Trichodesmium

1. Dissolved Organic Carbon (DOC)
 2. Harmful Algae Blooms (HABs)
 3. Conventional Granular Media Filtration Pretreatment
 4. Low-Pressure Membrane Filtration Pretreatment

مهار کرد. این در حالی بود که نرخ بازدارندگی مشابهی در گروه تراکم سلولی جلبکی بالا در غلظت‌های ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر آب اکسیژنه مشاهده شد. با این حال استفاده از دوزهای بالای آب اکسیژنه برای سرکوب سیانوباکتری‌ها با زیست‌توده بالا می‌تواند منجر به افزایش چشمگیر مواد مغذی و میکروسیستین‌ها در آب شود و این مورد منجر به سمیت حاد برای زئوپلانکتون می‌شود. نتایج نهایی نشان دهنده این است که برای کنترل شکوفایی جلبکی در مراحل اولیه و تراکم پایین، آب اکسیژنه می‌تواند نتایج خوبی به وجود بیاورد.

گو و همکاران [۱۱]، در پژوهش خود تأثیر فلزات کلسیم، سرب، مس و کادمیم را در تشکیل جلبک‌های سیانوباکتری بررسی کردند. نتایج نشان داد که مس (با غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر) سمیت قابل توجهی بر سلول‌های جلبکی دارد؛ در حالی که سرب (با غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر) نرخ رشد جلبکی را به دلیل شرایط اسیدی کاهش داد. کادمیم هیچ‌گونه سمیت ظاهری برای جلبک‌ها نشان نداد؛ ولی با افزایش شناوری آب، این یون می‌تواند تشکیل شکوفه‌های سیانوباکتری را تسهیل کند. حضور کلسیم باعث فرایند ضد اکسایش و ترشح پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی می‌شود؛ بنابراین این فلز موجب تجمع سلول‌های جلبکی و افزایش شناوری آن‌ها تا ۲/۱ برابر بیشتر از کنترل طبیعی می‌شود.

با توجه به مطالعات، توزیع شکوفایی مضر جلبکی در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۵ رشد فزاینده‌ای داشته که می‌تواند اهمیت ایجاد پدیده کشند قرمز در سواحل دریا و به‌خصوص در فرایندهای تصفیه و شیرین‌سازی آب دریا را بیش از پیش تأیید کند. این امر باعث شده است که در چند دهه اخیر توجه به شکوفایی پلانکتونی بیشتر شود و مطالعات و پژوهش‌های بنیادی و پایه‌ای در مورد شکوفایی مضر جلبکی و راه‌های مقابله با آن در تمام دنیا رو رشد یابد [۱۳].

۲. کشند قرمز

کشند قرمز، اسمی رایج برای پدیده‌ای است که به‌عنوان شکوفایی جلبکی (غلظت بالایی از ریزاندامگان آبی) شناخته می‌شود که در این پدیده، جلبک‌ها در آب‌های شیرین و دریاها به‌سرعت در آب انباشته و باعث تغییر رنگ سطحی آب از بنفش تا تقریباً صورتی می‌شوند و به‌طور معمول به رنگ سبز یا قرمز هستند. این پدیده در جزایر خلیج فارس مانند شکل (۱) معمولاً به رنگ قهوه‌ای و

زرد کم‌رنگ دیده شده است [۱۵]. این جلبک‌ها بومی منطقه خاصی نیستند و درگستره وسیعی به‌صورت گونه‌های متنوع وجود دارند که حدود ۵۰۰۰ گونه از این جلبک‌ها به‌صورت میکروسکوپی یا فیتوپلانکتون در دریاها وجود دارند. حدود ۳۰۰ گونه از فیتوپلانکتون‌ها قادرند سبب ایجاد کشند قرمز با تراکم بالا شوند که در این بین یک چهارم آن‌ها از عوامل مضر و سمی هستند و این عوامل مضر شامل داینوفلاژله‌ها، دیاتومه‌ها، هاپتوفیسه‌ها، سیانوباکتری‌ها و برخی سیکلوفلاژله‌هاست [۱۴].

جلبک بیشتر در فصول گرم سال که شرایط جوی، پایدار است به شکوفایی می‌رسد. در اغلب دریاچه‌های بررسی شده در سطح دنیا فرایند شکوفایی جلبک‌های سبز-قرمز بین دو تا سه هفته ادامه داشته است؛ اما در برخی موارد به‌دلیل وجود انواع مختلف جلبک‌های سبز-قرمز در آب و شکوفایی‌های پی‌درپی گونه‌های مختلف، فرایند شکوفایی در تمامی طول تابستان و حتی تا اوایل پاییز ادامه دارد. از جمله عوامل مؤثر در پدیده شکوفایی جلبک‌ها می‌توان به مقدار مواد مغذی موجود در آب، لایه‌بندی حرارتی آب، میزان شناوری جلبک‌ها، دما، شوری، کدورت و اسیدیته اشاره کرد [۱۵ و ۱۴].



شکل ۱. نمونه کشند قرمز در آب‌های خلیج فارس [۱۵].

Figure 1. A sample of red tides in the waters of the Persian Gulf [15].

۳. روش کار

در شیرین‌سازی آب دریا به روش اسمز معکوس، با توجه به قیمت بالای غشاهای اسمز معکوس و حساسیت آن‌ها در فرایند تصفیه آب، اهمیت فرایند پیش‌تصفیه (در این واحدها) بیش از پیش مورد توجه قرار می‌گیرد. از طرفی یکی از پیامدهای وجود پدیده کشند قرمز،

و کلاریفایر^۲، روش دوم: استفاده از فرایلايش^۳ و فیلتر شنی^۴ (UF+DMF) به جای مخزن همزن دار^۵ و کلاریفایر در روش اول و روش سوم: استفاده از چربی گیر و فیلتر شنی (DAF+DMF) به جای مخزن همزن دار و کلاریفایر، انجام می‌شود [۱۸، ۱۹، ۲۰] (شکل (۲)). با توجه به این که این پژوهش مربوط به شیرین سازی آب دریاست، مناسب ترین تجهیزات برای پیش تصفیه این واحد، تجهیزات فیلتر شنی، غشای فرایلايش و چربی گیر است. در خصوص تفاوت عمل کرد روش های پیشنهادی جایگزین، می توان گفت که روش های UF + DMF و DAF + DMF در شرایط طبیعی آب دریا چندان با یکدیگر متفاوت نیست و هدف از این پژوهش بررسی عمل کرد و مقایسه اقتصادی روش های جایگزین بالا در شرایط ایجاد پدیده کشند قرمز است.

گرفتگی شدید غشاهای اسمز معکوس و هم چنین استهلاک آن هاست؛ این موضوع بر اهمیت فرایند پیش تصفیه و بهینه سازی آن می افزاید.

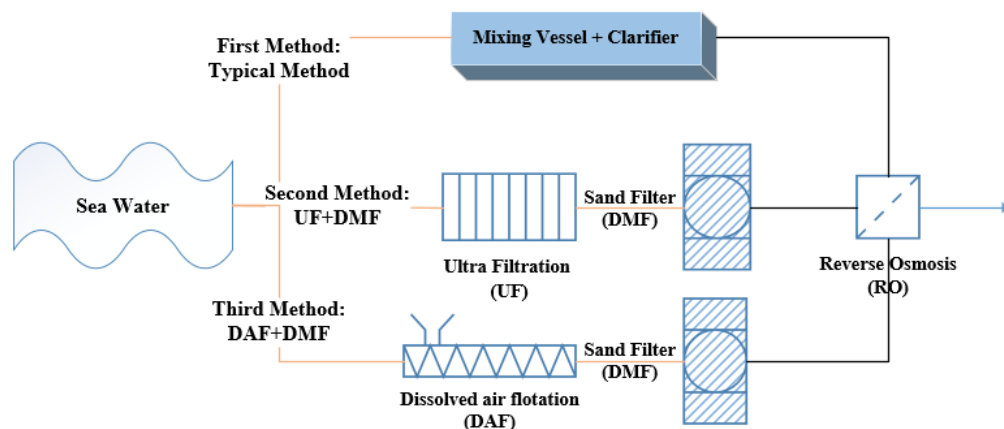
در این پژوهش شبیه سازی فرایند پیش تصفیه واحد اسمز معکوس در محیط نرم افزار شبیه ساز GPS-X 8.0 ارائه شده شرکت هیدرومانتیس^۱ انجام گرفته است. این نرم افزار برای شبیه سازی فرایند در دو شرایط مختلف آب در حالت طبیعی و در حالت وقوع پدیده کشند قرمز مطابق داده های جدول (۱) به عنوان داده های ورودی این نرم افزار انجام شده است [۱۷].

شبیه سازی در محیط نرم افزار GPS-X 8.0 به صورت پایا انجام و در سه روش مختلف به ترتیب روش اول: روش متداول پیش تصفیه (استفاده از مخزن همزن دار به همراه تزریق مواد شیمیایی

جدول ۱. داده های ورودی آب دریا در دو شرایط طبیعی و شرایط وقوع پدیده کشند قرمز [۱۷].

Table 1. Seawater input data under both natural conditions and red tidal conditions [17].

| Item | Spec. | Description | Unit | Natural Condition Data | Red Tide Condition Data |
|------|-----------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | Flow | S.W. Flow Rate | m ³ /day | 157725 | 157725 |
| 2 | Temp. | Water Temp. | °C | 15.5 | 38 |
| 3 | TDS | Total Dissolved Solid | mg/L | 25000 | 29000 |
| 4 | TSS | Total Suspended Solids | mg/L | 10 | 37 |
| 5 | Turbidity | Turbidity | NTU | 1 | 7 |
| 6 | TOC | Total Organic Carbon | mg/L | 1 | 7.6 |
| 7 | DO | Dissolved oxygen | mg/L | 9 | 7 |



شکل ۲. طرحواره سه روش پیش تصفیه شبیه سازی شده با نرم افزار GPS-X آب دریا در شرایط وقوع کشند قرمز.

Figure 2. Schematic of three pre-treatment methods simulated with GPS-X seawater under red tidal conditions.

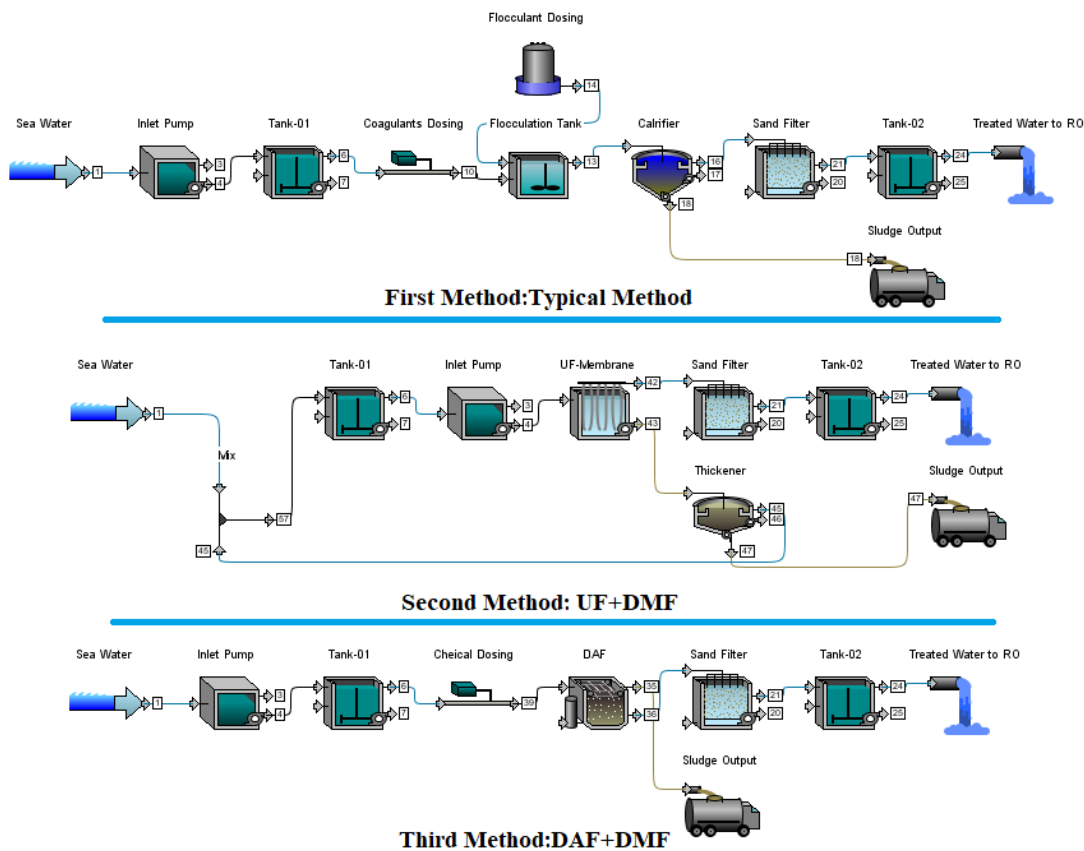
- | | | |
|----------------------------|----------------------|--------------------|
| 1. Hydromantis | 2. Clarifier | 3. Ultrafiltration |
| 4. Dual Media Filter (DMF) | 5. Flocculation Tank | |

۴. شبیه‌سازی

در شبیه‌سازی سامانه پیش‌تصفیه آب دریا در واحد اسمز معکوس در نرم‌افزار GPS-X 8.0، با توجه به این‌که شبیه‌سازی مربوط به فرایند آب است و جزء فرایندهای تصفیه پساب صنعتی نیست، از قسمت تصفیه فرایند آب^۱ در این نرم‌افزار استفاده شده است تا اطلاعات کتابخانه این نرم‌افزار بر اساس هدف مورد نظر تنظیم شود. شبیه‌سازی در شرایط پایا در نرم‌افزار انتخاب شد که زمان توقف در فرایند شبیه‌سازی صفر ثانیه در نظر گرفته شده است. سناریوی مورد نظر برای شبیه‌سازی سامانه‌ها بر اساس انتخاب تصفیه آب دریا در اطلاعات کتابخانه، به صورت پیش فرض نرم‌افزار در نظر گرفته شد. شبیه‌سازی پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس مطابق شکل (۳) در محیط نرم‌افزار GPS-X در سه روش مختلف انجام شد؛ روش متداول (روش اول) در دو حالت شرایط طبیعی آب دریا و شرایط وقوع پدیده کشند قرمز و دو روش دیگر در شرایط وقوع کشند قرمز انجام شد.

۵. نتایج و بحث

در این مطالعه داده‌های ورودی آب دریا برای دو شرایط طبیعی و شرایط وقوع کشند قرمز بوده که در جدول (۱) قید شده است. ابتدا برای شرایط طبیعی آب دریا، با روش متداول پیش‌تصفیه (مخزن همزن‌دار + کلاریفایر) شبیه‌سازی فرایند پیش‌تصفیه انجام شد؛ سپس بر اساس داده‌های ورودی آب دریا در شرایط وقوع پدیده کشند قرمز، در سه روش مختلف پیش‌تصفیه، ۱- روش متداول، ۲- روش UF + DMF و ۳- روش DAF+DMF شبیه‌سازی در محیط نرم‌افزار GPS-X انجام شد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی انجام‌گرفته (جدول (۲)) در شرایط طبیعی آب دریا با روش مرسوم و متداول پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس، متغیرهای فیزیکی و شیمیایی خروجی پیش‌تصفیه مورد تأیید واحد اسمز معکوس است.



شکل ۳. طرح کلی از شبیه‌سازی با نرم‌افزار GPS-X پیش‌تصفیه واحد RO در سه روش مختلف.

Figure 3. Overview of simulation with GPS-X software RO pre-treatment in three different methods.

جدول ۲. داده‌های ورودی آب دریا در شرایط طبیعی و خروجی شبیه‌سازی با نرم‌افزار GPS-X.

Table 2. Seawater input data in natural conditions and simulation output with GPS-X software.

| Item | Spec. | Description | Unit | Inlet Sea Water Data | Simulation Output |
|------|-----------|------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 1 | Flow | S.W. Flow Rate | m ³ /day | 157725 | 153600 |
| 2 | Temp. | Water Temp. | °C | 15.5 | 15.5 |
| 3 | TDS | Total Dissolved Solid | mg/L | 25000 | 22320 |
| 4 | TSS | Total Suspended Solids | mg/L | 10 | 0.7946 |
| 5 | Turbidity | Turbidity | NTU | 1 | 0.3973 |
| 6 | TOC | Total Organic Carbon | mg/L | 1 | 0.3341 |

افت شدیدی در کیفیت آب خروجی و میزان آب ورودی به واحد اسمز معکوس می‌شود؛ به گونه‌ای که متغیرهای Turbidity، TOC^۱ و TSS^۲ در ورودی اسمز معکوس به ترتیب برابر با ۵/۷۳۷ NTU، ۴/۲۸ mg/L^{-۱} و ۱۶/۴۹ mg/L^{-۱} شده و بسیار برای غشاهای اسمز معکوس نامناسب است که این امر باعث از کنترل خارج شدن واحد و در نهایت خاموشی سامانه می‌شود [۱].

در ادامه شبیه‌سازی فرایند پیش تصفیه آب دریا واحد اسمز معکوس در شرایط وقوع پدیده کشند قرمز در سه روش ذکر شده، در محیط نرم‌افزار GPS-X انجام شد. با توجه به نتایج خروجی نرم‌افزار (جدول (۳)) و پیش‌بینی که بر اساس نتایج تجربی در واحدهای آب شیرین‌کن در خلیج فارس مشاهده شده است، هنگام وقوع پدیده کشند قرمز در روش متداول پیش تصفیه، این واحد به شدت تحت تأثیر ریز جلبک‌های فیتوپلانکتون‌ها قرار می‌گیرد و

جدول ۳. داده‌های ورودی و خروجی شبیه‌سازی شده در سه روش متفاوت.

Table 3 Simulated input and output data in three different methods.

| Item | Spec. | Unit | Inlet Sea Water Data (Red Tide Cond.) | Simulation Output (Typical) | Simulation Output (UF+DMF) | Simulation Output (DAF+DMF) |
|------|-----------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Flow | m ³ /day | 157725 | 131700 | 154600 | 154500 |
| 2 | Temp. | °C | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 3 | TDS | mg/L | 29000 | 28780 | 22800 | 25360 |
| 4 | TSS | mg/L | 37 | 16.49 | 0.413 | 2.318 |
| 5 | Turbidity | NTU | 7 | 5.737 | 1.535 | 0.417 |
| 6 | TOC | mg/L | 7.6 | 4.28 | 1.836 | 0.3827 |

1. Total Organic Carbon

2. Total Suspended Solids

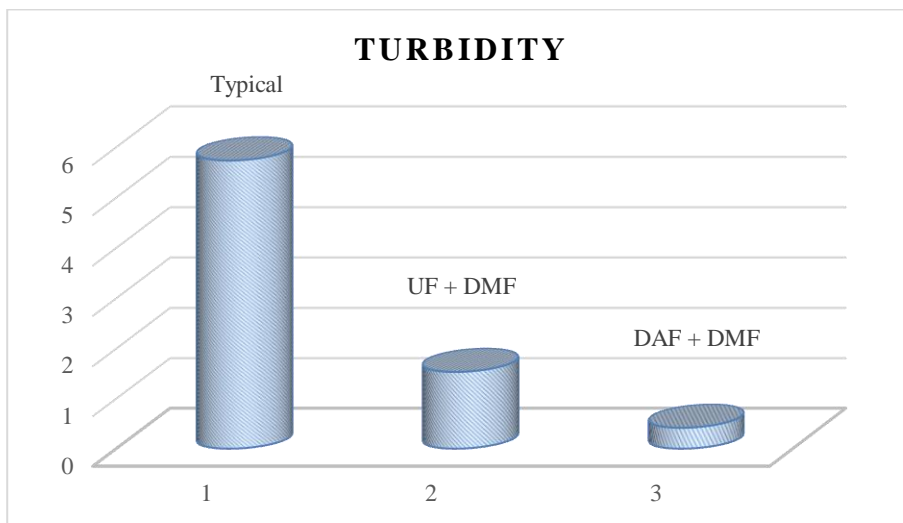
جدول ۴. مقایسه میزان کاهش متغیرهای آب در سه روش پیش‌تصفیه.

Table 4. Comparison of the reduction of water variables in three pretreatment methods.

| Item | Spec. | Unit | Simulation Output (Typical) | Simulation Output (UF+DMF) | Simulation Output (DAF+DMF) |
|------|-----------|------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | TDS | mg/L | 1 % | 21 % | 13 % |
| 2 | TSS | mg/L | 55 % | 99 % | 94 % |
| 3 | Turbidity | NTU | 18 % | 78 % | 94 % |
| 4 | TOC | mg/L | 44 % | 76 % | 95 % |

در فرایند پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس برای شیرین‌سازی آب دریا در هنگام شرایط وقوع کشند قرمز، بهینه‌تر و روش مناسب‌تری برای جایگزینی روش متداول و مرسوم پیش‌تصفیه است؛ به عبارتی بهینه‌سازی فرایند پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس در شرایط کشند قرمز با جایگزینی روش چربی‌گیر (DAF+DMF) نسبت به روش متداول پیش‌تصفیه انجام می‌شود. تأثیر بهینه‌سازی فرایند پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس با دو روش جایگزین در متغیرهای مؤثر کشند قرمز در شکل‌های (۴) و (۵) به صورت ملموس قابل مشاهده است.

مطابق جدول‌های (۳) و (۴) خروجی شبیه‌سازی در شرایط وقوع کشند قرمز در سه روش مذکور مشاهده می‌شود که تأثیر پدیده کشند قرمز در خروجی پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس در دو روش UF+DMF و DAF+DMF کاهش چشمگیری می‌یابد. از سوی دیگر، بر اساس نتایج خروجی شبیه‌سازی نرم‌افزار، متغیرهای کدورت^۱ و TOC در روش استفاده از چربی‌گیر^۲ به ترتیب به میزان ۱۶٪ و ۱۹٪ کارایی بیشتری دارد و در کاهش مؤلفه‌های فوق مؤثرتر است؛ به دلیل این‌که پدیده کشند قرمز بیشتر در متغیرهای کدورت و TOC^۳ تأثیر می‌گذارد [۲۱]، می‌توان چنین استنباط کرد که روش چربی‌گیر (DAF+DMF) نسبت به روش فرآپالایش (UF+DMF)



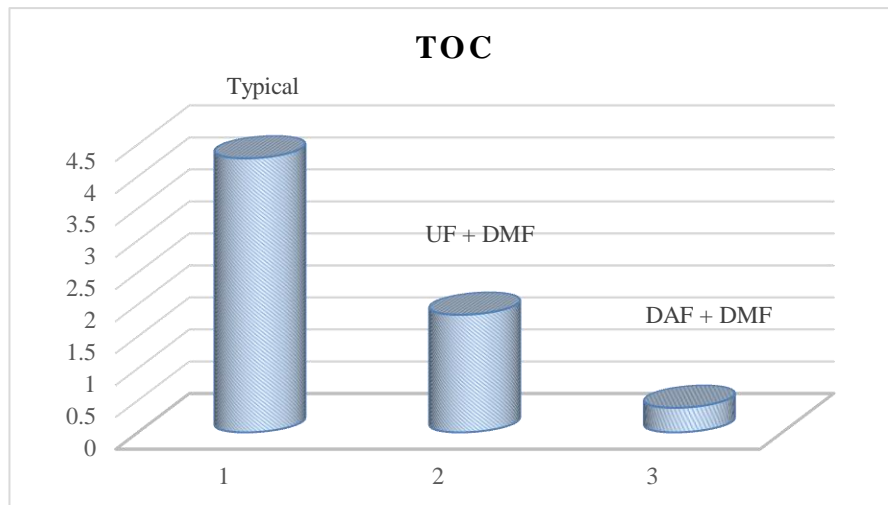
شکل ۴. مقایسه ستونی میزان مؤلفه کدورت در خروجی پیش‌تصفیه با سه روش متفاوت در شرایط کشند قرمز.

Figure 4. Column comparison of turbidity parameter in pretreatment output with three different methods under red tidal conditions.

1. Turbidity

2. DAF

3. Total Organic Carbon



شکل ۵. مقایسه ستونی میزان مؤلفه TOC در خروجی پیش‌تصفیه با سه روش متفاوت در شرایط کشند قرمز.

Figure 5. Column comparison of TOC parameter in pretreatment output with three different methods under red tidal conditions.

به دلیل مقایسه تقریبی مد نظر در ارزیابی انجام گرفته سه روش، از اعداد و ارقام اشاره شده در مراجع مختلف استفاده شد؛ این گونه که در برخی از مراجع، هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری تعدادی از تجهیزات به صورت منحنی‌هایی با متغیر دبی جریان بود که بر اساس دبی آب ذکر شده در جدول (۲)، این هزینه‌ها استخراج شد [۲۲ و ۲۳]. در خروجی شبیه‌سازی نرم‌افزار GPS-X نیز هزینه‌های مربوط به خرید و ساخت پمپ‌ها و پکیج‌های شیمیایی قید شده بود. با در نظر گرفتن موارد و فرضیات بالا، تمامی هزینه‌های تجهیزات و تعمیر و نگهداری سه روش مختلف در جدول (۵) گزارش شده است.

با توجه به بررسی و تحلیل فنی سه روش پیش‌تصفیه فرایند اسمز معکوس، برآورد اقتصادی این سه روش، به بهبود تصمیم‌گیری در انتخاب مناسب روش پیش‌تصفیه و بهینه‌سازی فرایند در شرایط کشند قرمز کمک می‌کند. در ارزیابی اقتصادی این مطالعه به دلیل یکسان بودن برخی از هزینه‌های ثابت (مانند زمین، اخذ مجوز و غیره) و جاری (هزینه‌های تأسیسات و یوتیلیتی و غیره)، از هزینه‌های مشترک چشم‌پوشی شد و سایر هزینه‌ها مقایسه شدند؛ بدین صورت که تنها هزینه‌های مربوط به تجهیزات فرایندی و هزینه تعمیر و نگهداری هر سه روش پیش‌تصفیه ملاک ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۵. ارزیابی تقریبی اقتصادی در سه روش مختلف پیش‌تصفیه.

Table 5. Approximate economic evaluation in three different pre-treatment methods.

| Item | Description | Typical Method (\$) | UF + DMF Method (\$) | DAF + DMF Method (\$) |
|------|----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | Equipment Fixed Cost | 5,939,450 | 12,150,000 | 9,350,000 |
| 2 | Maintenance Cost | 1,171,192 | 2,322,136 | 1,772,196 |
| 3 | Total Cost | 7,110,642 | 14,472,236 | 11,122,196 |

پیش‌تصفیه، چون این غشاهای فناوری بالاتری برخوردارند، اغلب به صورت مدول‌هایی طراحی شده از شرکت‌های سازنده خارجی به کشور وارد می‌شود و هزینه زیادی به واحد تحمیل می‌کند. بنابراین به نظر می‌رسد که هم از نظر اقتصادی و هم از نظر فنی، روش استفاده از چربی‌گیر در فرایند پیش‌تصفیه آب دریا در هنگام وقوع پدیده کشند قرمز، روشی بهینه و مناسب‌تر برای جایگزینی روش متداول است.

مراجع

- [1] Nizamabadi, A. A., Kohan doost, M. N., Moradi, S., "Effects of Red Tide on the performance of Kish Island desalination plant", International Conference on Saline Water Treatment, Abbaspour University, 29 (4) 97-111, In Persian, (2012).
- [2] Sadeghi, M., "Investigation of the role of industrial pollution in the coastal region of Bandar Abbas in increasing marine tides". 11th Marine Industry Conference, Kish Island, In Persian, (2010).
- [3] Guastalli, R., Simon, F. X., Penru, Y., Kerchove, A., Llorens, J., Baig, S., "Comparison of DMF and UF pre-treatments for particulate material and dissolved organic matter removal in SWRO desalination", Desalination, Vol. 322, pp. 144-150, (2013).
- [4] Plantier, S., Castaing, J. B., Sabiri, N. E., Massé, A., Jaouen, P., Pontié, M., "Performance of a sand filter in removal of algal bloom for SWRO pre-treatment", Desal. Water Treat., Vol. 51, pp. 1838-1846, (2013).
- [5] Brehant, A., Bonne'lye, V., Perez, M., "Comparison of MF/UF pretreatment with conventional filtration prior to RO membranes for surface seawater desalination", Desalination, Vol. 144, pp. 353-360, (2002).
- [6] Zhu, I. X., Bates, B. J., "Seawater Desalination Pretreatment for Harmful Algae Blooms Using Dissolved-Air Flotation", IDA J o u r n a l of Desalination and Water Reuse, Vol. 4, pp. 34-37, (2012).
- [7] Remize, P. J., Laroche, J. F., Leparç, J., Schrotter, J. C., "A pilot-scale comparison of granular media filtration and low-pressure membrane filtration for seawater pretreatment, Desalin", Water Treat. Vol. 5, pp. 6-11, (2009).
- [8] Alshahri, A. H., Fortunato, L., Zaouri, N., Ghaffour, N., Leiknes, T., "Role of dissolved air flotation (DAF) and liquid ferrate on mitigation of algal organic matter (AOM) during algal bloom events in RO desalination", Separation and Purification Technology, Vol. 256, p. 117795, (2021).

چنان که در جدول بالا پیداست بررسی ارزیابی تقریبی اقتصادی سه روش پیش‌تصفیه فرایند اسمز معکوس (در میزان دبی آب ذکر شده) نشان می‌دهد که هزینه اجرای روش DAF+DMF، تقریباً ۲۷٪ کمتر از هزینه اجرای روش UF+DMF است.

بنابراین به نظر می‌رسد که برای بهینه‌سازی فرایند پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس در شرایط کشند قرمز، سامانه چربی‌گیر DAF + DMF از جهت ارزیابی اقتصادی نیز نسبت به روش فراپالایش UF+DMF مناسب‌تر است.

با توجه به مطالعات اقتصادی و قابلیت ساخت و اجرای تجهیزات روش بهینه DAF+DMF در داخل کشور، در صورت تأمین بودجه مورد نیاز، می‌توان روش بهینه بالا را به‌عنوان فرایند پیش‌تصفیه در واحدهای شیرین‌سازی آب دریا به روش اسمز معکوس در سواحل خلیج فارس اجرا کرد.

۶. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه بالا را می‌توان در دو دسته ارزیابی فنی و ارزیابی اقتصادی برای فرایند پیش‌تصفیه واحد اسمز معکوس دسته‌بندی کرد:

ارزیابی فنی؛ با توجه به شبیه‌سازی‌های اجرا شده در شرایط کشند قرمز برای فرایند پیش‌تصفیه در سه روش متداول، DAF+DMF و UF+DMF نتایج حاکی از آن بود که میزان حذف متغیر TOC در روش متداول ۴۴٪ و در دو روش بهینه‌سازی شده مذکور به ترتیب ۹۵٪ و ۷۶٪ به دست آمد. هم‌چنین میزان حذف مؤلفه کدورت در روش متداول ۱۸٪ و در دو روش بهینه‌سازی شده مذکور به ترتیب ۹۴٪ و ۷۸٪ حاصل شد. با توجه به شبیه‌سازی، روش استفاده از چربی‌گیر در هنگام وقوع پدیده کشند قرمز پایداری بیشتری از خود نشان داد و خروجی این روش پیش‌تصفیه برای شیرین‌سازی آب دریا در واحد اسمز معکوس مناسب‌تر است.

ارزیابی اقتصادی؛ بر اساس ارزیابی تقریبی اقتصادی انجام گرفته برای سه روش پیش‌تصفیه بالا، نتایج نشان می‌دهد که روش DAF+DMF به‌عنوان یکی از روش‌های جایگزین روش مرسوم، ۲۷٪ هزینه کمتری نسبت به روش جایگزین UF+DMF دارد.

از سوی دیگر با توجه به این که چربی‌گیر یک تجهیز مکانیکی است، می‌توان این تجهیز را در داخل کشور طراحی کرد و ساخت؛ این در حالی است که برای استفاده از غشاهای فراپالایش در فرایند

- [9] Mahmudi, M., Serihollo, L. G., Herawati, E. Y., Lusiana, E. D., Buwono, N. R., "A count model approach on the occurrences of harmful algal blooms (HABs) in Ambon Bay", *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, Vol. 46, pp. 347-353, (2020).
- [10] Chen, C., Wang, Y., Chen, K., Shi, X., Yang, G., "Using hydrogen peroxide to control cyanobacterial blooms: A mesocosm study focused on the effects of algal density in Lake Chaohu, China", *Environmental Pollution*, Vol. 272, p. 115923, (2021).
- [11] Qi Li, P. G., Zhang, W., Zheng, Z., Luo, X., "Effects of different metal ions (Ca, Cu, Pb, Cd) on formation of cyanobacterial blooms", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 189, p. 109976, (2020).
- [12] Oh, H., Hong Kang, S., Kim, E. J., Hwang, T. M., "CFD modelling of cyclonic-DAF (dissolved air flotation) reactor for algae removal", *Engineering Science and Technology*, Vol. 22, pp. 477-481, (2019).
- [13] Wang, F. B., "A PDE system modeling the competition and inhibition of harmful algae with seasonal variation", *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, Vol. 25, pp. 258-275, (2015).
- [14] Berktaş, A., "Environmental Approach and Influence of Red Tide to Desalination Process in the Middle East Region", *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, Vol. 2, pp. 183-188, (2011).
- [15] Vafaie, F., Yeganeh, B., "Study of harmful algal blooms (red tide) on the coast, causes and control strategies", *Second International Symposium on Environmental Engineering*, Khajeh Nasir al-Din Tus University, In Persian, (2009).
- [16] Manshouri, M., Yeganeh, S. T., "Investigation of the causes of the occurrence of red tide and its control in the waters of the Persian Gulf", *Twelfth National Conference on Environmental Health of Iran*, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, In Persian, (2009).
- [17] Weinrich, L., "Tampa Bay, Florida (USA) – Non-Toxic Algal blooms and Operation of The SWRO Plant Detailing Monitoring Program for Blooms", *American Water*, Voorhees, NJ, USA. (2016).
- [18] Lee, Y.G., Kim, S., Shin, J., Rho, H., Lee, Y., Kim, Y., Park, Y., Oh, S. E., Cho, J., Cjon, K., "Fouling behavior of marine organic matter in reverse osmosis membranes of a real-scale seawater desalination plant in South Korea", *Desalination*, Vol. 485, p. 114305, (2020).
- [19] Villacorte, L. O., "Algal Blooms and Membrane Based Desalination Technology", First Edition, CRC Press/Balkema, pp. 156-184, (2014).
- [20] Schurer, R., Tabatabai, S. A., Villacorte, L. O., Schippers, J. C., Kennedy, M. D., "Three years operational experience with ultrafiltration as SWRO pre-treatment during algal bloom", *Desalination and Water Treatment*, Vol. 51, pp. 1034-1042, (2013).
- [21] Villacorte, L. O., Tabatabai, S. A., Anderson, D. M., Amy, G. L., Schippers, J. C., Kennedy, M. D., "Seawater reverse osmosis desalination and (harmful) algal blooms", *Desalination*, Vol. 360, pp. 61-80, (2015).
- [22] Voutchkov, N., "Seawater Desalination-Costs and Technology Trends". First Edition, Water Globe Consulting, Stamford, pp. 2-8, (2013).
- [23] "Construction cost data presented in this section 8 from EPA reports", (U. S. EPA, 1980c; U.S. EPA, 1999, 2000a, 2006)