

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۳ (۱۴-۱)

مقایسه دو روش پیش تصفیه متداول و غشا اولترافیلتر آب شیرین کن های آب دریا به روش اسمز معکوس

ویدا پسرکلو^۱

امیر حسام حسنی^{*۱}

ahhassani@srbiau.ac.ir

ولی علیپور^۲

امیر حسین جاوید^۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۴

چکیده

زمینه و هدف: بر اساس آمار سازمان جهانی بهداشت مبنی بر کمبود شدید آب در بسیاری از کشور های دنیا، تامین آب منوط به استفاده از منابع موجود میباشد و در حال حاضر نمک زدایی از آب دریا و اقیانوس ها تنها راه حل تامین آب مصرفی جوامعی هستند که به این منابع آبی دسترسی دارند. شیرین سازی آبهای شور با دو روش حرارتی و غشایی قابل انجام میباشد و تحقیقات نشان داده است که بهره گیری از تکنولوژی غشایی راه کار مناسب تری به لحاظ اقتصادی و زیست محیطی در برطرف نمودن این بحران می باشد. در این مطالعه، مقایسه ای بر عملکرد پیش تصفیه متداول و پیش تصفیه غشایی قبل از نمک زدایی آب دریا به روش اسمز معکوس انجام شد. آب ورودی به غشاهای اسمز معکوس باید از نظر کدورت و دیگر شاخص های مهم در گرفتگی غشا، دارای کیفیت مناسب باشد.

روش بررسی: روش مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل طرح ها شامل شاخص های فنی است. در این مطالعه از دو مدل، فرایند پیش تصفیه آب ورودی به سیستم های اسمز معکوس، نمونه هایی دریافت شد. این نمونه ها شامل: ۱- پیش تصفیه متداول ۲- پیش تصفیه UF بودند. جهت انجام بررسی، در مدت زمان یک سال از سایت آب شیرین کن منطقه اقتصادی ویژه در منطقه صنعتی شهر بندر عباس در حاشیه خلیج فارس نمونه ها برداشت شده و پارامترهای کدورت و شاخص SDI_{15} ، دما و میزان آبدهی غشاء، در آب ورودی (دریا) و آب خروجی از پیش تصفیه مورد آنالیز قرار گرفت و روی نتایج حاصل از آن، جهت ارزیابی نهایی بحث گردید.

۱- گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران* (مسئول مکاتبات)

۲- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.

- 3- conventional pretreatment
- 4- Membrane pretreatment
- 5- ultrafiltration
- 6- turbidity
- 7- SILT DENSITY INDEX

یافته ها: میانگین شاخص چگالی سیلت طی مدت زمان مورد مطالعه توسط سیستم های متداول (بخشهایی از آلاینده ها از جمله عوامل بیولوژیک، جامدات معلق و سایر مواد حذف شده و طی فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی، عملیات ته نشینی، فیلتراسیون، ضد عفونی، فیلترشن و ماسه، آب تصفیه می شود) و UF به ترتیب ۵/۵ و ۱/۵ بود/SDI آب ورودی به سیستم اسمز معکوس باید پایین تر از ۵ باشد، که در روش تصفیه متداول کمی بالاتر از حد مجاز بود که استفاده از فیلتر کارتریج می تواند این مشکل را حل نماید. مقدار متوسط کدورت پس از پیش تصفیه متداول ۰/۹۷ NTU و انحراف معیار استاندارد برای آب دریا و فیلتر شده به ترتیب برابر با ۰/۱۴ و ۰/۰۹ است. مقدار متوسط کدورت پس از الترافیلتراسیون ۰/۳۵ NTU و انحراف معیار استاندارد برای آب دریا و فیلتر شده به ترتیب برابر با ۰/۲۶ و ۰/۱۰ است. همینطور رابطه معناداری بین دما و میزان آبدهی در هر دو روش فیلتراسیون وجود داشت.

بحث و نتیجه گیری: از نتایج به دست آمده ازین مطالعه نتیجه گیری می شود که پیش تصفیه مبتنی بر غشاء یک جایگزین فن آوری مناسب برای روش متداول است. پیش تصفیه مبتنی بر غشاء می تواند به جای فرآیند پیش تصفیه متداول به طور موفقیت آمیزی جایگزین گردد.

واژه های کلیدی: اسمز معکوس اولترافیلتراسیون، پیش تصفیه، گرفتگی غشا.

Comparison between two conventional pretreatment methods and ultrafilter membrane of sea water desalination by reverse osmosis method

Vida Pesarakloo¹

Amir Hessam Hasani^{1*}

ahhassani@srbiau.ac.ir

Vali Alipour²

Amir Hossein Javid¹

Admission Date: December 6, 2023

Date Received: February 3, 2023

Abstract

Background and Objective: According to the statistics of the World Health Organization regarding the severe shortage of water in many countries of the world, water supply depends on the use of existing resources, and currently, desalination of sea water and oceans is the only solution to supply water for communities that are Water resources are accessible. Desalination of salt water can be done with two thermal and membrane methods, and research has shown that using membrane technology is a more efficient way to solve this crisis economically and environmentally. In this study, a comparison was made on the performance of conventional pre-treatment and membrane pre-treatment before desalination of sea water by reverse osmosis method. The water inlet the reverse osmosis membranes must be of suitable quality in terms of turbidity and other important indicators of membrane fouling.

Material and Methodology: The method used to analyze plans includes technical indicators. In this study, two pretreatment systems were sampled. These examples are: (1) conventional pretreatment (2) UF pretreatment. Based on this, in the pilots used for a period of one year, the water quality in the inlet and outlet sections such as turbidity and SDI₁₅ were analyzed and the results were discussed for the final evaluation.

Findings: The average SDI₁₅ index of filtrate during the study time provided by the conventional and UF systems were 5.5 and 1.5 respectively. The required level for reverse osmosis should not exceed SDI₁₅ of 5. which was slightly higher than the appropriate level in the conventional purification method, thus the use of a cartridge filter can solve this problem. The average value of turbidity after conventional pre-treatment was 0.97 NTU and the standard deviation of turbidity for sea water and filtered is 0.14 and 0.09, respectively. The average value of turbidity after ultrafiltration was 0.35 NTU and the standard deviation for seawater and filtered water is 0.26 and 0.10, respectively. There is a significant correlation between temperature and water yield in both filtration methods.

Discussion and Conclusion: From the results obtained from this study, it can be concluded that membrane-based pretreatment is a suitable technological alternative to the conventional method. Membrane-based pretreatment can successfully replace the conventional pretreatment process.

Keywords: Membrane fouling, pretreatment, reverse osmosis, ultrafiltration.

1- Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. *(Corresponding Author)

2- Environmental Health Engineering Department, School of Health, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandaraabbas, Iran.

مقدمه

به گزارش سازمان ملل بیش از ۷۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان از بی آبی رنج میبرند و تا سال ۲۰۲۵ تعداد این افراد به بالای سه میلیارد نفر افزایش خواهد یافت. به دلیل رشد جمعیت و کمبود منابع محدود آب شیرین، امروزه از هر سه نفر در جهان یک نفر به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارد. بنابراین، برای حل این نگرانی جهانی لزوم ارائه یک راه حل فوری ضروری میباشد (۱، ۲). تأمین آب سالم و پایداری که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد، در شرایط کنونی منوط به استفاده از منابع موجود می باشد. در مناطق با دسترسی آب محدود، و دارای آب و هوای خشک، استفاده از آب دریا بهترین راه حل، برای برطرف نمودن نیاز آبی به نظر میرسد (۳). تامین نیازهای آبی، به شیوه ای مقرون به صرفه، کارآمد و سازگار با محیط زیست مستلزم ترکیب صحیح انرژی های تجدیدپذیر و فناوری نمک زدایی است (۴). به طور کلی استفاده از آب های شور دریا که برای مصارف صنعتی، بهداشتی و شرب مستلزم نمک زدایی و شیرین سازی میباشد، توسط دو تکنولوژی غشایی و حرارتی صورت می گیرد. بهره گیری از تکنولوژی نمک زدایی حرارتی، که معمولاً با روش تقطیر چند اثره یا تقطیر چند مرحله ای صورت می پذیرد، جداسازی آب و نمک با تبخیر آب دریا و متراکم کردن بخار آن انجام می گردد (۵). تبخیر آب، نیازمند مصرف انرژی بالایی جهت تامین حرارت میباشد که برای شکستن پیوند بین آب و نمک نیاز دارد و دلیل آن گرمای ویژه بالای آب میباشد (۶). به منظور کاهش مصرف انرژی و اقتصادی تر نمودن فرایند نمک زدایی، روشهای مناسب تر و مقرون به صرفه تری جهت تامین آب و مخصوصاً شیرین سازی آنها در حال بهره برداری میباشد (۴). در حال حاضر تحقیقات نشان داده که استفاده از غشاء و افزایش بهره وری از فن آوری های آنها باعث شده است که نمک زدایی از آبهای شور، به عنوان یک راه حل برای برطرف نمودن چالش پراهمیت هزینه و انرژی، بین عرضه و تقاضای جهانی آب پذیرفته شود (۷-۹). در حال حاضر استفاده از چهار نوع غشا، به طور گسترده در تصفیه آب آشامیدنی متداول و در دسترس استفاده طراحان تصفیه خانه ها میباشد، که این روش ها شامل میکروفیلتر (MF)، اولترافیلتر (UF)، نانوفیلتر و اسمز معکوس (RO) است (۱۰). به منظور

نمک زدایی کامل آب شور در روشهای غشایی، از سیستم اسمز معکوس (RO) (تکامل یافته ترین تکنولوژی غشایی برای نمک زدایی) استفاده می شود (۱۱). غشاء اسمز معکوس جز نانو فیلترها میباشد و در این روش، آب شور با اعمال فشار از یک غشاء نیمه تراوا عبور کرده و املاح و نمک های آن بر سطح فیلتر باقی میماند و آب شیرین از مرکز و یا سطح غشاء جمع آوری می گردد (۱۲). املاح و گل و لای موجود در آب ورودی و خام، بروی غشا سبب ایجاد گرفتگی فیلتر در سیستم ها گردیده و به مرور زمان، فشار مورد نیاز برای عبور آب از غشاء افزایش و شار آب خروجی از سیستم کاهش می یابد که در نتیجه سبب کاهش راندمان شده و نیاز به تمیز کردن و یا حتی تعویض غشا و افزایش هزینه بهره برداری را به دنبال خواهد داشت (۱۱، ۱۳). به منظور جلوگیری از گرفتگی غشاء توسط املاح و ناخالصی های موجود در آب ورودی به روی غشاء، وجود یک سیستم پیش تصفیه کارآمد، جهت پایین آوردن کدورت، کاهش بار میکروارگانیسم ها، آلاینده های کلونیدی، کل مواد جامد محلول و شاخص چگالی سیلت آب خام دریا به سطحی قابل قبول ضروری میباشد (۱۴). فرآیندهای پیش تصفیه مورد استفاده، که به صورت عمده مورد توجه واقع می گردد شامل سیستم پیش تصفیه متداول و سیستم غشایی است. تکنیک های رایج پیش تصفیه متداول شامل انعقاد لخته سازی، شناورسازی با هوای محلول فشرده (DAF)، کنترل رسوب، حذف سختی توسط آهک و حذف ذرات منعقد شده، توسط فیلترهای شنی و یا دانه ای میباشد (۱۳). استفاده از نمک های آهن و روشهای کوآگولاسیون متداول، در سیستم های پیش تصفیه باعث کاهش ذرات کلوییدی و آلی می گردد و پدیده گرفتگی غشا را به تاخیر می اندازد (۱۵). پس از تصفیه متداول، جهت بهبود وضعیت آب، استفاده از غشاء به صورت مستقیم و یا در خط صورت می پذیرد. طراحی و انتخاب نوع روش پیش تصفیه کاملاً به کیفیت آب ورودی بستگی دارد. در بین غشاها، اولترافیلتراسیون (UF)، سالهاست که به طور گسترده در تصفیه فاضلاب های شهری و صنعتی بسیار آلوده استفاده می شود. UF در تأسیسات نمک زدایی آب دریا به خصوص برای تصفیه آب دریا و بهبود کیفیت آب ورودی به سیستم های اسمز معکوس

می توان در پیش تصفیه آب ورودی به این سیستم ها با بازده نسبتاً قابل قبولی استفاده گردد (۱۶).

مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که UF برای حذف ذرات معلق، کلوئیدها، مولکول های درشت و جلبک ها و باکتریها موثر است، برای جلوگیری از گرفتگی غشاهای نانو و اسمز معکوس

جدول ۱- راهنمای مقادیر قابل قبول پارامتر های آب ورودی به سیستم تصفیه RO (Voutchkov, 2010. Desormeaux et al., 2011, Tiraferri et al., 2012)

Table 1. Guide to acceptable values of parameters of in put water to RO system) (Voutchkov, 2010. Desormeaux et al., 2011, Tiraferri et al., 2012)

شاخص	حداکثر میزان پیشنهاد شده	تصمیم در مورد پیش تصفیه
اندیس چگالی سیلت (SDI_{15})	۳	مقادیر SDI می تواند نوع غشاء مورد استفاده جهت آزمایش و کیفیت آب تغذیه (کدورت) را تحت تاثیر قرار دهد. سطح SDI آب دریا در اندازه گیری های متوالی زیر ۲ معمولاً نشان می دهد که پیش تصفیه اضافی دیگری مطرح نمیشود.
کدورت	$0.5 NTU$	به طور معمول NTU برابر 0.1 درآبگیر باز توصیه می شود.
کل کربن آلی (TOC)	$2 mg/L$	اگر کل کربن آلی کمتر از 0.5 میلی گرم در لیتر باشد، امکان رسوب زیستی کم و برای بیش از 2 میلی گرم در لیتر، رسوب زیستی مطرح می باشد.
آهن	$0.2 mg/L$	اگر آهن احیا شده در آب ورودی وجود داشته باشد، غشاهای $SWRO$ می توانند تا 2 میلی گرم در لیتر را تحمل کنند/ اگر آهن به شکل اکسید شده باشد، در غلظت های بیشتر از 0.5 میلی گرم در لیتر امکان ایجاد رسوب با سرعت بیشتر مطرح می باشد.
منگنز	$0.05 mg/L$	وجود منگنز به شکل احیا شده، در غشاهای $SWRO$ تا غلظت 0.1 میلی گرم در لیتر قابل تحمل بوده و در غلظت بیش از 0.2 میلی گرم در لیتر باعث ایجاد رسوب سریع می شود.
سیلیس	$20 mg/L$	اگر غلظت بالاتر از 20 میلی گرم در لیتر باشد، سیلیس کلوئیدی باید مورد آنالیز قرار گیرد.
کلر آزاد	$0.1 mg/L$	غلظت های بالاتر از 0.1 میلی گرم در لیتر کلر آزاد، باعث آسیب غشای RO می شود.
روغن و گریس	$0.1 mg/L$	غلظت های بالاتر از 0.2 میلی گرم در لیتر روغن و گریس، باعث سرعت ایجاد رسوبات آلی می شود.

طراحی شده باشد، میزان کدورت و TSS در خروجی کاهش خواهد یافت (۱۷). جمالی و همکاران در سال ۲۰۱۴ تحقیقاتی در مورد تجهیزات پیش تصفیه کن ها و به کار گیری آنها در پیش تصفیه آب های RO بدون ارزیابی در عوامل موثر در انتخاب آنها داشتند. آنها به این نتیجه دست یافتند که برای تولید کیفیت بهتر آب و در به حداقل رساندن هزینه کلی و تصفیه کارآمدتر، واحدهای پیش تصفیه غیر متعارف از سیستم های معمولی

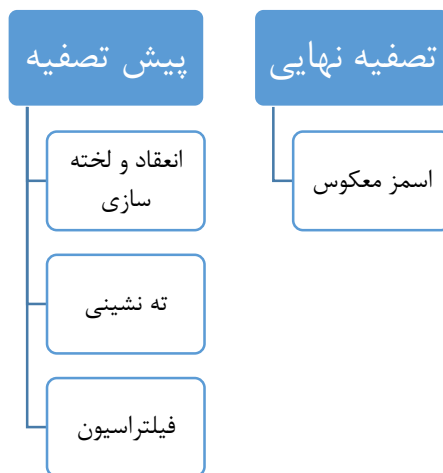
در مطالعه ای که کاویتا و همکارانش در سال ۲۰۱۹ در مقایسه ای بر روش های متداول و غشایی در پیش تصفیه اسمز معکوس داشتند، مزایا و معایب آنها را بررسی نمودند (۱۴) در مطالعات $Millan$ و همکارانش در سال ۲۰۱۵ و مقایسه ای که بین دو روش پیش تصفیه متداول و غشا اولترافیلتر انجام دادند، اثبات نمود که در مواردی که SS و کدورت آب ورودی بالاتر از حد مجاز باشد و سیستم مورد بهره برداری بر پایه روشهای غشایی

کن‌های دارای سامانه پیش تصفیه متداول (شسناور سازی با هوای محلول، انعقاد، ته نشینی، فیلتر دو بستره) می‌باشد و به موازات آن دارای یک سیستم اولترافیلتراسیون است. به منظور انجام تحقیق در ابتدا و انتهای هر شیفتم نمونه برداری‌هایی صورت پذیرفته و بازه زمانی از ابتدای سال ۱۴۰۰ تا پایان سال و سه روز از هفته (ابتدا، وسط و انتهای هفته) از ورودی و خروجی هر دو روش مورد مطالعه اخذ گردید که تعداد آنها در هر هفته ۲۴ نمونه برای هر دوروش بود. با توجه به احتمال وجود تغییرات فصلی در آب دریا از تمامی ماه‌ها و در بازه زمانی یکسال حدود ۱۲۰۰ نمونه برداشت شد و روی هر نمونه آزمایش‌های کدورت، *SDI*، انجام گردید. نمونه برداری با استفاده از ظروف پلاستیکی (۵۰۰ میلی لیتری) و در خروجی هر فرآیند انجام گرفت. مقدار کدورت طبق استاندارد شماره ۱۰۵۳ و مقدار شاخص چگالی سیلت بر اساس استاندارد *ASTM D 4189-82* انجام شد.

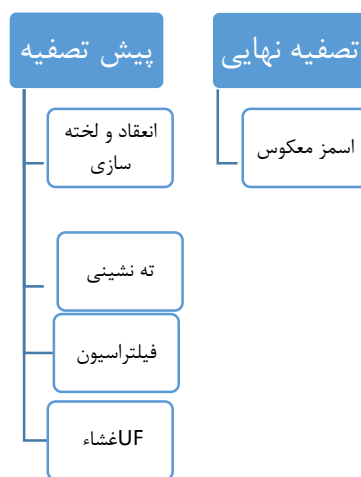
مناسب تر بودند (۱۸) با توجه به هزینه های بالای تعویض غشاهای اسمز معکوس و در نهایت قیمت آب تمام شده در واحد، استفاده از فرایندهای پیش تصفیه مناسب منجر به دستیابی به محصول با کیفیت بهتر و هزینه های پایین تری می گردد. برای تصمیم گیری در انتخاب نوع سیستم های پیش تصفیه، لازم است تا شرایط فنی و اقتصادی هر فرآیند مورد بررسی قرار گرفته و فرایندی مناسب و بهینه مورد بهره برداری قرار گیرد. هدف از انجام این مطالعه بررسی و مقایسه دو روش پیش تصفیه آب شیرین کن های آب دریا به روش اسمز معکوس می باشد و کارایی هر یک از نظر پارامترهای کلیدی وضعیت آب، برای ورود به سیستم *RO* بررسی گردیده است.

مواد و روش ها

در این مطالعه از دو روش پیش تصفیه جهت ارزیابی فنی آن ها در نمک زدایی از آب دریا به روش اسمز معکوس استفاده شده است. محیط کار این تحقیق در جغرافیای غرب شهر بندر عباس واقع در استان هرمزگان، ایران و در منطقه اقتصادی ویژه صنعتی می باشد. سایت مورد بررسی، یکی از آب شیرین



فرآیند شماره ۱



فرآیند شماره ۲

شکل ۱- فرآیندهای پیش تصفیه مورد مطالعه

Figure 1. The studied pretreatment processes

جدول ۲- مشخصات کلی غشای UF مورد استفاده در روش پیش تصفیه

Table 2. General characteristics of the UF membrane used in the pre-treatment pilot

پارامتر	مقدار
فشار (بار)	۰/۲ - ۰/۸
جریان (m ³ /h)	۲/۳۵
نوع بهره برداری	جریان عرضی (Crossflow)
جهت جریان	از بیرون به درون
اندازه حفرات غشا (میکرومتر)	۰/۰۱
جنس غشا	مشتقات استات سلولز

همچنین، این شاخص به شرح زیر تفسیر می شود:

- SDI کمتر از ۱ = واحد اسمز معکوس چند سال بدون گرفتگی کلوییدی
- SDI کمتر از ۳ = نیاز به شستشوی ممبران ها با فاصله چند ماه
- SDI کمتر از ۵ = نیاز واحد به شستشوی دوره ای و گرفتگی مکرر
- SDI بیشتر از ۵ = غیر قابل قبول برای واحد اسمز معکوس

کدورت توسط دستگاه MD600 از شرکت lovibond با کد ۳۸۶ پس از انجام مراحل کالیبراسیون دستگاه و صفر کردن دستگاه با آب دیونایز و سپس آماده سازی نمونه، با دستگاه مذکور

برای اندازه گیری SDI ، آب را با فشاری معادل ۲/۱ بار یا psi ۳۰ از فیلتر ۰/۴۵ میکرونی استاندارد عبور داده و زمان پر شدن یک حجم معین (مثلاً ۵۰۰ سی سی) را در ابتدای اندازه گیری و در مرحله دوم پس از ۱۵ دقیقه عبور آب از فیلتر اندازه گیری گردید. طبیعی است که زمان دوم، به دلیل گرفتگی فیلتر، از زمان نخست طولانی تر بود. سپس دو زمان به دست آمده را در واحد ثانیه در فرمول زیر قرار داده تا مقدار پارامتر محاسبه گردد:

$$SDI = (1 - T_0/T_{15}) \times (100/15)$$

- T_0 : زمان صرف شده اول برای پر کردن ظرف نیم لیتری
- T_{15} : زمان صرف شده بعد از ۱۵ دقیقه برای پر کردن ظرف نیم لیتری

تحلیل آماری این مطالعه از نرم افزار *SPSS* ورژن ۲۸ استفاده شده است.

مقدار آبدهی غشا در فرایند الترافیلتراسیون

میزان آبدهی غشای الترافیلتر می تواند بعنوان شاخصی کلیدی در ارزیابی کارایی و موفقیت یک فرآیند الترافیلتر مورد ارزیابی قرار گیرد. مهم ترین پارامتر در غشاها، نفوذپذیری آن ها می باشد. این ضریب برای فیلترهای *UF* برای فرآیندهای پیش تصفیه آب شور در حدود $75-500 \text{ Lmh/bar}$ یا $5-20 \text{ gfd/Psi}$ است/ این ضریب در 1 gfd/psi 25 lmh/bar اندازه گیری می شود.

یافته ها

ویژگی های کیفیت آب قبل از ورود به سیستم پیش تصفیه

بر حسب واحد *NTU* اندازه گیری شد. مقدار *pH* توسط دستگاه *MD600* از شرکت *lovibond* با کد ۳۳۰ و در رنج ۴ و ۷ پس از انجام مراحل کالیبراسیون دستگاه و صفر کردن آن و سپس آماده سازی نمونه توسط قرص فنل رد، با دستگاه مذکور اندازه گیری گردید. به منظور بررسی نرمال بودن داده ها از آزمون اسمرینوف- کلموگراف استفاده شده است. پس از اطمینان نرمال بودن داده ها، به منظور تعیین معنی دار بودن تفاوت های آماری در سطح معنی داری $P < 0.05$ از آزمون *T-Student* و *Anova* استفاده شده است. در مواردی جهت تعیین ارتباط و وابستگی بین متغیرها از آزمون پیرسون استفاده شده و برای

جدول ۳- ویژگی های مورد بررسی آب دریا در ماه های مختلف سال انجام تحقیق

Table 3. Characteristics of sea water investigated in different months of the research year

زمان	ورودی <i>SDI</i>	کدورت (<i>NTU</i>)	دما
۱-۱۴۰۰	۱۴/۱	۱۰/۶	۲۵/۳
۱-۱۴۰۰	۱۴/۲	۶/۳	۲۶/۰۱
۱-۱۴۰۰	۱۵	۷/۲	۲۶/۳
۲-۱۴۰۰	۱۵/۸	۶/۴	۲۷/۹
۲-۱۴۰۰	۱۷	۷/۷	۲۸/۳
۲-۱۴۰۰	۱۸/۸	۷	۲۹/۹
۲-۱۴۰۰	۱۷	۶/۴	۳۱/۷
۳-۱۴۰۰	۱۲/۲	۶/۹	۳۲/۱
۳-۱۴۰۰	۱۴/۳	۶/۹	۳۴/۹
۳-۱۴۰۰	۱۵	۷/۹	۳۵/۷
۳-۱۴۰۰	۱۵/۵	۷/۵	۳۶/۱
۴-۱۴۰۰	۱۷	۹/۱	۳۶/۵
۴-۱۴۰۰	۱۸/۳	۱۱/۶	۳۵/۹
۴-۱۴۰۰	۱۷	۱۰/۵	۳۵
۵-۱۴۰۰	۱۱	۱۱/۷	۳۶/۲
۵-۱۴۰۰	۱۲/۱	۱۰/۶	۳۵/۸
۵-۱۴۰۰	۱۲/۱	۸/۶	۳۵/۴
۶-۱۴۰۰	۱۶/۳	۹/۳	۳۵/۲

۳۵/۳	۶/۷	۱۵/۸	۶-۱۴۰۰
۳۵	۶/۳	۱۳	۶-۱۴۰۰
۳۴/۸	۵/۵	۱۳	۷-۱۴۰۰
۳۵/۵	۶/۶	۱۳	۷-۱۴۰۰
۳۵/۱	۵/۹	۱۴/۱	۷-۱۴۰۰
۳۳/۸	۶/۸	۱۵	۸-۱۴۰۰
۳۳/۱	۹/۲	۱۴/۵	۸-۱۴۰۰
۳۱/۷	۷/۹	۱۴/۸	۸-۱۴۰۰
۳۱/۶	۸/۴	۱۴/۵	۹-۱۴۰۰
۳۰/۲	۸/۶	۱۸	۹-۱۴۰۰
۲۹/۳	۸/۶	۱۶/۳	۹-۱۴۰۰
۲۷/۳	۷/۲	۱۵/۸	۹-۱۴۰۰
۲۷	۷	۱۵/۸	۱۰-۱۴۰۰
۲۵/۱	۶/۵	۱۴/۵	۱۰-۱۴۰۰
۲۳/۸	۴/۸	۱۵/۷	۱۰-۱۴۰۰
۲۲/۱	۵/۱	۱۵/۵	۱۰-۱۴۰۰
۲۱	۱۱	۱۳/۸	۱۱-۱۴۰۰
۲۰/۴	۸/۷	۱۴/۵	۱۱-۱۴۰۰
۲۱/۴	۸/۷	۱۵	۱۱-۱۴۰۰
۲۱/۲	۸/۳	۱۵	۱۱-۱۴۰۰
۲۱	۸/۴	۱۴/۵	۱۲-۱۴۰۰
۱۹/۸	۵/۳	۱۵	۱۲-۱۴۰۰
۲۰/۹	۴/۶	۱۸/۸	۱۲-۱۴۰۰

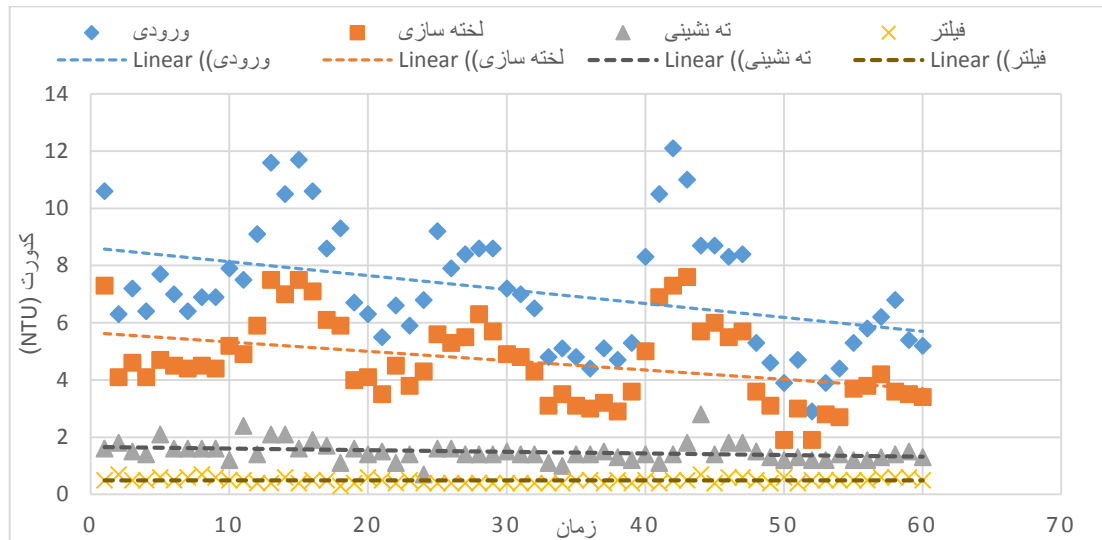
ویژگی های کیفی آب پس از پیش تصفیه متداول

ویژگی کدورت و SDI_{15} و برآورد میزان کاهش آنها توسط روش مورد نظر صورت می گیرد.

کدورت در سیستم تصفیه متداول

مقادیر کدورت (برای آب دریا و آب بعد از تصفیه متداول) در شکل ۲ نشان داده شده است.

با توجه به داده های جدول ۳، مشخص می گردد کیفیت آب ورودی در طول یکسال تغییرات محسوسی نداشته و طراحی فیلترها برای تمام ماه های فصول سال به صورت نسبی دارای شرایط یکنواختی خواهد بود. برای طراحی یک سیستم پیش تصفیه آب دریای خلیج فارس، با بررسی در فصل پاییز یا زمستان میتوان طراحی مناسبی انجام داد. این ارزیابی بر اساس کمی سازی



شکل ۲- مقادیر کدورت در آب دریا و بعد از پیش تصفیه متداول

Figure 3. Turbidity values in seawater after conventional pretreatment

پیش تصفیه مبتنی بر غشاء الترفیلترایسیون (UF) قبل

از RO

واحد UF در روش مورد مطالعه، متشکل از دو ماژول غشایی UF فیبر توخالی است که روی یک اسکید قابل حمل نصب شده‌اند. اسکید از فایبرگلاس و فولاد تقویت شده ساخته شده است و می‌توان آن را با کامیون حمل کرد. این یک واحد مستقل است که شامل تمام اجزای مورد نیاز برای بهره برداری، واحد اتصال به آب خام، زهکشی، آب شستشوی معکوس و برق متصل است.

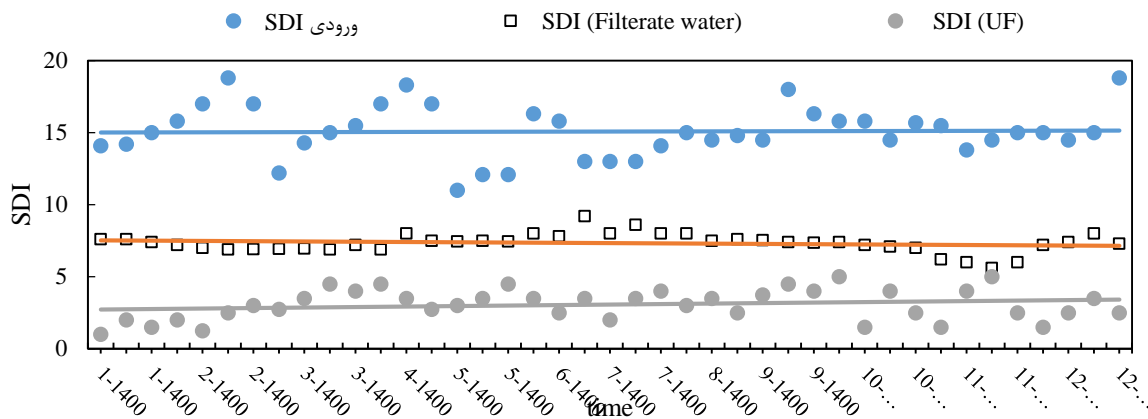
شاخص SDI_{15} برای فیلتر UF

مقادیر شاخص SDI_{15} برای آب دریا و آب پس از پیش تصفیه در شکل ۳ نشان داده شده است.

مقدار متوسط کدورت پس از پیش تصفیه NTU ۰/۹۷ است. انحراف معیار استاندارد برای آب دریا و فیلتر شده به ترتیب برابر با ۰/۱۴ و ۰/۰۹ است. خطوط رگرسیون نقاط در هر مرحله از پیش تصفیه رسم گردیده است.

شاخص چگالی سیلت (SDI_{15})

مقادیر شاخص SDI_{15} برای آب دریا و آب پس از پیش تصفیه متداول در شکل ۳ نشان داده شده است. مقدار اولیه شاخص SDI_{15} قبل از پیش تصفیه متداول ۱۵/۱۷ و مقدار متوسط شاخص SDI_{15} بعد از پیش تصفیه ۷/۵ است. انحراف استاندارد، برای آب دریا و فیلتر شده به ترتیب برابر با ۱/۲۷ و ۰/۳۴ است. (برای مقایسه بهتر، نمودار آن با نمودار شاخص SDI_{15} اولترافیلترایسیون و بارسم خط رگرسیون داده‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است).

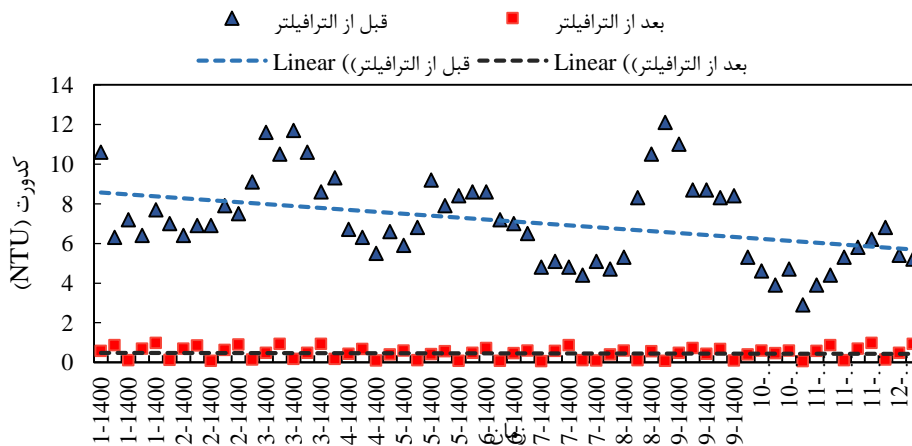


شکل ۳- مقادیر SDI_{15} در آب ورودی و بعد از الترافیلتراسیون و تصفیه متداول

Figure 3. SDI_{15} values in inlet water and after ultrafiltration and conventional pretreatment

مقدار اولیه شاخص SDI_{15} قبل از تصفیه توسط الترافیلتر ۱۵/۴ و مقدار متوسط شاخص SDI_{15} بعد از فیلتر الترا ۳/۵ است. انحراف استاندارد، برای آب دریا و فیلتر شده به ترتیب برابر با ۱/۱۷ و ۰/۳۹ است.

مقادیر کدورت (برای آب ورودی به غشاء و بعد از عبور از فیلتر الترا) در شکل ۴ نشان داده شده است.

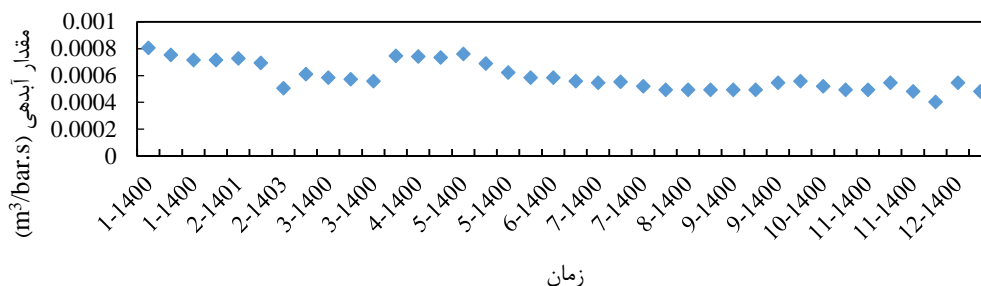


شکل ۴ - مقادیر کدورت در آب قبل و بعد از فرآیند الترافیلتراسیون

Figure 4. Turbidity values in water before and after the ultrafiltration process

مقدار آبدهی غشا در فرآیند الترافیلتراسیون نتایج حاصل از آبدهی غشای مورد استفاده در طول دوره مطالعه در شکل ۵ نشان داده شده است.

مقدار متوسط کدورت پس از الترافیلتراسیون NTU ۰/۳۵ است. انحراف معیار استاندارد برای آب دریا و فیلتر شده به ترتیب برابر با ۰/۲۶ و ۰/۱۰ است.



شکل ۵- مقدار آبدهی غشای UF در طول دوره مطالعه

Figure 5. Amount of flux of UF membrane during the study period

بحث

صورت پذیرفت. بین آبدهی UF و دما رابطه معنادار وجود دارد (P/value=0.000) رابطه بین آبدهی و دما مثبت، با قدرت متوسط می باشد. بین خروجی فیلترشده و دما رابطه معنادار وجود دارد.

(P/value=0.001) رابطه بین آبدهی و دما مثبت، با قدرت متوسط می باشد. اما رابطه معناداری برای UF و فیلتر متداول در مورد SDI وجود ندارد.

امام جمعه و همکارانش در یک بررسی علمی دریافتند، روش‌های غشایی به میزان موثری به حذف کدورت در آب پیش تصفیه منجر می گردد، که با نتیجه این تحقیق مشابهت دارد (۲۰). در تحقیق چوآ و همکاران که در سال ۲۰۱۹ انجام دادند به این نتیجه دست یافتند که SDI_{15} در سیستم های پیش تصفیه UF کاهش موثرتری به نسبت سایر روشهای پیش تصفیه متعارف و تقریباً برابر با سیستم های MF داشته است (۱۴). همچنین متین آصف با مطالعه ای نشان داد در روشهای غشایی پیش تصفیه، عملکرد مطلوب سیستم های UF و MF در به تاخیر انداختن گرفتگی غشا اسمز معکوس، منجر به کاهش هزینه ها در مجموع می گردد که نتیجه تحقیق ایشان با یافته های این پژوهش مطابقت دارد (۲۱).

نتیجه گیری

این مطالعه بررسی بر مقایسه دو روش پیش تصفیه معمولی و غشایی داشته است که بر اساس داده های تجربی دریافتی از تصفیه خانه در مقیاس کامل است. در این مطالعه طرح های پیش تصفیه زیر در نظر گرفته شد: (۱) پیش تصفیه متداول (۲) پیش

انتخاب روش پیش تصفیه و نوع تکنولوژی کارآمد، بسیار دشوار می باشد زیرا عوامل متعددی از جمله کیفیت آب تغذیه، کیفیت و نوع فیلترراهمرد آسان سیستم در بهره برداری تاثیر تجهیزات بکار گرفته شده در عملکرد سیستم، معیارهای طراحی هزینه راهبری و اقتصادی بودن آن رعایت قوانین و استانداردها باید مد نظر واقع گردد (۱۹).

بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین شاخص چگالی سیلت طی مدت زمان مورد مطالعه توسط سیستم های متداول ۵/۵ بود. سطح مورد نیاز SDI_{15} برای اسمز معکوس نباید از ۵ بیشتر باشد که در روش تصفیه متداول کمی بالاتر از حد مناسب بوده است. روش تصفیه متداول (انعقاد، لخته سازی، ته نشینی و فیلتراسیون دانه ای) روشی بود که کمترین مقدار کاهش در SDI_{15} را نشان داد و برای دستیابی به اهداف تصفیه مورد نظر بایستی بعد از آن از فیلترهای کارتریجی استفاده نمود. برابر نتایج به دست آمده استفاده از فیلتراسیون غشایی کاهش در SDI_{15} را در دامنه مطلوبی نشان می دهد. بر اساس داده های به دست آمده میانگین شاخص چگالی سیلت طی مدت زمان مورد مطالعه توسط سیستم UF برابر با ۱/۵ بود/ مقدار متوسط کدورت پس از الترافیلتراسیون NTU ۰/۳۵ و انحراف معیار استاندارد برای آب دریا و فیلتر شده به ترتیب برابر با ۰/۲۶ و ۰/۱۰ است/ این نتایج نشان می دهد که استفاده از الترافیلتراسیون می تواند نیازهای فنی روش مورد مطالعه را تامین نموده و بدین ترتیب کیفیت بالایی از آب را تامین می کند. همچنین روابط بین دما و میزان آبدهی و SDI در فیلتر UF و رابطه بین دما و SDI در خروجی فیلتر در روش متداول

References

1. Tanzim F, Subeshan B, Asmatulu R. Improving the saline water evaporation rates using highly conductive carbonaceous materials under infrared light for improved freshwater production. *Desalination*. 2022; 531: 115710.
2. Matin A, Laoui T, Falath W, Farooque AM. Fouling Control in Reverse Osmosis for Water Desalination & Reuse: Current Practices & Emerging Environment-Friendly Technologies. *Science of The Total Environment*. 2020: 142721.
3. Ghernaout D. Brine recycling: Towards membrane processes as the best available technology. *Applied Engineering*. 2019; 3(2):71.
4. Ghazi ZM, Rizvi SWF, Shahid WM, Abdulhameed AM, Saleem H, Zaidi SJ. An overview of water desalination systems integrated with renewable energy sources. *Desalination*. 2022; 542:116063.
5. Al-hotmani O, Al-Obaidi MA, John YM, Patel R, Manenti F, Mujtaba IM. Minimisation of energy consumption via optimisation of a simple hybrid system of multi effect distillation and permeate reprocessing reverse osmosis processes for seawater desalination. *Computers & Chemical Engineering*. 2021; 148:107261.
6. Giagnorio M, Morciano M, Zhang W, Hélix-Nielsen C, Fasano M, Tiraferri A. Coupling of forward osmosis with desalination technologies: System-scale analysis at the water-energy nexus. *Desalination*. 2022; 543: 116083.
7. Ghaffour N, Missimer TM, Amy GL. Technical review and evaluation of the

تصفیه *UF*. تجزیه و تحلیل ها بر اساس شاخص های کیفیت آب است. این شاخص ها شامل کدورت، شاخص *SDI₁₅* بوده و نتایج نشان می دهد که شاخص *SDI₁₅* آب فیلتر شده توسط سیستم *UF* نسبت به سیستم متداول پایین تر و به ترتیب ۱/۵ و ۵/۵ است که نشان می دهد برای رسیدن به مقدار مناسب حذف در تصفیه نهایی و حفاظت از فیلترهای اسمز معکوس، در روش پیش تصفیه با استفاده از تصفیه متداول، باید از فیلترهای کارتریج بعنوان یک روش اضافه نیز بهره برد تا بتوان کیفیت مناسبی از آب را برای تصفیه نهایی در فرایند اسمز معکوس تهیه نمود. مقدار متوسط کدورت پس از پیش تصفیه متداول *NTU* ۰/۹۷ و پس از الترافیلتراسیون *NTU* ۰/۳۵ بود/ بنابراین هر دو فرآیند مورد استفاده در این مطالعه مقدار حذف کدورت رضایت بخشی را داشتند. تجزیه و تحلیل و نتایج این مطالعه نشان می دهد که پیش تصفیه مبتنی بر غشاء یک جایگزین فن آوری رقابتی برای نمونه متداول است. با این حال، پیش تصفیه مبتنی بر غشاء می تواند به جای فرآیندی که باید جایگزین آن شود، به طور موفقیت آمیزی با پیش تصفیه متداول ترکیب شود. برخی از پیگیریهای ترکیبی طرح های پیش تصفیه از جمله فرآیندهای مرسوم همراه با *MF* و *UF* را می توان برای تحقیقات بیشتر توصیه کرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مطالعه از مدیریت عامل و مدیریت اجرایی شرکت مهندسی رعدآب به خاطر مساعدت ها و همکاری انجام شده در انجام این مطالعه کمال سپاسگزاری را دارند.

تعارض منافع

نویسندگان مقاله اعلام می دارند که هیچ گونه تعارض در منافع در پژوهش حاضر وجود ندارد.

سهام نویسندگان

همه نویسندگان در ایده پردازی و انجام طرح، همچنین نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تأیید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند. منابع مالی: کلیه هزینه ها بعهد پژوهشگران بوده است.

- seawater reverse osmosis desalination systems—A review. *Journal of Water Process Engineering*. 2019;32:100926.
15. Khan B. Early biofouling detection using extracellular enzyme activity A prototype explored. 2019.
 16. Macedonio F, Drioli E. 4.6 Membrane Systems for Seawater and Brackish Water Desalination. 2017.
 17. Millan G, Garcia G, Lopez G, Linney B, Beltrain E, Clares M, et al., editors. Commissioning of two SWRO with different pretreatment: Conventional vs ultrafiltration. IDA Conference, San Diego, CA; 2015.
 18. Jamaly S, Darwish N, Ahmed I, Hasan S. A short review on reverse osmosis pretreatment technologies. *Desalination*. 2014; 354: 30-8. (In Persian)
 19. Badruzzaman M, Voutchkov N, Weinrich L, Jacangelo JG. Selection of pretreatment technologies for seawater reverse osmosis plants: A review. *Desalination*. 2019; 449:78-91.
 20. Emamjomeh MM, Torabi H, Mousazadeh M, Alijani MH, Gohari F. Impact of independent and non-independent parameters on various elements' rejection by nanofiltration employed in groundwater treatment. *Applied water science*. 2019; 9(4):1-10. (In Persian)
 21. Matin A, Laoui T, Falath W, Farooque M. Fouling control in reverse osmosis for water desalination & reuse: Current practices & emerging environment-friendly technologies. *Science of the total Environment*. 2021; 765:142721.
 - economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*. 2013; 309:197-207.
 8. Elnour M, Meskin N, Khan KM, Jain R, Zaidi S, Siddiqui H. Full-Scale Seawater Reverse Osmosis Desalination Plant Simulator*. 2020.
 9. Balfaqih H, Al-Nory MT, Nopiah ZM, Saibani N. Environmental and economic performance assessment of desalination supply chain. *Desalination*. 2017; 406:2-9.
 10. Lin C-J, Shirazi S, Rao P, Agarwal S. Effects of operational parameters on cake formation of CaSO₄ in nanofiltration. *Water research*. 2006; 40(4): 806-16.
 11. Nthunya LN, Bopape MF, Mahlangu OT, Mamba BB, Van der Bruggen B, Quist-Jensen CA, et al. Fouling, performance and cost analysis of membrane-based water desalination technologies: A critical review. *Journal of Environmental Management*. 2022; 301:113922.
 12. Hakizimana JN, Gourich B, Chafi M, Stiriba Y, Vial C, Drogui P, et al. Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination*. 2017; 404:1-21.
 13. 13-Anis SF, Hashaikeh R, Hilal N. Reverse osmosis pretreatment technologies and future trends: A comprehensive review. *Desalination*. 2019; 452:159-95.
 14. Kavitha J, Rajalakshmi M, Phani A, Padaki M. Pretreatment processes for