

Nghiên cứu công nghệ xử lý nước nhiễm mặn công suất nhỏ cấp cho sinh hoạt sử dụng năng lượng mặt trời

Research on small capacity salted water treatment technology for home use using solar energy

> THS NGUYỄN TIẾN DŨNG, THS NGUYỄN THÀNH MẬU

Bộ môn Công nghệ Nước, Khoa KTHT&MT Đô thị, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

Email: dungnt@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Nước ngọt là nhu cầu cơ bản của sự sống nhưng nguồn tài nguyên này phân bố không đều, bị thiếu và bị ô nhiễm ở nhiều nơi. Nước biển là nguồn tài nguyên đang có tiềm năng rất lớn để khai thác, tạo ra nước ngọt; nhất là trong bối cảnh hạn, mặn ngày càng tăng. Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm trên các loại màng lọc nano (NF) và màng lọc thẩm thấu ngược (RO) đã được thực hiện để đánh giá hiệu quả khử mặn của chúng. Từ đó, loại màng lọc phù hợp đã được nghiên cứu đánh giá và sử dụng như là một công đoạn cốt lõi trong hệ thống khử mặn sử dụng năng lượng mặt trời. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu suất khử mặn của màng RO là rất cao, khoảng 99,6%. Hệ thống khử mặn hoàn chỉnh với công nghệ lõi là màng RO được xây dựng và vận hành đánh giá hiệu quả khử mặn. Chất lượng nước sau xử lý đạt QCVN 01-1:2018/BYT, có thể cấp cho mục đích sinh hoạt. Công nghệ này có tiềm năng ứng dụng rộng rãi ở khu vực -- bị xâm nhập mặn, nơi chưa được tiếp cận hoặc khan hiếm nguồn nước cấp hợp vệ sinh.

Từ khóa: Hệ thống khử mặn; màng lọc NF; màng lọc RO; năng lượng mặt trời; nước mặn.

ABSTRACT

Fresh water is the basic life demand, but this resource is unevenly distributed lacking, and polluted in many places. Sea water is a great potential resource to produce fresh water, especially in the context of increasing drought and saline intrusion. This study performed experiments on various types of nanofiltration (NF) and reverse osmosis (RO) membranes to evaluate their desalination efficiency. Therefore, the adequate type of filter was used as a core item in a solar-powered desalination system was assessed the treatment efficiency. Finding results showed that the desalination efficiency of RO membrane was very high, approximately 99.6%. A complete desalination system was built and operated to evaluate the desalination efficiency. The quality of treated water met the threshold value of QCVN 01-1:2018/BYT, a regulation on domestic water quality. The technology could be applied widely in saline intrusion zones and areas without access to hygienic water supply sources.

Key words: Desalination system; nanofiltration membrane; reverse osmosis membrane; solar energy; saline water.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam có trên 3000 km bờ biển, tập trung hàng triệu người sinh sống và khai thác các nguồn lợi từ biển. Xâm nhập mặn diễn ra tại hầu hết các địa phương ven biển, gây ảnh hưởng lớn đến hoạt động sản xuất và sinh hoạt của người dân, đặc biệt tại những cửa sông đổ ra biển. Hai đồng bằng rộng lớn của Việt Nam là Đồng bằng sông Hồng (ĐBSH) và Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là những nơi chịu ảnh hưởng lớn nhất của hiện tượng này. Nhiều giải pháp đã được đưa ra, phần nào hạn chế được tình trạng xâm nhập mặn nhưng trong bối cảnh biến đổi khí hậu (BĐKH) diễn ra ngày càng phức tạp thì trong thời gian tới, hiện tượng xâm nhập mặn vẫn là mối đe dọa lớn đến đời sống các khu vực này, đặc biệt là khu vực ĐBSCL, vựa lương thực của cả nước.

BĐKH, hạn hán và xâm nhập mặn đang là một trong những nguyên nhân góp phần làm cho khoảng 20% dân số nước ta vẫn chưa tiếp cận được nước sạch. Theo đánh giá của Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam (2013), ở ĐBSCL dòng chảy thượng nguồn sông Mê Kông bị thiếu hụt, mức nước thấp kỷ lục trong 90 năm qua. Mùa mưa đến muộn, lượng mưa thiếu hụt so với trung bình nhiều năm 30 - 60%, dòng chảy hệ thống sông thiếu hụt 30 - 50%. Người dân ở các vùng cách biển 45 km đã không thể lấy nước ngọt, vùng cách biển 45 - 65 km chỉ xuất hiện nước ngọt vào thời kì triều kém, cách biển 70 - 75 km xâm nhập mặn nồng độ dưới 4 g/L, điều này gây ảnh hưởng đến sản xuất và sinh hoạt (Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2013).

Trước tình hình cấp bách đó, ở các địa phương ven biển thuộc tỉnh Kiên Giang, Cà Mau, Bạc Liêu, Sóc Trăng, Trà Vinh, Bến Tre và Tiền Giang, nơi người dân chưa được sử dụng hệ thống cấp nước

sạch, tình trạng người dân thiếu nước sạch sinh hoạt diễn ra thường xuyên. Công nghệ xử lý nước bị nhiễm mặn chưa đáp ứng yêu cầu ở vùng không tiếp cận được cơ sở hạ tầng cấp nước, vùng ven biển và hải đảo cũng là nguyên nhân gây nên thiếu nước sinh hoạt (Hoàn & Khương, 2016). Do đó, việc nghiên cứu chế tạo thiết bị lọc nước mặn thành nước ngọt bằng màng lọc sử dụng năng lượng mặt trời có hiệu quả thiết thực, góp phần cải thiện chất lượng nước và phục vụ nhu cầu tối thiểu cho người dân tại địa phương. Các hoạt động nghiên cứu và sử dụng năng lượng mặt trời (NLMT) ở Việt Nam hiện nay thường tập trung vào các lĩnh vực như cung cấp nước nóng dùng trong sinh hoạt và phát điện ở quy mô nhỏ như sấy, nấu ăn, chưng cất nước (TĐ Hạ, 2010). Tuy nhiên, nghiên cứu sử dụng NLMT để vận hành hệ thống xử lý nước còn hạn chế.

Công nghệ thẩm thấu ngược ngày càng được sử dụng phổ biến do tiêu thụ ít năng lượng so với một số công nghệ khử mặn khác (Spyridoula et al., 2018). Trong năm 2013, trong số các dự án khử mặn được lắp đặt trên toàn cầu thì công nghệ thẩm thấu ngược chiếm 65%, chưng cất nhiều giai đoạn chiếm 22% và còn lại là chưng cất đa tác dụng (Miller et al., 2015). Việc khai thác các nguồn năng lượng tái tạo cho sản xuất nước ngọt được coi là rất hứa hẹn để giảm tác động đến môi trường. Các nhà máy điện mặt trời tập trung đang phát triển rất nhanh, chuyển đổi bức xạ mặt trời thành điện năng phục vụ trong công nghiệp và dân dụng. Một số nhà máy lọc nước biển có dung tích vừa và lớn áp dụng công nghệ lọc thẩm thấu ngược được trang bị thiết bị thu hồi năng lượng cao, tiêu thụ năng lượng khoảng 2,2 - 2,5 kWh/m³. Ngay cả khi mức tiêu thụ thấp hơn 2,0 kWh/m³ vẫn có thể khả thi về mặt kỹ thuật (laquaniello et al., 2014).

Các công trình nghiên cứu về khử mặn nước biển ở Việt Nam bắt đầu từ những năm 1990 (Hạ, 2010). Một hệ thống xử lý nước biển qua 5 công đoạn với công đoạn cuối là lọc màng RO đã được Trung tâm tư vấn và chuyển giao công nghệ nước sạch và môi trường thiết kế và lắp đặt tại đảo Bạch Long Vĩ năm 2003 với công suất 11 m³/h. Năm 2008, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã chế tạo thiết bị xử lý nước biển thành nước ngọt bằng công nghệ lọc màng RO, đáp ứng

tiêu chuẩn của Bộ Y tế về nước sinh hoạt với công suất 300 lít/h (Hạ, 2010). Các nghiên cứu này thường chỉ dừng lại ở mức thử nghiệm và quy mô nhỏ. Có thể thấy các công trình nghiên cứu chế tạo thiết bị ngọt hóa nước biển ở nước ta tập trung vào hai nhóm công nghệ chính là chưng cất và màng lọc RO. Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn cấp bách đó, cùng với tiềm năng to lớn về nguồn năng lượng mặt trời cho thấy việc tiếp tục nghiên cứu phát triển hệ thống xử lý nước mặn thành nước ngọt bằng công nghệ lọc kết hợp sử dụng năng lượng mặt trời là rất cần thiết trong công tác cấp nước sạch nhằm đảm bảo chất lượng nước sinh hoạt theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia của Bộ Y tế cho người dân vùng ven biển và hải đảo. Theo đó, nghiên cứu này tập trung vào các nội dung sau: (i) Đánh giá chất lượng nước biển vùng nghiên cứu; (ii) Đề xuất công nghệ xử lý nước biển; (iii) Đánh giá hiệu quả xử lý của mô hình xử lý nước biển.

2. THÍ NGHIỆM NGHIÊN CỨU KHỬ MẶN BẰNG CÔNG NGHỆ MÀNG LỌC

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là nước biển được lấy tại các: địa điểm ven biển Cần Giờ, ven biển Bạc Liêu và đảo Phú Quốc. Đây là 3 vị trí được chọn để đánh giá độ mặn nói riêng và một số tính chất hóa lý đặc trưng cho nước biển ven bờ và hải đảo phía Nam nước ta.

Màng lọc thẩm thấu ngược (RO) và màng lọc nano (NF) là thành phần cốt lõi trong hệ thống khử mặn cấp nước cho sinh hoạt, sử dụng năng lượng mặt trời.

2.2. Phương pháp lấy mẫu, phân tích và đánh giá chất lượng nước

Các chỉ tiêu hóa lý chất lượng nước biển được xác định thông qua các mẫu nước được lấy tại ba vị trí nêu trên. Mẫu nước biển sau khi lấy được chứa trong chai nhựa 2L. Tất cả các mẫu sau khi được thu và cố định đều được ghi nhãn, trữ lạnh, vận chuyển về phòng thí nghiệm và bảo quản trong tủ mát (4°C) chờ phân tích

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp phân tích
1	pH	-	Đo trực tiếp
2	Độ mặn	‰	Đo trực tiếp
3	SS	mg/L	TCVN 6625:2000
4	Chloride (Cl ⁻)	mg/L	SMEWW 4500-Cl-B:2017
5	Độ màu	Pt-Co	SMEWW 2120 C:2017
6	Mùi	-	TCVN 4558:1988
7	Vị	-	SMEWW 2160 B:2017
8	Sắt (Fe)	mg/L	SMEWW 3500-Fe B:2017
9	Nitrat (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	SMEWW 4500-NO ₃ - B:2017
10	Nitrit (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	SMEWW 4500-NO ₂ - B:2017
11	Độ cứng	mgCaCO ₃ /L	SMEWW 2340 C:2017
12	Chất rắn hòa tan (TDS)	mg/L	HD 5.6-QT-56
13	Độ đục	NTU	SMEWW 2130 B:2017
14	Tổng coliform	MPN/100mL	TCVN 6187-2:1996
15	Escherichia coli	MPN/100mL	TCVN 6187-1:1996

Bảng 1. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu nước

Mẫu nước biển được so sánh với QCVN 10-MT:2015 - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước biển.

Chất lượng nước sau hệ thống xử lý được so sánh với quy chuẩn QCVN 01-1:2018/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt.

Chỉ tiêu pH, độ mặn, TDS được đo tại hiện trường thu mẫu.

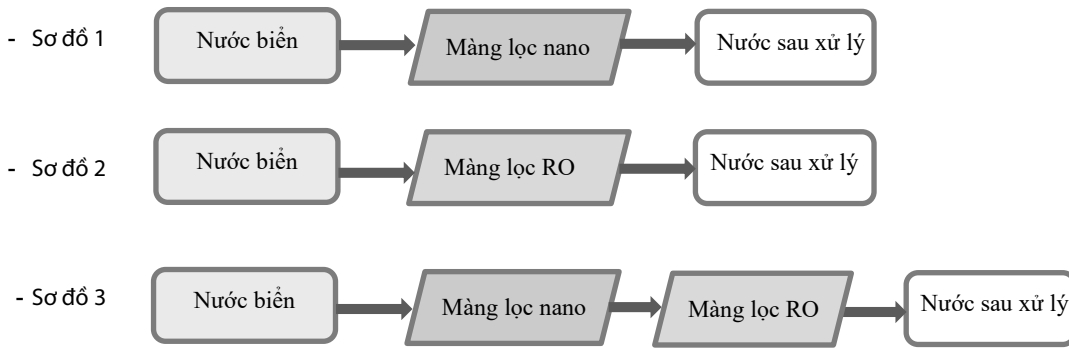
Mẫu nước đầu vào và mẫu nước sau mỗi công đoạn của hệ thống xử lý mặn được lấy với ba lần lặp lại khi vận hành hệ thống.

Các chỉ tiêu chất lượng nước được phân tích theo các phương pháp trình bày trong Bảng 1.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Nghiên cứu để xuất công nghệ xử lý nước biển hợp lý

Để lựa chọn được công nghệ với hạng mục chính là màng lọc hợp lý, ba thí nghiệm được thực hiện để đánh giá hiệu quả khử mặn trong trường hợp hệ thống với màng lọc nano, màng lọc RO và kết hợp cả hai màng nano và RO. Mỗi thí nghiệm được thực hiện với ba lần lặp lại theo các sơ đồ sau:



Sau khi thực hiện các thí nghiệm trong phòng thí nghiệm, công nghệ khử mặn với loại màng lọc có hiệu suất khử mặn cao được chọn để tính toán và thiết kế hệ thống khử mặn.

2.3.2. Đánh giá hiệu quả xử lý của mô hình

Hệ thống được vận hành theo thông số vận hành xác định, tiến hành lấy mẫu ở đầu vào, đầu ra của hệ thống để phân tích các thông số: pH, độ mặn, độ màu, mùi, vị, độ đục, clorua (Cl⁻), sắt (Fe), độ cứng, nitrat (N-NO₃⁻), nitrit (N-NO₂⁻), chất rắn hòa tan (TDS), Coliforms và E. Coli để đánh giá hiệu suất xử lý.

Khi đó, hiệu suất xử lý (E%) của hệ thống được tính theo công thức:

$$E = \frac{C_0 - C_r}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

Trong đó:

- + E: Hiệu suất xử lý (%);
- + C₀: Nồng độ thông số chất lượng nước đầu vào hệ thống xử lý;
- + C_r: Nồng độ thông số chất lượng nước đầu ra hệ thống xử lý.

2.3.3. Đánh giá hiệu quả sử dụng hệ thống pin năng lượng mặt trời

Công suất của hệ thống pin năng lượng mặt trời được tính toán dựa vào công suất thực tế của thiết bị có trong hệ thống khử mặn. Hệ thống pin năng lượng mặt trời được hòa vào lưới điện quốc gia, để những thời điểm bức xạ mặt trời không cao, lượng điện tạo ra từ pin không đủ cho hệ thống khử mặn hoạt động thì điện lưới sẽ bù vào lượng điện còn thiếu cho hệ thống hoạt động. Hệ thống pin được thuê công lắp đặt với công suất được xác định.

2.3.4. Phương pháp xử lý số liệu

Giá trị của các thông số chất lượng nước sau khi đo đạc, phân tích được lưu trữ, xử lý và thống kê mô tả bằng phần mềm Microsoft Excel.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tính chất của nước biển vùng nghiên cứu

Công nghệ xử lý nước được đề xuất dựa vào thành phần và tính chất của nước biển. Kết quả phân tích thông số chất lượng của các mẫu nước được lấy tại ba vị trí được thể hiện trong Bảng 2.

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Phú Quốc	Bạc Liêu	Cần Giờ	QCVN 10 -MT:2015/BTNMT
1	pH		6,54	7,88	7,73	6,5 - 8,5
2	Độ mặn	‰	23,5	15,0	23	-
3	Clorua (Cl ⁻)	mg/L	17.433	11.061	17.585	-
4	Độ màu	Pt-Co	28,1	42,4	KPH	-
5	Mùi	-	KPH	KPH	KPH	-
6	Vị	-	KPH	KPH	KPH	-
7	Sắt (Fe)	mg/L	0,99	1,16	KPH	0,5
8	Nitrat (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,04	0,31	0,11	-
9	Nitrit (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,01	0,03	KPH	-
10	Độ cứng	mg/L	5.960	3.680	7.200	-
11	Chất rắn hòa tan (TDS)	mg/L	47.005	21.700	31.300	-
12	Độ đục	NTU	-	24,6		0,82

Giá trị pH của nước biển tại ba vị trí đều nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 10-MT:2015/BTNMT. Hàm lượng sắt trong nước biển tại Phú Quốc và Bạc Liêu đều đã vượt so với QCVN 10-MT:2015/BTNMT, nhưng không phát hiện ở Cần Giờ.

Hàm lượng clorua, độ mặn và độ cứng của nước biển Phú Quốc cao hơn gần 1,6 lần và hàm lượng chất rắn hòa tan cao hơn khoảng 2,2 lần so với nước biển tỉnh Bạc Liêu nhưng cao hơn không đáng kể so với nước biển Cần Giờ. Điều này cho thấy có sự biến động lớn về tính chất của nước biển tại các vùng ven biển và hải đảo. Điều này là do sự khác biệt về tính chất của nước biển vùng ven bờ và vùng hải đảo. Nước biển ven bờ còn bị pha loãng bởi nước ngọt địa ở vùng cửa sông dưới tác động của chế độ thủy triều.

Tính chất nước biển có sự biến động rộng tại các vùng biển hải

đảo và ven bờ theo kết quả khảo sát, để áp dụng công nghệ lọc cho hệ thống khử mặn thì cần lựa chọn màng lọc phù hợp, đảm bảo hiệu quả khử mặn tốt nhất. Cơ sở chọn công nghệ xử lý mặn ở đây là dựa vào các thông số chính là hàm lượng chất rắn hòa tan, hàm lượng clorua và độ mặn. Theo đó, nước biển ở Cần Giờ được chọn làm đối tượng nghiên cứu để lựa chọn công nghệ và đánh giá hiệu quả của công nghệ khử mặn.

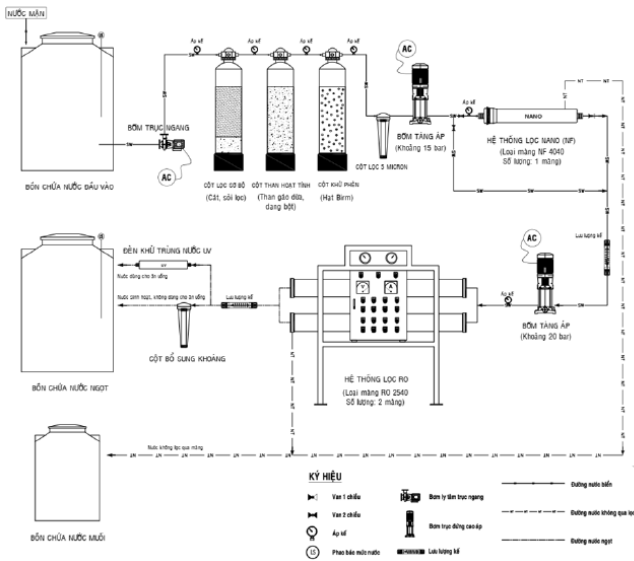
3.2. Đề xuất công nghệ xử lý nước biển hợp lý

Công nghệ xử lý nước biển phù hợp được chọn dựa vào kết quả của ba thí nghiệm: (1) màng lọc NF, (2) màng lọc RO và (3) màng lọc NF+RO là hạng mục chính của hệ thống. Bên cạnh hạng mục chính này, hệ thống xử lý mặn còn có công đoạn tiền xử lý với sơ đồ nguyên lý như Hình 1. Kết quả phân tích các thông số chất lượng nước của các thí nghiệm được trình bày trong Bảng 3.

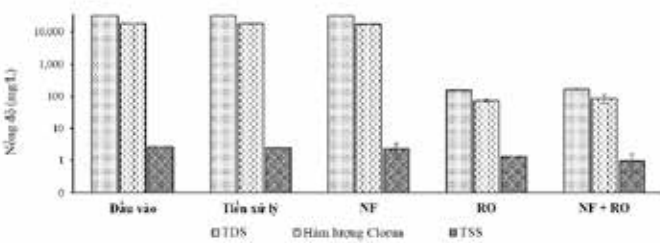
Bảng 3. Nồng độ TDS, clorua, SS, độ đục trong mẫu nước của các thí nghiệm

Thông số	Đơn vị	Đầu vào	Sau tiền xử lý	Sau NF	Sau RO	Sau NF + RO
TDS	mg/L	31.300	31.433±153	30.867±503	156±4,36	169±6,56
Clorua	mg/L	17.585	18.019±735	16.899±216	73,0±6,65	84,1±25,4
TSS	mg/L	2,60	2,43±0,12	2,20±1,06	1,30±0,00	0,93±0,56
Độ đục	NTU	0,82	0,56±0,02	0,15±0,02	0,06±0,01	0,12±0,04

Nước biển sau tiền xử lý có các chỉ tiêu TDS và hàm lượng clorua tăng lên (Hình 2). Giá trị nồng độ của các thông số TDS và clorua tăng lần lượt từ 31.300 mg/L lên 31.433±153 mg/L và 17.585±0,00mg/L lên 18.019±735 mg/L. Nguyên nhân tăng nồng độ của hai thông số này là do vật liệu lọc của các cột lọc tiền xử lý mới nên khi nước biển đi qua sẽ kéo theo các khoáng chất từ vật liệu lọc vào nước.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của hệ thống khử mặn



Hình 2. Sự thay đổi nồng độ TDS, clorua và TDS

Bảng 4. Giá trị pH, độ mặn, độ cứng của nước biển qua các công đoạn xử lý

Thông số	Đơn vị	Đầu vào	Sau NF	Sau RO	Sau NF + RO
pH	-	7,73±0,00	7,53±0,05	6,55±0,04	6,60±0,17
Độ mặn	‰	23,0±0,00	22,8±0,06	0,10±0,00	0,10±0,00
Độ cứng	mgCaCO ₃ /L	7.200±0,00	5.700±200	34,7±9,23	22,7±6,11

Kết quả ở Hình 3 cho thấy màng lọc NF không có hiệu quả khử mặn cao, hiệu suất khử mặn này là 0,72%, tương ứng với độ mặn giảm từ 23‰ xuống 22,8‰. Hiệu suất khử mặn của màng lọc RO và màng lọc NF + RO rất cao (99,6%), tương ứng với độ mặn giảm từ 22,8‰ xuống còn 0,10‰. Độ mặn này của nước phù hợp để cho mục đích sinh hoạt

Kết quả thí nghiệm cho thấy màng lọc NF cho hiệu quả xử lý độ cứng không cao. Độ cứng của nước sau khi qua màng lọc NF giảm từ 7.200 mg/L xuống 5.700 mg/L, tương ứng với hiệu suất xử lý 20,8% (Hình 4). Trong khi đó, màng lọc RO và sự kết hợp màng lọc NF + RO có hiệu suất xử lý rất cao, với hiệu suất lần lượt là 99,5% và 99,7%. Có thể

Giai đoạn tiền xử lý đã loại bỏ các hạt lơ lửng trong nước biển, làm cho TSS và độ đục của nước giảm. Nồng độ TSS và độ đục trong nước biển khi qua công đoạn tiền xử lý giảm lần lượt từ 2,60 và 0,82 mg/L xuống 2,43 và 0,56 mg/L. Tương ứng với hiệu suất loại bỏ TSS và độ đục của công đoạn tiền xử lý lần lượt là 6,54% và 31,6%.

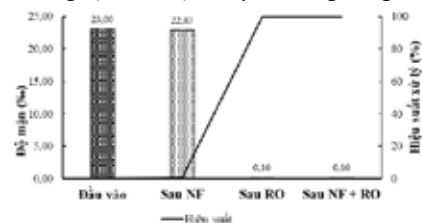
Màng lọc NF có hiệu suất xử lý TDS, clorua, SS không cao, lần lượt là 1,38%; 3,90%; 15,4%. Nhưng với độ đục, kết quả nghiên cứu cho thấy màng lọc NF của thí nghiệm có hiệu suất xử lý 82%. Với hiệu suất này, màng lọc NF chỉ được thực hiện như công đoạn tiền xử lý, không thể đưa vào công đoạn chính của hệ thống khử mặn.

Màng lọc RO có hiệu suất xử lý TDS, clorua, SS, độ đục rất cao, lần lượt là 99,5%; 99,6%; 50,0%; 92,6%. Ngoại trừ chỉ tiêu SS (thấp hơn 1,2 lần) thì hiệu suất xử lý các thông số TDS, clorua, độ đục của màng lọc RO cao hơn hiệu suất xử lý khi kết hợp màng NF + RO, lần lượt là 99,5%; 99,5%; 85,4%.

Nồng độ TDS và clorua trong nước sau màng lọc RO và khi kết hợp màng lọc NF + RO đều đạt QCVN 01-1:2018/BYT. Qua kết quả thí nghiệm trên, màng lọc NF không có hiệu quả trong xử lý TDS và clorua trong nước biển. Để xử lý hai chỉ tiêu này, màng lọc RO cần được sử dụng mà không cần kết hợp NF + RO, làm giảm chi phí thiết bị và chi phí vận hành hệ thống. Tuy nhiên, việc sử dụng màng lọc NF để xử lý sơ bộ nước biển có thể loại bỏ một phần hàm lượng SS, TDS, giúp giảm tải cho màng lọc RO phía sau, làm giảm tải áp lực cần cung cấp cho hệ thống xử lý.

Kết quả phân tích ở Bảng 4 cho thấy pH của nước biển có sự thay đổi khi qua công đoạn xử lý màng. Cụ thể, pH của nước biển sau khi qua màng lọc NF, RO và NF + RO giảm từ 7,73±0,00 lần lượt giảm xuống 7,53±0,05; 6,55±0,04 và 6,60±0,17. Có thể thấy, màng RO làm thay đổi pH nhiều so với màng NF và khi kết hợp NF + RO. Sự giảm pH này là do màng lọc RO có khả năng giữ các ions (kể cả ions hóa trị I). So với QCVN 01-1:2018/BYT, pH nước sau màng lọc RO và màng lọc NF + RO giảm nhưng vẫn thuộc khoảng giới hạn cho phép là 6,0 - 8,5.

thấy, hiệu suất xử lý độ cứng của sự kết hợp màng lọc NF + RO cao hơn màng lọc RO, nhưng sự chênh lệch này là không đáng kể.



Hình 3. Sự thay đổi độ mặn và hiệu suất xử lý của các thí nghiệm

Nhìn chung, để xử lý nước biển có hàm lượng TDS, độ mặn và clorua cao thì cần phải sử dụng màng lọc RO, không thể sử dụng hệ thống chỉ với màng lọc NF đơn lẻ vì hiệu suất loại bỏ của các thông số này với màng lọc NF là rất thấp. Tuy nhiên, việc sử dụng màng lọc NF để tiền xử lý có thể góp phần giảm tải cho hệ thống xử lý nước biển, tăng tuổi thọ cho màng lọc RO. Một số nghiên cứu cho thấy đối với nước biển có độ mặn thấp hoặc nước lợ thì có thể sử dụng màng NF để xử lý (Abuhabib et al., 2013; Tian et al., 2021).

Từ kết quả thí nghiệm đánh giá hiệu quả xử lý của các màng lọc NF, màng lọc RO và sự kết hợp màng lọc NF + RO, có thể thấy rằng màng lọc NF không cho thấy hiệu quả cao trong khử mặn đối với nước biển có độ mặn cao và cũng có hiệu quả cao trong việc loại bỏ các thành phần gây tắc nghẽn màng RO sau khi đã được tiền xử lý. Hiệu quả khử mặn của sự kết hợp màng lọc NF + RO rất cao, nhưng so kết quả đánh giá riêng cho màng lọc RO và khi kết hợp NF + RO thì hiệu suất xử lý khác nhau không đáng kể. Điều này cho thấy tính khả thi khi sử dụng màng lọc RO để khử mặn và các thành phần khác trong nước biển. Do đó, công nghệ chính cho hệ thống khử mặn bằng phương pháp lọc trong nghiên cứu này là màng lọc RO.

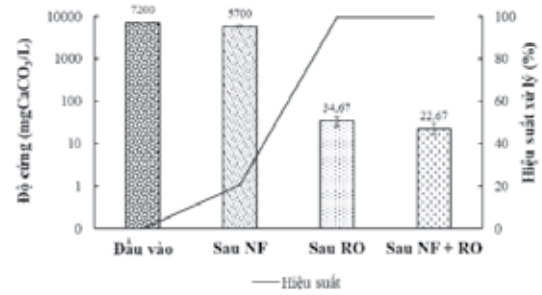
Bảng 5. Tính chất nước đầu vào và đầu ra hệ thống khử mặn

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Đầu vào	Đầu ra	Hiệu suất (%)
1	pH	-	7,60	6,90	9,21
2	Độ mặn	‰	11,6	0,00	100
3	Clorua (Cl ⁻)	mg/L	7.906	28,4	99,6
4	Độ màu	Pt-Co	KPH (MDL = 4,0)	KPH (MDL = 4,0)	
5	Mùi	-	KPH	KPH	
6	Vị	-	KPH	KPH	
7	Sắt (Fe)	mg/L	0,74	KPH (MDL = 0,09)	
8	Nitrat (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	0,58	0,04	93,1
9	Nitrit (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,02	0,02	0
10	Độ cứng	mgCaCO ₃ /L	2.400	4,00	99,8
11	Chất rắn hòa tan (TDS)	mg/L	13.770	57,0	99,6
12	Độ đục	NTU	22,3	KPH (MDL = 0,21)	
13	Tổng Coliform	MPN/100mL	2,4x10 ⁴	KPH	
14	<i>Escherichia coli</i>	MPN/100mL	KPH	KPH	



Hình 5. Hệ thống khử mặn công suất 200 L/h

Nước đầu vào hệ thống khử mặn thuộc vùng cửa sông Mỏ Ó có giá trị của độ mặn, clorua, TDS và độ cứng thấp hơn so với nước đầu vào của thí nghiệm đánh giá hiệu quả của các màng lọc. Do vậy, tỷ lệ thu hồi nước của cột lọc RO được chọn là $r = 20\%$, thay vì là 8% theo khuyến cáo của nhà sản xuất. Qua kết quả ở Bảng 5, có thể thấy hệ thống khử mặn đã lắp đặt có hiệu quả xử lý nước tốt. Các chỉ tiêu chất lượng nước sau hệ thống khử mặn đều đạt Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch phục vụ cho mục đích sinh hoạt (QCVN 01-1:2018/BYT). Sau khi qua hệ thống khử mặn, pH của nước



Hình 4. Sự thay đổi độ cứng và hiệu quả xử lý của các thí nghiệm

3.3. Đánh giá hiệu quả xử lý của mô hình

3.3.1. Hiệu quả xử lý của hệ thống

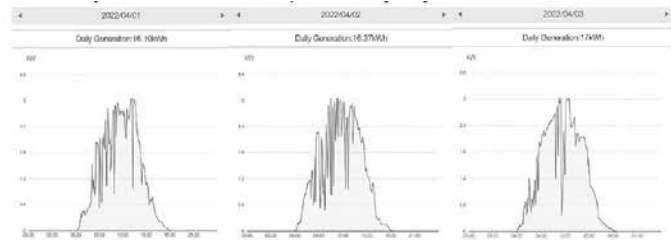
Hệ thống khử mặn có công suất 200 L/h sau khi được lắp đặt hoàn chỉnh (Hình 5) và được vận hành với áp suất hoạt động của cột RO là 52 bar, với tỷ lệ thu hồi nước $r = 20\%$. Nước vào hệ thống có nhiệt độ 290C và pH = 7,6. Kết quả phân tích mẫu nước đầu vào và đầu ra của hệ thống khử mặn được thể hiện ở Bảng 5.

giảm nhưng vẫn nằm trong khoảng cho phép. Thí nghiệm này, pH không giảm nhiều do đã được điều chỉnh bởi cột bổ sung khoảng lắp đặt sau hệ thống, góp phần ổn định pH. Độ mặn trong nước đầu vào có giá trị là 11,6‰; sau khi qua hệ thống khử mặn thì độ mặn là 0‰, với hiệu suất khử mặn đạt 100%. Độ cứng của nước đầu vào là 2.400 mgCaCO₃/L, thấp hơn 3 lần so với nước biển trong thí nghiệm trước. Sau hệ thống khử mặn, độ cứng còn 4,00 mgCaCO₃/L, với hiệu suất xử lý đạt 99,8%. Kết quả này xấp xỉ với hiệu suất của thí nghiệm đánh giá hiệu suất màng lọc RO (99,5%). Hiệu suất xử lý chất rắn hòa tan (TDS) đạt 99,6% cao hơn so với thí nghiệm đánh giá hiệu suất màng lọc RO (99,5%). Sau khi được xử lý, các vi sinh vật (tổng Coliform và E. coli) đều không phát hiện có thể do vi sinh trong nước đã bị loại bỏ bởi màng RO và đèn UV được lắp đặt ở công đoạn khử trùng cuối hệ thống.

3.3.2. Đánh giá hiệu quả sử dụng hệ thống pin năng lượng mặt trời

Hệ thống pin năng lượng mặt trời được lắp đặt để cung cấp điện vận hành hệ thống khử mặn tại thực địa. Công suất của hệ thống pin năng lượng mặt trời được tính toán dựa vào tổng công suất của hệ thống xử lý mặn (2,64 kW). Hệ thống gồm các tấm pin với công suất 470 W/tấm được chọn. Vì lượng điện được sản xuất từ tấm pin phụ thuộc vào các yếu tố gồm cường độ bức xạ mặt trời, thời gian nắng, hiệu suất của tấm pin, nên tổng số tấm pin của hệ thống là 7 tấm. Hệ thống năng lượng mặt trời được kết nối với mạng Wifi để giám sát hoạt động của hệ thống thông qua ứng dụng Solarman.

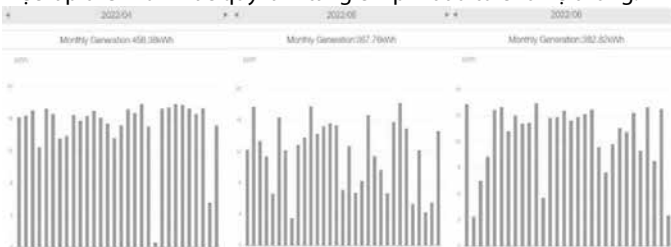
Lượng điện tạo ra bởi hệ thống có thể được theo dõi bất kỳ lúc nào. Hình 6 cho thấy sự biến động của lượng điện tạo ra trong 3 ngày liên tục tại bởi hệ thống thông qua ứng dụng Solarman.



Hình 6. Sản lượng điện được tạo ra từ hệ thống pin mặt trời trong 3 ngày liên tục 01, 02, 03/4/2023

Theo các biểu đồ ở Hình 6 có thể thấy thời gian hoạt động của hệ thống bắt đầu từ lúc 6 giờ và dừng hoạt động lúc 18 giờ. Lượng điện được tạo ra nhiều nhất ở khung giờ từ 11 giờ đến 14 giờ. Lượng điện tạo ra cao nhất trong ngày lên đến 3,06 kWh nên có thể đáp ứng cung cấp điện đủ cho hệ thống khử mặn (tổng công suất tiêu thụ của hệ thống khử mặn là 2,64 kW). Tuy nhiên, do phụ thuộc rất nhiều vào cường độ bức xạ mặt trời nên lượng điện tạo ra không đều theo thời gian. Các biểu đồ Hình 7, cho thấy sự biến động lượng điện tạo ra trong tháng của hệ thống. Do vậy, để hệ thống khử mặn hoạt động ổn định, biến tần đã sử dụng thêm điện lưới để bù vào lượng điện thiếu vào những thời điểm hệ thống pin mặt trời không tạo đủ lượng điện yêu cầu.

Nếu hệ thống khử mặn hoạt động khoảng 4 giờ trong ngày, thì lượng điện cần cung cấp trong 1 tháng cho hệ thống khử mặn là 317 kWh. Vào tháng 4, 5 và 6/2023, tổng lượng điện được tạo ra bởi hệ thống pin mặt trời trong tháng lần lượt là 458 kWh, 368 kWh và 383 kWh (Hình 7). Có thể thấy, lượng điện tạo ra bởi hệ thống pin mặt trời ở các tháng theo dõi đều cao hơn với lượng điện tiêu thụ. Tuy nhiên, lượng điện tạo ra giữa các tháng không đồng đều. Chẳng hạn, lượng điện tạo ra cao nhất của 1 ngày trong tháng 4/2022 là 17,9 kWh (ngày 19/4/2022), lượng điện tạo ra thấp nhất là 0,66 kWh (ngày 21/4/2023). Do đó, để hệ thống khử mặn hoạt động hiệu quả cần lắp đặt thêm các bình ắc-quy để tích trữ điện. Khi đó, lượng điện tạo ra thiếu thì sẽ lấy điện từ bình ắc quy để bù cho hệ thống, nhưng việc lắp thêm bình ắc quy làm tăng chi phí đầu tư cho hệ thống.



Hình 7. Sản lượng điện tạo ra bởi hệ thống ở tháng 4, 5 và 6/2023

4. KẾT LUẬN

Kết quả khảo sát của nghiên cứu cho thấy tính chất nước biển có sự biến động rộng tại các vùng biển đảo và ven bờ. Do đó, để áp dụng công nghệ lọc cho hệ thống khử mặn thì cần lựa chọn màng lọc phù hợp, để đảm bảo hiệu quả khử mặn.

Nghiên cứu đã đề xuất công nghệ xử lý nước biển hoàn chỉnh. Hệ thống xử lý mặn gồm hai giai đoạn chính: giai đoạn tiền xử lý để loại bỏ cặn lắng lơ lửng vô cơ, các xác bã hữu cơ, mùi và khử bỏ phen (nếu có) trong nước và giai đoạn xử lý chính với hạng mục lõi là màng RO để khử mặn.

Nước sau xử lý có chất lượng đạt Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt QCVN 01-

1:2018/BYT. Hệ thống xử lý mặn sử dụng điện năng được cung cấp từ hệ thống năng lượng mặt trời hòa lưới, đảm bảo cung cấp điện ổn định. Do vậy, hệ thống có tiềm năng để xử lý nước mặn nhiễm mặn cung cấp nước sạch ở những vùng không tiếp cận được mạng lưới cấp nước sạch, vùng bị xâm nhập mặn, vùng ven biển/hải đảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2021), *Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia 2016-2020*, Hà Nội;
2. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2018), *Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2018. Chuyên đề: Môi trường nước các lưu vực sông*, Hà Nội;
3. Công ty TNHH MTV Cấp nước Hải Phòng (2015), *Kế hoạch phát triển hệ thống cấp nước Hải Phòng*;
4. Cục thông tin khoa học và công nghệ quốc gia (2016), *Xâm nhập mặn tại Đồng bằng sông Cửu Long nguyên nhân, tác động và các giải pháp ứng phó*, Hà Nội;
5. Nguyễn Ngọc Dung (2009), *Xử lý nước cấp*, NXB Xây dựng, Hà Nội;
6. Trịnh Xuân Lai (2000), *Xử lý nước thiên nhiên cấp cho sinh hoạt và công nghiệp*, NXB Xây dựng Hà Nội;
7. Trần Đức Hạ (2010), *Nghiên cứu ứng dụng màng lọc nano trong công nghệ xử lý nước biển áp lực thấp thành nước sinh hoạt cho các vùng ven biển và hải đảo Việt Nam*. Đề tài cấp Nhà nước. Mã số: ĐTDL.2010T/31;
8. Nguyễn Hoài Châu, Cao Văn Chung, Lê Xuân Thịnh, (2005). *Một số kết quả nghiên cứu xử lý nước nhiễm mặn bằng thiết bị điện thẩm tách tự chế tạo*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ. 43(2):114-120;
9. Đoàn Thu Hà, (2014). *Đánh giá mức độ tổn thương do biến đổi khí hậu tới cấp nước nông thôn vùng Đồng bằng sông Cửu Long*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường. 46: 34-40;
10. J.C. Schippers (2000), *Monitoring scaling in nanofiltration and reverse osmosis membrane systems*; Elsevier B.V;
11. Kitakyushu (2006), *Water Management*;
12. Imran Ali & V.K. Gupta, *Advances in water treatment by adsorption technology*, Published online 11 January 2007;
13. Burn, S., Hoang, M., Zarzo, D., Olewniak, F., Campos, E., Bolto, B., Barron O., 2015. *Desalination techniques – A review of the opportunities for desalination in agriculture*. Desalination. 364: 2-16.
14. Subramani, A., Jacangelo, J.G., 2015. *Emerging desalination technologies for water treatment: A critical review*. Water research. 75:164-187.
15. Subramani, A., Badruzzaman, M., Oppenheimer, J., Jacangelo, J.G., 2011. *Energy minimization strategies and renewable energy utilization for desalination: A review*. Water research. 45:1907-1920.