

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Nguyễn Thị Thúy

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG CỦA
DUNG DỊCH LÔI CUỐN MALTODEXTRIN TRONG QUÁ TRÌNH
THÂM THẤU XUÔI ĐỀ KHỬ MẶN**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ:
KỸ THUẬT HÓA HỌC, VẬT LIỆU, LUYỆN KIM VÀ MÔI
TRƯỜNG**

Hà nội - 2022

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Nguyễn Thị Thúy

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG CỦA
DUNG DỊCH LÔI CUỐN MALTODEXTRIN TRONG QUÁ
TRÌNH THẨM THẤU XUÔI ĐỂ KHỬ MẶN**

Chuyên ngành : Kỹ thuật môi trường

Mã số : 952 03 20

**LUẬN VĂN THẠC SĨ:
KỸ THUẬT HÓA HỌC, VẬT LIỆU, LUYỆN KIM VÀ MÔI
TRƯỜNG**

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

Hướng dẫn 1: PGS.TS. Nguyễn Quang Trung

Hướng dẫn 2 : TS. Lê Văn Nhân

Hà Nội – 2022

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận văn tốt nghiệp: “*Nghiên cứu đánh giá tiềm năng ứng dụng của dung dịch lồi cuốn Maltodextrin trong quá trình thẩm thấu xuôi để khử mặn*” là công trình nghiên cứu của bản thân. Những phân sử dụng tài liệu tham khảo trong luận văn đã được nêu rõ trong phần tài liệu tham khảo. Các số liệu, kết quả trình bày trong luận văn là hoàn toàn trung thực, nếu sai tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm và chịu mọi kỷ luật của bộ môn và nhà trường đề ra.

Hà Nội, ngày tháng năm 2022

Học viên

Nguyễn Thị Thúy

LỜI CẢM ƠN

Để hoàn thành được Luận văn này, trước tiên xin tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến PGS.TS. Nguyễn Quang Trung và TS. Lê Văn Nhân - Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển Giao Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam - đã tận tình hướng dẫn, chỉ bảo, giúp đỡ tôi trong suốt thời gian nghiên cứu luận văn.

Tôi xin chân thành cảm ơn tới tập thể cán bộ Phòng thí nghiệm Trung tâm An toàn thực phẩm và Môi trường, Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển Giao Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam - đã tạo điều kiện thuận lợi giúp đỡ tôi về cơ sở vật chất, kinh nghiệm và trợ giúp tôi rất nhiều trong thời gian tôi thực hiện luận văn.

Tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến toàn thể các thầy cô trong Học viện Khoa học và Công nghệ – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã giảng dạy, và tạo điều kiện cho tôi trong quá trình học tập và nghiên cứu tại học viện. Những kiến thức mà tôi nhận được sẽ là hành trang giúp chúng tôi vững bước trong tương lai.

Tôi xin chân thành cảm ơn Lãnh đạo và đồng nghiệp Viện Khoa học Môi trường và Sức khỏe Cộng đồng đã tạo điều kiện, hỗ trợ và giúp đỡ tôi trong suốt thời gian học Thạc sỹ.

Cuối cùng, tôi xin cảm ơn gia đình, bạn bè, người thân đã luôn ở bên để động viên và là nguồn cổ vũ lớn lao, là động lực giúp tôi hoàn thành luận văn này.

Hà Nội, ngày tháng năm 2022

Học viên

Nguyễn Thị Thúy

MỤC LỤC

| | |
|--|-------------|
| LỜI CAM ĐOAN | 1 |
| LỜI CẢM ƠN | ii |
| MỤC LỤC | iii |
| DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT | vi |
| DANH MỤC BẢNG | viii |
| DANH MỤC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ | ix |
| MỞ ĐẦU | xi |
| 1. Lý do chọn đề tài..... | xi |
| 2. Mục tiêu nghiên cứu..... | xii |
| 3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu..... | xii |
| 4. Nội dung nghiên cứu | xiii |
| 5. Phương pháp nghiên cứu..... | xiii |
| 6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận văn | xiv |
| 7. Bố cục của luận văn | xv |
| CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÀI LIỆU..... | 1 |
| 1.1. CÁC CÔNG NGHỆ KHỬ MẶN NƯỚC BIỂN HIỆN NAY | 1 |
| 1.1.1. Các công nghệ chưng cất nhiệt..... | 1 |
| 1.1.2. Công nghệ lọc qua màng | 1 |
| 1.1.3. So sánh các công nghệ khử mặn | 3 |
| 1.2. CÔNG NGHỆ LỌC THẨM THẤU XUÔI (FO) | 5 |
| 1.2.1. Cơ sở khoa học của quá trình thẩm thấu xuôi | 5 |
| 1.2.2. Ảnh hưởng của việc lựa chọn dung dịch lồi cuốn lên hiệu quả lọc FO .. | 7 |
| 1.2.3. Ảnh hưởng của việc lựa chọn loại màng lọc lên hiệu quả lọc FO | 11 |
| 1.2.4. Ảnh hưởng của bản chất dung dịch đầu vào lên hiệu quả lọc FO..... | 14 |
| 1.2.5. Các yếu tố khác ảnh hưởng lên hiệu quả lọc FO..... | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 1.3. ỨNG DỤNG CỦA CÔNG NGHỆ LỌC FO TRONG XỬ LÝ VÀ SẢN XUẤT NƯỚC SẠCH | 18 |
| 1.3.1. Ứng dụng công nghệ FO trong khử mặn sản xuất nước sạch từ nước biển và nước lợ | 18 |
| 1.3.2. Tình hình nghiên cứu trong nước liên quan đến công nghệ lọc FO | 20 |
| CHƯƠNG 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU | 23 |
| 2.1. VẬT LIỆU, HOÁ CHẤT, VÀ THIẾT BỊ | 23 |
| 2.1.1. Vật liệu | 23 |
| 2.1.2. Nguyên liệu và hóa chất | 24 |
| 2.1.3. Thiết bị..... | 25 |
| 2.2. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM | 26 |
| 2.2.1. Phương pháp thử nghiệm lựa chọn chất lõi cuộn và màng lọc thẩm thấu xuôi | 28 |
| 2.2.2. Phương pháp thử nghiệm khảo sát ảnh hưởng của các thông số vận hành lên khả năng lõi cuộn của dung dịch Maltodextrin | 32 |
| 2.2.3. Phương pháp đánh giá tính ổn định của hệ thống lọc FO | 32 |
| 2.2.4. Phương pháp đánh giá hiệu quả khử mặn và sản xuất nước ngọt của hệ thống lọc kết hợp FO/ LPRO với chất lõi cuộn Maltodextrin..... | 32 |
| 2.3. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH | 35 |
| 2.3.1. Phân tích những thông số đặc trưng của nước | 35 |
| 2.3.2. Phân tích cấu trúc vi mô của màng lọc FO..... | 36 |
| CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN..... | 38 |
| 3.1. KẾT QUẢ KHẢO SÁT NGUỒN NƯỚC ĐẦU VÀO THỰC TẾ | 38 |
| 3.1.1. Kết quả phân tích đối với các mẫu nước mặn và nước bị ô nhiễm thực tế | 38 |
| 3.1.2. Kết quả phân tích đối với các mẫu nước mặn và nước nhiễm mặn thực tế sau xử lý sơ bộ..... | 43 |
| 3.2. KẾT QUẢ KHẢO SÁT TÍNH CHẤT MÀNG LỌC THẨM THẤU XUÔI..... | 47 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3. KẾT QUẢ KHẢO SÁT TIỀM NĂNG LÔI CUỐN CỦA DUNG DỊCH MALTODEXTRIN | 53 |
| 3.3.1. Kết quả thử nghiệm xác định nồng độ thích hợp của dung dịch lõi cuộn Maltodextrin | 54 |
| 3.3.2. Kết quả thử nghiệm khả năng hoàn nguyên của dung dịch Maltodextrin | 58 |
| 3.3.3. Kết quả so sánh với một số chất lõi cuộn đã biết khác | 64 |
| 3.4. KẾT QUẢ KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ VẬN HÀNH KHÁC LÊN KHẢ NĂNG LÔI CUỐN CỦA DUNG DỊCH MALTODEXTRIN | 67 |
| 3.4.1. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của thời gian vận hành kéo dài lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn, và lựa chọn loại màng lọc phù hợp | 67 |
| 3.4.2. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của lưu lượng dòng vào lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn..... | 73 |
| 3.4.3. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của chênh lệch áp suất dòng vào lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn | 75 |
| 3.4.4. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của hướng dòng chảy lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn..... | 78 |
| 3.4.5. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ vận hành lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn..... | 81 |
| 3.5. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ KHỬ MẶN VÀ SẢN XUẤT NƯỚC NGỌT CỦA HỆ THỐNG LỌC KẾT HỢP FO/LPRO VỚI CHẤT LÔI CUỐN MALTODEXTRIN | 83 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO | 87 |
| PHỤ LỤC 1 – MỘT SỐ HÌNH ẢNH TRONG QUÁ TRÌNH THỰC HIỆN NGHIÊN CỨU | 90 |
| PHỤ LỤC 2 – CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN VĂN | 93 |

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

| Chữ viết tắt | Giải thích |
|--------------|---|
| A3C | Amoni sắt (III) citrat |
| A2S | Amoni sắt (II) sunphat |
| A3S | Amoni sắt (III) sunphat |
| BYT | Bộ Y tế |
| COD | Chemical Oxygen Demand (nhu cầu oxy hóa học) |
| DO | Dissolved Oxygen (oxy hòa tan) |
| DOC | Dissolved Organic Carbon (cacbon hữu cơ hòa tan) |
| FO | Forward Osmosis (thẩm thấu xuôi) |
| GMH | $g/m^2.h$ |
| HĐBM | Hoạt động bề mặt |
| ICP | Internal Concentration Polarization (phân cực nồng độ cục bộ trong màng) |
| LMH | $L/m^2.h$ |
| LPRO | Low-pressure Reverse Osmosis (thẩm thấu ngược áp suất thấp) |
| MAL | Maltodextrin |
| MD | Membrane Distillation (chưng cất qua màng) |
| MF | Micro Filtration (lọc màng kích thước micro) |

| | |
|------|---|
| NF | Nano Filtration (lọc màng kích thước nano) |
| O&G | Oils and Greases (dầu mỡ) |
| PCBs | Polychlorinated Biphenyls (các hợp chất biphenyl đa clo hóa) |
| PP | Polypropylene (nhựa polypropylen) |
| PRO | Pressure Retarded Osmosis (Thẩm thấu xuôi giảm áp) |
| QCVN | Quy chuẩn Việt Nam |
| RO | Reverse Osmosis (thẩm thấu ngược) |
| SDGs | Sustainable Development Goals (Các Mục tiêu Phát triển Bền vững) |
| SEM | Scanning Electron Microscope (kính hiển vi điện tử quét) |
| SWRO | Thẩm thấu ngược cho nước biển |
| TDS | Total Dissolved Solids (tổng chất rắn hòa tan) |
| TFC | Thin-film Composite (composit lớp mỏng) |
| TSS | Total Suspended Solids (tổng chất rắn huyền phù) |
| UF | Ultra filtration (siêu lọc) |
| WHO | World Health Organization (Tổ chức Y tế Thế giới) |

DANH MỤC BẢNG

| | |
|--|----|
| Bảng 1.1 So sánh các công nghệ khử mặn nước biển..... | 4 |
| Bảng 1.2 Một số chất lõi cuốn/ dung dịch lõi cuốn sử dụng trong các hệ thống khử mặn vận dụng công nghệ lọc FO, và phương pháp hoàn nguyên tương ứng ... | 9 |
| Bảng 2.1 Thông số kỹ thuật cơ bản của một số loại màng lọc/ modul lọc được sử dụng | 24 |
| Bảng 2.2 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn | 31 |
| Bảng 2.3 Các chỉ tiêu cùng phương pháp và kỹ thuật phân tích tương ứng đối với những nguồn nước thực tế | 35 |
| Bảng 3.1 Kết quả phân tích một số chỉ tiêu của các mẫu nước biển | 39 |
| Bảng 3.2 Kết quả phân tích một số chỉ tiêu của các mẫu nước cửa sông..... | 40 |
| Bảng 3.3. Kết quả phân tích một số chỉ tiêu của các mẫu nước nhiễm mặn .. | 41 |
| Bảng 3.4 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc tính màng lọc | 47 |
| Bảng 3.5 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn của Maltodextrin | 55 |
| Bảng 3.6. Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn sau thời gian vận hành kéo dài | 68 |
| Bảng 3.7 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn phụ thuộc lưu lượng dòng vào | 74 |
| Bảng 3.8 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn phụ thuộc chênh lệch áp suất dòng vào..... | 76 |
| Bảng 3.9 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn phụ thuộc hướng dòng chảy | 79 |
| Bảng 3.10 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn phụ thuộc hướng nhiệt độ vận hành | 81 |
| Bảng 3.11 Kết quả phân tích một số chỉ tiêu của các mẫu nước sau xử lý | 85 |

DANH MỤC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

| | |
|--|----|
| Hình 1.1 Sơ đồ hệ thống lọc thẩm thấu xuôi FO | 7 |
| Hình 2.1 Sơ đồ hệ thống thử nghiệm lọc FO quy mô phòng thí nghiệm..... | 26 |
| Hình 2.2 Sơ đồ khối các phương pháp thực nghiệm lựa chọn chất lõi cuốn, màng lọc thẩm thấu xuôi, và các điều kiện vận hành | 27 |
| Hình 2.3 Hệ thống lọc FO quy mô phòng thí nghiệm cơ bản..... | 28 |
| Hình 3.1 Hiệu quả của các bước tiền xử lý đối với một số chỉ tiêu quan trọng của mẫu nước biển đại diện..... | 44 |
| Hình 3.2 Hiệu quả của các bước tiền xử lý đối với một số chỉ tiêu quan trọng của mẫu nước cửa sông đại diện | 44 |
| Hình 3.3 Hiệu quả của các bước tiền xử lý đối với một số chỉ tiêu quan trọng của mẫu nước nhiễm mặn đại diện..... | 45 |
| Hình 3.4 Thể tích nước thẩm thấu qua màng lọc FO-TFC (trên) và qua màng lọc FO-CTA (dưới) khi sử dụng dung dịch lõi cuốn với nồng độ NaCl thay đổi trong khoảng 10 – 60 ‰ | 48 |
| Hình 3.5 Thông lượng nước thẩm thấu qua màng lọc FO-TFC (trên) và qua màng lọc FO-CTA (dưới) khi sử dụng dung dịch lõi cuốn với nồng độ NaCl thay đổi trong khoảng 10 – 60 ‰ | 49 |
| Hình 3.6 Thông lượng chất lõi cuốn thẩm thấu ngược qua màng lọc FO-TFC (trên) và qua màng lọc FO-CTA (dưới) khi sử dụng dung dịch lõi cuốn với nồng độ NaCl thay đổi trong khoảng 10 – 60 ‰..... | 50 |
| Hình 3.7 Cấu trúc của Maltodextrin..... | 53 |
| Hình 3.8 Đặc trưng thông lượng nước thẩm thấu qua màng khi sử dụng dung dịch lõi cuốn chứa Maltodextrin (MAL)..... | 56 |
| Hình 3.9 Đặc trưng thông lượng chất lõi cuốn thẩm thấu ngược qua màng khi sử dụng dung dịch lõi cuốn chứa Maltodextrin (MAL), với nguồn nước đầu vào là nước de-ion..... | 57 |
| Hình 3.10 Ảnh hưởng của áp suất lọc và công suất bơm lên thông lượng nước sạch qua màng và giá trị TDS của nước sạch cho hệ thống lọc NF | 60 |

| | |
|--|----|
| Hình 3.11 Ảnh hưởng của áp suất lọc và công suất bơm lên thông lượng nước sạch qua màng và giá trị TDS của nước sạch cho hệ thống lọc LPRO | 61 |
| Hình 3.12 Ảnh hưởng của áp suất lọc và công suất bơm lên hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống lọc NF (trên) và hệ thống lọc LPRO (dưới) | 62 |
| Hình 3.13 Thông lượng nước thẩm thấu qua màng khi sử dụng những dung dịch lô cuộn khác nhau, tại những độ mặn của nguồn nước đầu vào khác nhau | 64 |
| Hình 3.14 Thông lượng chất lô cuộn thẩm thấu ngược qua màng khi sử dụng những dung dịch lô cuộn khác nhau | 65 |
| Hình 3.15 Hiệu suất tổn hao chất lô cuộn do thẩm thấu ngược qua màng khi sử dụng những dung dịch lô cuộn khác nhau | 65 |
| Hình 3.16 Ảnh hưởng của thời gian vận hành liên tục lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng | 69 |
| Hình 3.17 Ảnh SEM chụp bề mặt lớp lọc của màng lọc FO-TFC nguyên bản (a, b), sau vận hành 168 tiếng (c), và sau khi rửa (d)..... | 70 |
| Hình 3.18 Ảnh SEM chụp bề mặt lớp lọc của màng lọc FO-CTA nguyên bản (a, b), sau vận hành 168 tiếng (c), và sau khi rửa (d)..... | 71 |
| Hình 3.19 Ảnh SEM chụp bề mặt lớp nền của màng lọc FO-TFC nguyên bản (trên) và màng lọc FO-CTA nguyên bản (dưới) sau 168 tiếng vận hành | 72 |
| Hình 3.20 Ảnh hưởng của lưu lượng dòng vào lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng | 75 |
| Hình 3.21 Ảnh hưởng của chênh lệch áp suất dòng vào lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng | 77 |
| Hình 3.22 Ảnh hưởng của hướng dòng chảy lên sự chênh lệch nồng độ dung dịch hai phía của màng lọc..... | 80 |
| Hình 3.23 Ảnh hưởng của hướng dòng chảy lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng | 80 |
| Hình 3.24 Ảnh hưởng của nhiệt độ vận hành lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng | 82 |

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Nước ngọt là một trong những nguồn tài nguyên quan trọng và có vai trò thiết yếu đối với con người cũng như mọi sinh vật sống trên Trái Đất. Tuy nhiên, trong những năm gần đây, sự gia tăng dân số, ô nhiễm nguồn nước do các hoạt động sản xuất nông nghiệp và công nghiệp, hiện tượng xâm nhập mặn và nước biển dâng do biến đổi khí hậu toàn cầu, hoạt động xây dựng các công trình thủy điện và chứa nước tại khu vực thượng lưu của những hệ thống sông lớn, v.v. là các nguyên nhân gây ra tình trạng thiếu nước ngọt phục vụ nhu cầu sinh hoạt và sản xuất của người dân, đặc biệt là trong những tháng mùa khô. Tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long, hiện tượng xâm nhập mặn đang diễn ra hết sức nghiêm trọng, với nhiều khu vực bị nhiễm mặn mạnh tới sâu hơn 60 km trong đất liền, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến nguồn cung cấp nước ngọt cho người dân.

Không chỉ riêng tại Việt Nam, hiện tượng suy giảm nguồn tài nguyên nước ngọt cũng là một vấn đề hiện đang được quan tâm tại nhiều quốc gia trên thế giới. Đáng chú ý, vào năm 2015, toàn bộ 193 quốc gia thành viên của tổ chức Liên Hợp Quốc đã nhất trí thông qua nghị quyết A/RES/70/1 về Kế hoạch Phát triển Bền vững đến năm 2030 (The 2030 Agenda for Sustainable Development) bao gồm một hệ thống các Mục tiêu Phát triển Bền vững (Sustainable Development Goals – SDGs) với 17 mục tiêu chính và 169 mục tiêu cụ thể, trong đó mục tiêu chính thứ sáu chính là Vệ sinh và Nước sạch. Điều này đã cho thấy mối quan tâm của các quốc gia trên thế giới đối với vấn đề đảm bảo nguồn nước ngọt cung cấp cho người dân, cũng như tầm quan trọng của nguồn nước ngọt đối với sự phát triển của nền kinh tế và xã hội.

Trước nhu cầu thực tiễn đó, trên thế giới đã phát triển rất nhiều công nghệ mới và hiện đại nhằm mục đích sản xuất nước ngọt nói chung, và nước sạch nói riêng, từ những nguồn nước khó xử lý như nước thải hay nước biển. Trong đó, khử mặn được đánh giá là một trong những giải pháp đầy tiềm năng, do nước mặn là một nguồn nước rất dồi dào và dễ tiếp cận, đồng thời

thường không chứa hàm lượng các chất gây ô nhiễm quá cao khi so sánh với những nguồn nước thải khác nhờ hiệu ứng “pha loãng” của đại dương.

Theo thống kê cho đến nay 21.000 cơ sở sản xuất nước ngọt dựa vào công nghệ khử mặn hiện đang hoạt động trên khắp thế giới, với cơ sở lớn nhất là Nhà máy Khử mặn và Phát điện Ras Al-Khair tại Saudi Arabia cho công suất vận hành bình thường lên tới 1,4 triệu m³ nước ngọt/ngày. Đồng thời, nhiều cơ sở sản xuất nước ngọt dựa vào công nghệ khử mặn khác hiện cũng đang được xây dựng và đưa vào vận hành tại nhiều quốc gia, đặc biệt là tại các quốc gia phát triển và các quốc gia thuộc khu vực Trung Đông.

Như vậy, có thể thấy được rằng sản xuất nước ngọt thông qua công nghệ khử mặn là một xu hướng phát triển tất yếu trên thế giới, và Việt Nam cũng không thể là ngoại lệ. Tuy nhiên, những công nghệ khử mặn đang được sử dụng phổ biến hiện nay (bao gồm công nghệ bay hơi – ngưng tụ và công nghệ lọc thẩm thấu ngược) đều tồn tại một số nhược điểm nhất định, đòi hỏi cần phát triển những công nghệ khử mặn mới hiệu quả và thân thiện hơn với môi trường. Xuất phát từ thực tiễn trên, tôi xin chọn đề tài “*Nghiên cứu đánh giá tiềm năng ứng dụng của dung dịch lồi cuộn Maltodextrin trong quá trình thẩm thấu xuôi để khử mặn*”.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Đánh giá sự biến đổi của một số thông số kỹ thuật liên quan đến hiệu quả tách nước ngọt từ nước biển của hệ thống lọc thẩm thấu xuôi (FO) sử dụng chất lồi cuộn Maltodextrin như: TDS, pH, thể tích lượng nước ngọt chuyển đổi qua màng FO, v.v.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu

➤ Nước đầu vào: Mẫu nước biển thực lấy từ một số khu vực cửa biển tại Việt Nam, và Mẫu nước biển giả (nước ngọt pha muối) được pha từ muối biển tinh khiết trên nền dung môi nước cất de-ion có độ mặn 30‰.

➤ Chất lồi cuộn: Maltodextrin

➤ Màng lọc: Màng lọc FO-CTA của hãng FTSH2O (Hoa Kỳ), và Màng lọc FO-TFC của hãng Aquaporin (Đan Mạch)

3.2. Phạm vi nghiên cứu

➤ Nghiên cứu được thực hiện trên mô hình hệ thống lọc nước sử dụng màng thẩm thấu xuôi (FO) quy mô phòng thí nghiệm Forward Osmosis CF042 Cell Assembly tại Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

➤ Các thông số ảnh hưởng tới quá trình lọc Thẩm thấu xuôi như nồng độ dung dịch lõi cuộn, nồng độ nguồn nước đầu vào, loại màng lọc, v.v.

4. Nội dung nghiên cứu

➤ Nghiên cứu xác định nồng độ thích hợp của dung dịch lõi cuộn Maltodextrin sử dụng trong quá trình thẩm thấu xuôi để khử mặn.

➤ Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của dung dịch đầu vào đến hiệu quả lọc nước của quá trình thẩm thấu xuôi sử dụng dung dịch lõi cuộn Maltodextrin.

➤ Nghiên cứu đánh giá các yếu tố ảnh hưởng khác đến hiệu quả khử mặn của quá trình thẩm thấu xuôi sử dụng dung dịch lõi cuộn Maltodextrin.

5. Phương pháp nghiên cứu

5.1. Phương pháp tổng hợp tài liệu

Thu thập và tham khảo các công bố công bố trong và ngoài nước có liên quan đến đề tài, nhằm cập nhật một cách tốt nhất những kết quả nghiên cứu liên quan đến nội dung nghiên cứu.

5.2. Phương pháp thử nghiệm lọc Thẩm thấu xuôi quy mô phòng thí nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện trên mô hình hệ thống lọc nước sử dụng màng thẩm thấu xuôi (FO) quy mô phòng thí nghiệm Forward Osmosis CF042 Cell Assembly kết hợp với mô hình hệ thống lọc nước áp suất cao quy mô phòng thí nghiệm Crossflow CF042 Cell Assembly tại Trung tâm Nghiên

cứu và Chuyển giao công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Chi tiết thực hiện thử nghiệm sẽ được trình bày cụ thể tại mục liên quan bên dưới.

5.3. Phương pháp xử lý số liệu

Thử nghiệm lọc Thẩm thấu xuôi quy mô phòng thí nghiệm thông thường được thực hiện lặp lại tối thiểu năm lần nhằm hạn chế sự ảnh hưởng của các sai số và điều kiện bất thường lên kết quả nghiên cứu. Trong mỗi nhóm thử nghiệm, các kết quả sẽ được lấy giá trị trung bình, với độ tin cậy thống kê trên 95%.

Bên cạnh đó, các kết quả nghiên cứu cũng sẽ được xử lý thông qua phương pháp tính toán nhằm thu được những thông số cho phép đánh giá hiệu quả của quá trình lọc Thẩm thấu xuôi. Chi tiết về phương pháp tính toán sẽ được trình bày cụ thể tại mục liên quan bên dưới.

5.4. Phương pháp phân tích

Chất lượng nguồn nước đầu vào thực tế, cũng như chất lượng nguồn nước sạch sản xuất ra sẽ được đánh giá theo hệ thống các thông số dựa trên Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt QCVN 01-1:2018/BYT do Cục Quản lý môi trường y tế biên soạn, Vụ Pháp chế trình duyệt, Bộ Khoa học và Công nghệ thẩm định, Bộ Y tế ban hành kèm theo Thông tư số 41/2018/TT-BYT ngày 14/12/2018. Chi tiết về thông số đánh giá, phương pháp phân tích, và giới hạn giá trị cho phép sẽ được trình bày cụ thể tại mục liên quan bên dưới.

Bên cạnh đó, cấu trúc vi mô của bề mặt màng lọc cũng sẽ được đánh giá thông qua phương pháp Kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscope – SEM).

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận văn

➤ Đóng góp vào hệ thống nghiên cứu về phương pháp lọc thẩm thấu khử mặn tại Việt Nam nói riêng, và trên thế giới nói chung.

➤ Khảo sát, xác định được chất lõi cuộn mới tiềm năng, phù hợp ứng dụng trong các hệ thống lọc thẩm thấu khử mặn tại Việt Nam, cũng như trên thế giới.

➤ Đóng góp vào việc phát triển các phương pháp khử mặn và sản xuất nước ngọt tại Việt Nam, giúp giải quyết tình trạng thiếu nước và xâm nhập mặn đang diễn ra ngày càng phức tạp tại Việt Nam do hậu quả của hiện tượng biến đổi khí hậu toàn cầu.

7. Bố cục của luận văn

Luận văn này bao gồm những mục chính như sau :

- Mở đầu – 5 trang
- Chương 1. Tổng quan tài liệu – 22 trang
- Chương 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu – 15 trang
- Chương 3. Kết quả và thảo luận – 48 trang
- Kết luận và kiến nghị - 1 trang
- Tài liệu tham khảo – 3 trang
- Phụ lục – 4 trang

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÀI LIỆU

1.1. CÁC CÔNG NGHỆ KHỬ MẶN NƯỚC BIỂN HIỆN NAY

1.1.1. Các công nghệ chưng cất nhiệt

1.1.1.1. Chưng cất nhanh nhiều bậc (*Multistage Flash Distillation – MSFD*)

Trong quá trình chưng cất nhanh nhiều bậc, nước biển được làm nóng lên và bay hơi, sau đó hơi nước được cô đọng lại để sản xuất nước đã được khử muối. Hơi nước được cô đặc này sẽ được sử dụng như là một nguồn năng lượng nhiệt để làm nóng nước biển chảy vào. Sự bay hơi và phần cô đặc lại được phân chia thành nhiều giai đoạn lặp đi lặp lại nhiều lần, do đó làm tăng thêm phần hiệu quả. Một trong những tính năng tốt của quá trình xử lý nước chưng cất nhanh nhiều bậc là khả năng sản xuất ra số lượng lớn nước ở tại cùng một thời điểm. Bởi vì quá trình này chỉ cần sử dụng máy làm bay hơi áp lực/nhiệt độ thấp như một nguồn năng lượng nhiệt, thay vì các quá trình khử muối này mà phải gây tổn nhiệt từ nhà máy điện.

1.1.1.2. Chưng cất nhiều cấp (*Multieffect Distillation – MED*)

Lượng nước cung cấp bay hơi nhanh, tuy nhiên hầu hết nước biển này được phân tán qua một số ống của máy bay hơi và được đun sôi. Hơi nước sau đó được ngưng tụ lại để sản xuất ra nước sạch, quá trình này được liên tục lặp đi lặp lại. Quá trình bay hơi diễn ra trong một bơm chân không, nước biển bắn ra có thể đạt tới điểm sôi thậm chí kể cả ở nhiệt độ thấp.

1.1.2. Công nghệ lọc qua màng

1.1.2.1. Lọc thẩm thấu ngược (*Reverse Osmosis – RO*)

Thẩm thấu ngược (RO) là một quá trình tách qua màng cho phép nước biển thẩm qua màng nhờ áp suất tác dụng vào lớn hơn áp suất thẩm thấu của nước biển. Màng cho phép nước thẩm qua nhưng giữ lại các muối tan. Với phương pháp này, ta tách được nước tinh khiết (sản phẩm) và phần cặn. Một nhà máy khử muối bằng công nghệ RO điển hình bao gồm ba công đoạn, cụ thể là tiền xử lý, tạo áp và phân tách bằng màng RO và xử lý bổ sung. Mức

tiêu thụ năng lượng phụ thuộc vào hàm lượng muối của nước biển đầu vào. Sự phát triển công nghệ cho phép màng RO có tỉ lệ loại bỏ muối cao, trong khi vẫn duy trì tính thấm cao cũng như giảm năng lượng tiêu thụ.

1.1.2.2. Lọc thẩm tách điện ly (Electrodialysis – ED)

Nguyên tắc của quá trình ED là tách các ion ra khỏi nước bằng cách đẩy các ion này qua màng thẩm ion chọn lọc nhờ lực hút tích điện. Hệ thống ED bao gồm tập hợp các màng đặt giữa đường đi của dòng điện một chiều phát ra từ 2 điện cực ở hai đầu. Nước muối đi qua giữa các màng đặt vuông góc với hướng dòng điện và vận tốc dòng muối phải đủ lớn để xáo trộn hoàn toàn. Về cấu tạo, các màng cation và anion đặt xen kẽ nhau giữa hai điện cực âm, dương ngăn cách bởi đệm plastic và hình thành nên cụm ngăn. Cụm ngăn này có hàng trăm cặp ngăn, mỗi cặp gồm một ngăn loãng và ngăn đậm đặc cạnh nhau. Dòng đậm đặc và loãng được thu qua ống thu riêng.

Dòng một chiều khi qua nước muối sẽ kéo các anion về phía cực dương từ một ngăn qua ngăn kế bên. Màng thẩm chọn lọc anion chỉ cho phép các anion thấm qua (Cl^- , SO_4^{2-}), tuy nhiên các anion sẽ bị giữ lại do màng cation. Tương tự với các màng cation theo hướng ngược lại. Màng thẩm chọn lọc cation chỉ cho phép các cation thấm qua (Na^+ , Ca^{2+}), tuy nhiên các cation sẽ giữ lại do màng anion. Khoảng cách giữa các màng không quá lớn, khoảng 1mm. Do sự di chuyển của các ion, nước trong một ngăn có hàm lượng ion giảm đi trong khi lượng ion trong ngăn kế bên đậm đặc hơn, như vậy sẽ tạo ra hai dòng: dòng khử muối và dòng đậm đặc.

1.1.2.3. Lọc màng kích thước nano (Nanofiltration – NF)

Quá trình tách nước bằng màng NF là quá trình tách dựa trên áp lực, nước vận chuyển qua màng bán thấm, có kích thước cỡ nano. Sự chênh lệch áp suất giữa 2 bên dung dịch đầu vào và dung dịch sau lọc ở 2 bên màng dẫn đến quá trình tách muối khỏi nước. Áp suất vận hành thấp, thông lượng nước lớn và khả năng giữ lại các ion hóa trị cao là các ưu điểm của quá trình NF.

1.1.2.4. Lọc màng thẩm thấu xuôi (*Forward Osmosis – FO*)

Nguyên lý chọn lọc thẩm thấu của màng có thể dựa trên kích thước hoặc dựa trên bản chất hoá học của các thành phần chất hoà tan hoặc chất không hoà tan phân tán trong môi trường cần tiến hành phân tách. Động lực cho quá trình chuyển dịch các thành phần có thể là do chênh lệch về mặt áp suất, chênh lệch về mặt nhiệt độ, chênh lệch về mặt nồng độ, hoặc chênh lệch về mặt điện thế. Khi động lực cho quá trình chuyển dịch các thành phần cần tiến hành phân tách là sự chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa các pha chất lỏng nằm tại hai phía của màng bán thấm, thì quá trình này được gọi là quá trình lọc thẩm thấu xuôi.

1.1.3. So sánh các công nghệ khử mặn

Bảng 1.1 thể hiện sự so sánh các đặc điểm kỹ thuật của các công nghệ khử mặn. Có thể thấy rằng công nghệ FO yêu cầu ít năng lượng tiêu tốn hơn cho mỗi m³ nước so với các phương pháp nhiệt và màng khác. Màng lọc nano đã có những hứa hẹn bước đầu, tuy nhiên vẫn cần thời gian trước khi ứng dụng hiệu quả lý thuyết vào thực tế quá trình khử mặn. Công nghệ màng nano nếu chỉ sử dụng độc lập sẽ có nhiều hạn chế, chẳng hạn như hiện tượng tắc màng, vì vậy cần kết hợp nó với công nghệ khác thích hợp. Chi phí yêu cầu cho một nhà máy FO là thấp hơn rõ ràng so với các công nghệ sử dụng nhiệt, thậm chí cả công nghệ RO.

So với công nghệ RO, FO ít tắc màng hơn, phạm vi ứng dụng hẹp hơn và lượng nước cặn thải ít hơn. Mặc dù chất lượng nước đầu ra dao động trong khoảng rộng hơn các phương pháp nhiệt, nhưng điều đó không quá quan trọng vì thành phần chất rắn hoà tan vẫn dưới giới hạn cho phép của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO). Phát thải khí nhà kính của các phương pháp màng ít hơn đáng kể so với các công nghệ sử dụng nhiệt. Tuy nhiên, dung dịch lồi cuộn và vật liệu màng FO vẫn đang cần nghiên cứu sâu hơn để cải tiến quá trình công nghệ. Bên cạnh đó, so với các công nghệ màng khác, khả năng ít bị tắc màng cũng là ưu điểm của FO.

Bảng 1.1 So sánh các công nghệ khử mặn nước biển [1]

| Đặc trung vận hành | Công nghệ khử mặn | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|-------------------------|---------------|--------------|--|
| | MSF | MED | RO | ED | NF | FO |
| Năng lượng tiêu thụ (kWh/m³) | Điện: 4 – 6 Nhiệt: 55 – 120 | Điện: 2 – 2,5 Nhiệt: 30 – 120 | Điện: 3,5 – 4,5 | < 0,6 | 0,3 - 1 | 0,84 |
| Chất lượng nước tạo ra (mg TDS/L) | 1 – 50 | 1 – 50 | 50 – 90 | 0 – 10 | 30 – 45 | 120 – 200 |
| Chi phí đầu tư | Rất cao | Cao | Thấp – trung bình | Thấp – cao | Thấp | Thấp |
| Sự thay đổi thành phần nước biển | Trung bình – cao | Cao | Rất thấp | Rất cao | Rất thấp | Rất thấp |
| Yêu cầu bảo dưỡng | Trung bình | Thấp | Cao | Cao | Thấp | Cao nhưng thấp hơn so với RO |
| Quy mô ứng dụng | Nhỏ - vừa | Nhỏ | Lớn | Rất nhỏ | Ít hơn RO | Lớn nhưng ít hơn RO |
| Yêu cầu hóa chất | Lớn | Trung bình | Lớn | Nhỏ | Nhỏ | Trung bình |
| Tỉ lệ nước tạo ra/nước đầu vào | 0,1 – 0,2 | 0,1 – 0,25 | 0,3 – 0,5 | 0,8 – 0,9 | 0,7 | 0,3 – 0,85 |

| Đặc trưng vận hành | Công nghệ khử mặn | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|---|---------------|-----------------------|--|--|
| | MSF | MED | RO | ED | NF | FO |
| Yêu cầu kỹ thuật | Cao | Cao – trung bình | Trung bình | Trung bình | Thấp | Thấp |
| Khả năng tắc màng | | | Cao | Thấp | Cao | Thấp |
| Phát thải khí nhà kính | Có | Có | Không đáng kể | Không có thông tin | Không đáng kể | Không đáng kể |
| Hệ thống vận hành tự động hoàn toàn | Có thể | Có thể | Có thể | Có thể | Có thể | Có thể |
| Hạn chế | Bơm, van, hệ thống chân không | Quá trình lắp đặt và xây dựng, độ ổn định của nhà máy | Bơm | Chất ô nhiễm vi khuẩn | Tắc màng, vòng đời của màng bị giới hạn, dư lượng hóa chất còn lại | Thiếu màng lọc tối ưu tạo ra thông lượng nước cao; thiếu dung dịch lõi cuốn lý tưởng |

1.2. CÔNG NGHỆ LỌC THẨM THẤU XUÔI (FO)

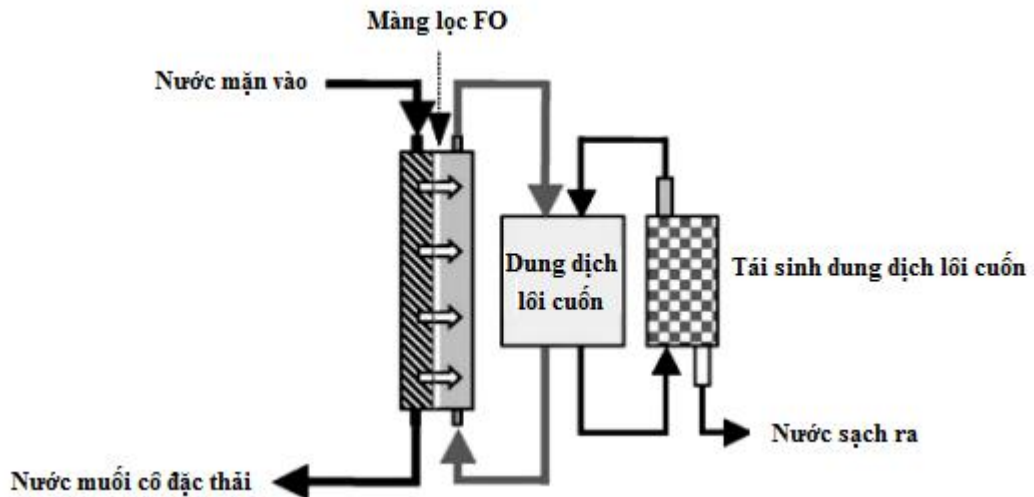
1.2.1. Cơ sở khoa học của quá trình thẩm thấu xuôi

Cơ sở khoa học của các quá trình lọc màng nói chung, và của quá trình lọc thẩm thấu xuôi (FO) nói riêng, là thông qua việc sử dụng một màng lọc phân cách cho phép sự thẩm thấu mang tính chọn lọc của một hay nhiều thành

phần tốt hơn so với các thành phần khác. Nguyên tắc chọn lọc thẩm thấu của màng có thể dựa trên kích thước hoặc dựa trên bản chất hoá học của các thành phần chất hoà tan hoặc chất không hoà tan phân tán trong môi trường cần tiến hành phân tách. Động lực cho quá trình chuyển dịch các thành phần có thể là do chênh lệch về mặt áp suất, chênh lệch về mặt nhiệt độ, chênh lệch về mặt nồng độ, hoặc chênh lệch về mặt điện thế. Khi động lực cho quá trình chuyển dịch các thành phần cần tiến hành phân tách là sự chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa các pha chất lỏng nằm tại hai phía của màng bán thấm, thì quá trình này được gọi là quá trình lọc thẩm thấu xuôi [2].

Cụ thể, trong quá trình khử mặn vận dụng công nghệ lọc thẩm thấu xuôi, việc tách nước được thực hiện dựa trên cơ sở sự chênh lệch áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa dung dịch đầu vào (dung dịch nước mặn, có thành phần chủ yếu là các loại muối hoà tan) với áp suất thẩm thấu thấp hơn và dung dịch lồi cuốn (có thành phần chủ yếu là các loại chất lồi cuốn hoà tan) với áp suất thẩm thấu cao hơn. Hai dung dịch trên được phân cách với nhau bởi màng bán thấm (màng lọc FO), và do tồn tại sự chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa hai dung dịch nên sẽ tạo thành dòng nước di chuyển qua màng lọc FO từ dung dịch đầu vào về hướng dung dịch lồi cuốn. Đồng thời, màng lọc FO cũng có tác dụng ngăn chặn sự di chuyển của các thành phần chất hoà tan khác từ từ dung dịch đầu vào về hướng dung dịch lồi cuốn và ngược lại, đặc biệt là sự di chuyển của các phân tử NaCl, bởi vậy thu được hiệu quả lọc tách nước ra khỏi dung dịch đầu vào [3]. Sơ đồ một hệ thống lọc thẩm thấu xuôi FO cơ bản được trình bày trong **Hình 1.1**.

Như đã trình bày trong **Hình 1.1**, để thu được nước sinh hoạt thì quá trình lọc thẩm thấu xuôi cần được kết hợp thêm với một bước hoàn nguyên dung dịch lồi cuốn đã pha loãng, mà thường thấy nhất chính là kết hợp với các hệ thống cột chưng cất hoặc các hệ thống lọc màng. Tuy nhiên, do bản chất khác biệt giữa dung dịch nước muối và dung dịch chất lồi cuốn, các quá trình xử lý hoàn nguyên dung dịch lồi cuốn để sản xuất nước sạch thường yêu cầu sử dụng ít năng lượng hơn đáng kể so với khi xử lý trực tiếp nguồn nước mặn ban đầu.



Hình 1.1 Sơ đồ hệ thống lọc thẩm thấu xuôi FO

Kết hợp với việc bản thân quá trình lọc FO cũng không yêu cầu quá nhiều năng lượng (do động lực của quá trình là sự chênh lệch áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa dung dịch đầu và dung dịch lồi cuốn), nên nhìn một cách tổng thể thì toàn bộ hệ thống công nghệ khử mặn bằng lọc FO thường yêu cầu mức sử dụng năng lượng thấp hơn nhiều so với hệ thống công nghệ khử mặn bằng lọc RO thông thường [2,3]. Trước xu hướng giảm tiêu thụ năng lượng nhằm đối phó với hiện tượng biến đổi khí hậu toàn cầu trên toàn thế giới nói chung và tại Việt Nam nói riêng, thì đây là một ưu điểm quan trọng giúp công nghệ lọc FO có tiềm năng cạnh tranh và thậm chí là thay thế công nghệ lọc RO.

1.2.2. Ảnh hưởng của việc lựa chọn dung dịch lồi cuốn lên hiệu quả lọc FO

Do dung dịch đầu vào của các hệ thống lọc FO thường là những dung dịch với tính chất cố định, trong đó bao gồm cả áp suất thẩm thấu tự nhiên, nên cần thiết phải lựa chọn những dung dịch lồi cuốn phù hợp với áp suất thẩm thấu tự nhiên cao để đảm bảo hiệu quả cho quá trình lọc FO.

Một cách cụ thể, tồn tại mối quan hệ mật thiết giữa Thông lượng nước (định nghĩa là số đơn vị thể tích nước di chuyển qua màng lọc trên một đơn vị thời gian nhất định) và sự chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa

các dung dịch chảy qua hai mặt của màng lọc FO, được biểu thị qua công thức sau:

$$J_w = A (\Delta\pi - \Delta P)$$

trong đó:

- J_w – Thông lượng nước di chuyển qua màng lọc FO
- A – Hệ số thẩm thấu thủy lực của màng lọc FO
- $\Delta\pi$ – Chênh lệch áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa dung dịch lồi cuộn so sánh với dung dịch đầu vào
- ΔP – Chênh lệch áp suất thủy lực giữa dung dịch đầu vào so sánh với dung dịch lồi cuộn

Đồng thời, áp suất thẩm thấu của một dung dịch bất kỳ có thể được tính toán theo phương trình Van't Hoff, cụ thể như sau:

$$\pi = iCRT$$

trong đó:

- i – Hệ số Van Hoff
- R – Hằng số khí lý tưởng
- T – Nhiệt độ dung dịch
- C – Tổng nồng độ của các cấu tử phân tán trong dung dịch, bao gồm các phân tử chưa phân ly và các ion phân ly từ phân tử chất hoà tan

Bởi vậy, có thể thấy được rằng bản chất hoá học của chất lồi cuộn là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu quả của dung dịch lồi cuộn trong các hệ thống lọc FO. Một chất lồi cuộn lý tưởng cần sở hữu mật độ cao các nhóm hoá học có thể phân ly trong dung dịch tính trên khối lượng phân tử của chất lồi cuộn, từ đó giúp cung cấp áp suất thẩm thấu tự nhiên cao khi chất lồi cuộn được phân tán trong dung dịch.

Bảng 1.2 Một số chất lôi cuốn/ dung dịch lôi cuốn sử dụng trong các hệ thống khử mặn vận dụng công nghệ lọc FO, và phương pháp hoàn nguyên tương ứng [4]

| Chất lôi cuốn/ dung dịch lôi cuốn | Phương pháp hoàn nguyên |
|---|---|
| Khí SO ₂ | Đuổi khí bằng nhiệt |
| Amoni sunphat | Kết tủa với Ca(OH) ₂ |
| Glucose/ Fructose | Không yêu cầu hoặc Lọc RO áp suất thấp |
| Dung dịch dinh dưỡng | Không yêu cầu |
| Dung dịch KNO ₃ và SO ₂ hoà tan | Đuổi khí bằng nhiệt kết hợp làm mát và kết tinh |
| NH ₄ HCO ₃ | Đuổi khí bằng nhiệt |
| Hạt nano từ tính | Tách bằng nam châm hoặc từ trường kết hợp lọc NF áp suất thấp |
| Vật liệu polyme dạng hydrogel | Kích thích phân tách bằng áp suất và/ hoặc nhiệt độ cao |
| Đồng sunphat | Kết tủa với Ba(OH) ₂ |
| Poly (natri 4-styrensunfonat) | Lọc UF áp suất thấp |
| Dendrime | Lọc UF áp suất thấp |
| Albumin | Tách lớp tại nhiệt độ cao |
| Hợp chất hữu cơ gốc 2-Methylimidazol | Lọc RO áp suất thấp hoặc Chung cất qua màng (MD) |
| Muối natri của axit polyacrylic (PAA-Na) | Lọc UF áp suất thấp |
| Poly (natri 4-styrensunfonat -co-n- isopropylacrylamide) | Chung cất qua màng (MD) |
| Các loại muối phức ammonium sắt (II) sunphat, ammonium sắt (III) sunphat, và ammonium sắt (III) citrat | Lọc UF áp suất thấp |

Tuy nhiên, cũng cần chú ý rằng trong quá trình thẩm thấu xuôi, ngoài quá trình khuếch tán qua màng bán thấm của nước thì luôn tồn tại cả xu hướng khuếch tán của các thành phần chất hoà tan khác qua màng bán thấm – các chất lồi cuộn trong dung dịch lồi cuộn có thể khuếch tán sang dung dịch đầu vào và ngược lại, các chất hoà tan trong dung dịch đầu vào có thể khuếch tán sang dung dịch lồi cuộn. Trong đó, bên cạnh vấn đề về hiệu quả kinh tế, sự thất thoát của chất lồi cuộn khỏi dung dịch lồi cuộn còn có thể tạo thành những ảnh hưởng tiêu cực về mặt môi trường, gây ô nhiễm khi dòng nước muối cô đặc nhiễm chất lồi cuộn được thải ra môi trường.

Một vấn đề quan trọng khác cần được cân nhắc khi lựa chọn chất lồi cuộn cho các hệ thống lọc FO khử mặn là khả năng hoàn nguyên của dung dịch lồi cuộn. Như đã đề cập, một ưu điểm nổi bật của công nghệ lọc FO khi so sánh với công nghệ lọc RO là yêu cầu tiêu thụ năng lượng thấp, mà một bộ phận đáng kể trong mức tiêu tốn năng lượng của các hệ thống lọc FO là dành cho công đoạn hoàn nguyên dung dịch lồi cuộn. Do vậy, khi xây dựng một hệ thống khử mặn vận dụng công nghệ lọc FO, cần thiết phải lựa chọn được những dung dịch lồi cuộn (hay cụ thể hơn là chất lồi cuộn) phù hợp có thể dễ dàng hoàn nguyên và yêu cầu mức tiêu tốn năng lượng để hoàn nguyên thấp, nhằm đảm bảo tối ưu hoá hiệu quả của hệ thống lọc FO. Ví dụ về một số loại chất lồi cuộn/ dung dịch lồi cuộn đã được ứng dụng thực tiễn trong các hệ thống khử mặn vận dụng công nghệ lọc FO, cùng phương pháp hoàn nguyên tương ứng được trình bày trong **Bảng 1.2**.

Bên cạnh đó, chất lồi cuộn cho các hệ thống lọc FO khử mặn cũng cần đáp ứng được một số yêu cầu mang tính thực tiễn khác nhằm giúp đảm bảo hệ thống lọc FO khử mặn hoạt động một cách hiệu quả nhất, hạn chế tối đa việc xảy ra những sự cố gây ảnh hưởng đến vận hành hệ thống hoặc thậm chí là gây ảnh hưởng đến an toàn sức khoẻ con người và vệ sinh môi trường. Nhìn chung, một chất lồi cuộn/ dung dịch lồi cuộn lý tưởng cần đáp ứng đầy đủ những yêu cầu cụ thể sau:

- ✓ Không độc và an toàn với môi trường
- ✓ Chi phí chung thấp

- ✓ Dung dịch ổn định trong các điều kiện vận hành thực tế
- ✓ Dễ dàng hoàn nguyên sau khi sử dụng
- ✓ Không gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng màng lọc FO, và không tạo thành hiện tượng phân cực nồng độ cục bộ bên trong cấu trúc màng lọc FO
- ✓ Tan tốt trong nước, và dung dịch sở hữu áp suất thẩm thấu tự nhiên cao ngay tại những ngưỡng nồng độ thấp
- ✓ Độ nhớt dung dịch thấp và ổn định
- ✓ Độ khuyến tán qua màng thấp

Hiển nhiên, rất khó để tìm được một chất lõi cuộn/ dung dịch lõi cuộn có thể đáp ứng một cách hoàn hảo toàn bộ những yêu cầu trên. Dầu vậy, những yêu cầu này vẫn mang tính tham khảo cao, đóng vai trò cơ sở trong việc đánh giá và lựa chọn ra được những chất lõi cuộn/ dung dịch lõi cuộn phù hợp nhất.

1.2.3. Ảnh hưởng của việc lựa chọn loại màng lọc lên hiệu quả lọc FO

Màng bán thấm là một thành phần đóng vai trò thiết yếu trong các hệ thống lọc FO, tạo thành ảnh hưởng mang tính quyết định lên hiệu quả hoạt động thực tế của các hệ thống lọc FO. Nhìn chung, màng bán thấm sử dụng trong công nghệ lọc FO cần phải đáp ứng được các tiêu chí cơ bản sau:

- ✓ Có khả năng cho nước thấm qua cao, từ đó cho phép giá trị Thông lượng nước J_w khi vận hành lớn
- ✓ Có tính chọn lọc cao đối với các loại chất hoà tan mà đặc biệt là muối NaCl và chất lõi cuộn, từ đó đảm bảo hạn chế hiện tượng tắc màng và hiện tượng khuếch tán của các phân tử muối NaCl từ dung dịch đầu vào sang dung dịch lõi cuộn, cũng như hiện tượng khuếch tán của các phân tử chất lõi cuộn từ dung dịch lõi cuộn sang dung dịch đầu vào
- ✓ Có độ bền cơ học cao, khả năng chống mài mòn tốt

✓ Có khả năng chống ăn mòn bởi các yếu tố hoá học và các yếu tố sinh học tốt

Do tồn tại những yêu cầu tương đối khắt khe trên, nên hiện nay thị trường màng lọc FO chỉ chủ yếu tồn tại hai loại sản phẩm chính là màng lọc composit lớp mỏng (thin-film composite membrane – màng TFC) và màng lọc xenlulo tri-axetat (cellulose triacetate membrane – màng CTA), với một số cấu dạng modul màng lọc khác nhau như modul tấm phẳng, modul cuộn xoắn, modul sợi rỗng, v.v. Trong đó, nhóm sản phẩm màng lọc TFA hiện đang chiếm ưu thế tuyệt đối với khoảng 91% thị phần màng lọc FO toàn cầu, vượt xa đối thủ cạnh tranh thứ hai là nhóm màng lọc CTA. Sở dĩ như vậy là bởi nhóm màng lọc TFC polyamide sở hữu khả năng ngăn muối thẩm thấu cao cùng độ bền vượt trội, trong khi ưu điểm nổi bật của nhóm màng CTA lại là khả năng chống nhiễm bẩn tốt.

Một màng TFC polyamide thường bao gồm ba lớp chính [5-7]:

✓ **Lớp nền** có cấu trúc polyester dạng sợi không dệt dày 120–150 μm , đóng vai trò như phần khung cung cấp độ ổn định cho toàn cấu trúc màng. Tuy nhiên, bề mặt lớp nền polyester thường quá xốp và không đủ đồng nhất, do vậy không thể sử dụng để tráng phủ trực tiếp lớp màng chọn lọc siêu mỏng.

✓ **Lớp màng vi xốp trung gian** dày khoảng 40 μm , đóng vai trò kết nối và cung cấp một lớp nền ổn định phục vụ cho việc gia công lớp màng chọn lọc siêu mỏng tiếp theo. Lớp màng vi xốp trung gian thường được tạo thành từ nhựa polysulfone gia công theo phương pháp keo tụ nhúng (phương pháp đảo pha) bởi loại vật liệu xốp này có khả năng chịu nén tốt, lưu lượng dòng chảy qua chấp nhận được, và đặc biệt hơn cả là khả năng kháng hóa chất tốt thích hợp với nhiều phương pháp tráng phủ lớp màng lọc siêu mỏng ngoài cùng đa dạng.

✓ **Lớp màng siêu mỏng trên bề mặt** dày khoảng 200 nm, đóng vai trò chính trong việc ngăn chặn sự thẩm thấu của các phân tử và ion muối qua màng trong quá trình lọc FO. Để đạt được hiệu quả loại bỏ mặn trên 99% thì kích thước lỗ trên lớp màng này thường không vượt quá 0,6 nm. Đồng thời,

chiều dày của lớp màng này cũng cần được hạn chế nhằm đảm bảo ảnh hưởng tối thiểu lên khả năng thẩm thấu của nước. Thông thường, trong các hệ thống lọc FO, lớp màng siêu mỏng này thường được cho tiếp xúc trực tiếp với nguồn nước đầu vào.

Tương tự, nhóm màng lọc CTA cũng có thể được tổng hợp thông qua phương pháp đảo pha, hay cụ thể hơn là phương pháp keo tụ nhúng trên nền kết cấu là nền sợi polyester [8-10]. Ưu điểm của nhóm màng lọc này là khả năng chịu clo và chống nhiễm bẩn tốt, nhờ vào đặc tính ưa nước của nguyên liệu chế tạo. Tuy nhiên, nhược điểm của chúng là khả năng loại bỏ muối tương đối kém, vì thế không thực sự thích hợp để đưa vào ứng dụng trong lọc khử mặn. Khả năng khử mặn của nhóm màng lọc CTA có thể được cải thiện thông qua phương pháp xử lý nhiệt (annealing) nhằm mục đích thu nhỏ đường kính lỗ xốp trong cấu trúc màng, tuy nhiên làm như vậy cũng sẽ gây ảnh hưởng tiêu cực đến khả năng cho nước thẩm thấu qua của màng, làm suy giảm hiệu năng sản xuất nước sạch. Một số phương pháp cải tiến mới cũng đã được nghiên cứu, tuy nhiên hiệu quả lọc nước khử mặn của nhóm màng lọc CTA vẫn chưa thể vượt qua ngưỡng $20 \text{ L/m}^2\cdot\text{h}$, khiến cho loại màng lọc này khó tìm được chỗ đứng trong các ứng dụng thực tiễn.

Đặc biệt, so sánh với những modul màng lọc dạng tấm phẳng hoặc dạng cuộn xoắn hiện đang tương đối thông dụng trên thị trường, thì modul màng lọc dạng sợi rỗng là một cấu trúc modul màng lọc mới sở hữu nhiều ưu điểm bao gồm khả năng chịu áp suất tốt mà không cần đến lớp nền polyester, phù hợp với những ứng dụng quy mô công nghiệp, quá trình chế tạo liên quan đến nhiều thông số kỹ thuật với khả năng tùy chỉnh cao mở ra tiềm năng điều chỉnh chính xác hơn các tính chất của lớp màng, v.v. [11,12]

Như vậy, có thể thấy rằng bên cạnh việc lựa chọn chất lõi cuộn/ dung dịch lõi cuộn, thì việc lựa chọn loại màng lọc FO cũng là một công việc quan trọng, có thể ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả hoạt động của hệ thống khử mặn vận dụng công nghệ lọc FO – nhất là khi áp dụng trong những hệ thống lọc FO khử mặn quy mô pilot và trên pilot với định hướng vận hành lâu dài.

1.2.4. Ảnh hưởng của bản chất dung dịch đầu vào lên hiệu quả lọc FO

Bản chất và thành phần của dung dịch đầu vào cần xử lý là một yếu tố quan trọng có thể ảnh hưởng tới hiệu quả hoạt động của các hệ thống lọc FO khử mặn. Cụ thể, như đã đề cập phía trên, bản chất và thành phần của dung dịch đầu vào đóng vai trò quyết định ảnh hưởng lên áp suất thẩm thấu tự nhiên của bản thân dung dịch đầu vào, cũng như sự chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa dung dịch đầu vào và dung dịch lõi cuộn, từ đó ảnh hưởng đến lượng nước có thể được lõi cuộn thẩm thấu qua màng lọc FO trong mỗi đơn vị thời gian nhất định.

Bên cạnh đó, cũng cần chú ý đến thành phần chất rắn hòa tan (Total Dissolved Solids – TDS) trong dung dịch ban đầu, bởi bản chất của quá trình lọc Thẩm thấu xuôi sẽ dẫn đến hiện tượng tăng nồng độ chất rắn hòa tan trong dung dịch ban đầu. Trong một số trường hợp, hiện tượng quá bão hòa chất rắn hòa tan cục bộ có thể dẫn tới sự đóng cặn trên bề mặt màng lọc FO, gây ảnh hưởng đến thông lượng nước có thể di chuyển qua màng lọc FO trong mỗi đơn vị thời gian nhất định. Một số thành phần chất rắn hòa tan dễ gây đóng cặn bao gồm SiO_2 , CaCO_3 và BaSO_4 . Hiện tượng đóng cặn có thể được giải quyết hoặc giảm thiểu bằng cách thêm một số axit hoặc tác nhân chống đóng cặn phù hợp vào dung dịch ban đầu. Ngoài ra, nhiều thành phần hữu cơ hòa tan trong dung dịch ban đầu cũng có thể dẫn tới hiện tượng nhiễm bẩn sinh học trên bề mặt màng lọc FO, gây ra ảnh hưởng tương tự như hiện tượng đóng cặn kết tủa. Để tránh xảy ra hiện tượng nhiễm bẩn sinh học, cần thiết phải tiến hành vệ sinh kỹ hệ thống lọc FO sau mỗi lần vận hành, mà đặc biệt là modul màng lọc FO. Cả hiện tượng đóng cặn và hiện tượng nhiễm bẩn sinh học nếu không được xử lý kịp thời đều sẽ tạo thành ảnh hưởng tiêu cực đối với hiệu quả hoạt động cũng như tuổi thọ của màng lọc FO.

Bên cạnh đó, sự tồn tại của thành phần clo tự do cũng như các tác nhân oxy hóa khác trong dung dịch đầu vào (cũng như dung dịch lõi cuộn) có thể gây ảnh hưởng đến tuổi thọ của màng lọc FO. Do vậy, cần thiết phải loại bỏ tối đa những thành phần này ra khỏi dung dịch ban đầu (cũng như dung dịch

lôi cuốn) trước khi cấp dung dịch vào hệ thống lọc FO. Phương pháp xử lý có thể bao gồm xử lý bằng than hoạt tính, hay xử lý bằng dung dịch natri bisunphit. Sự tồn tại của thành phần dầu mỡ (Oils and Greases – O&G) trong dung dịch đầu vào có thể dẫn tới hiện tượng nhiễm bẩn nghiêm trọng đối với màng lọc FO. Mức nồng độ thành phần dầu mỡ trong dung dịch đầu vào thường được khuyến nghị là không nên vượt quá 20 ppm. Các phương pháp phù hợp để xử lý thành phần dầu mỡ trong dung dịch đầu vào bao gồm phương pháp tuyển nổi bằng khí hòa tan, phương pháp tạo kết tủa/ keo tụ, hoặc phương pháp lọc sơ bộ phù hợp.

Cuối cùng, sự tồn tại của các thành phần chất rắn huyền phù (Total Suspended Solids – TSS) trong dung dịch đầu vào (cũng như dung dịch lôi cuốn) có thể dẫn tới hiện tượng tắc nghẽn đường cấp dung dịch và tắc nghẽn bên trong cấu trúc modul màng lọc FO, đặc biệt là đối với các loại modul màng lọc FO dạng sợi rỗng. Khi xảy ra hiện tượng tắc nghẽn, áp suất dòng dung dịch sẽ đột ngột giảm mạnh, đồng thời thông lượng nước thấm thấu qua màng cũng sẽ chịu ảnh hưởng đáng kể. Hiện tượng tắc nghẽn bên trong các modul màng lọc FO, đặc biệt là trong các loại modul màng lọc FO dạng sợi rỗng, nếu không được xử lý kịp thời sẽ có khả năng tạo thành tổn hại không thể đảo ngược đối với modul màng lọc. Nhìn chung, kích thước chất rắn huyền phù trong các dung dịch sử dụng trong hệ thống lọc FO nên thấp hơn 50 μm , và tổng nồng độ chất rắn huyền phù trong các dung dịch này được khuyến nghị nên thấp hơn 30 ppm. Thành phần chất rắn huyền phù trong các dung dịch sử dụng trong hệ thống lọc FO có thể được loại bỏ thông qua những bước lọc sơ bộ phù hợp, tốt nhất nên bao gồm việc sử dụng một màng lọc với kích thước lỗ dưới 50 μm ngay trước khi cấp các dung dịch này vào modul màng lọc FO.

Nhìn chung, có thể thấy rằng để đảm bảo một hệ thống lọc FO khử mặn vận hành một cách hiệu quả và an toàn, thì không thể sử dụng dung dịch đầu vào là nguồn nước nhiễm mặn lấy trực tiếp từ môi trường, mà cần thiết phải tiến hành những bước tiền xử lý cần thiết nhằm loại bỏ tối đa các thành phần có thể gây hại cho màng lọc FO có trong thành phần nguồn nước. Đồng thời,

cũng cần thiết phải trước tiên tiến hành đánh giá các chỉ tiêu chất lượng đối với dung dịch đầu vào, một phần nhằm đánh giá được chính xác hiệu quả của hệ thống lọc FO khử mặn, một phần nhằm đảm bảo dung dịch đầu vào không chứa các thành phần có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng của màng lọc FO và modul màng lọc FO.

1.2.5. Các yếu tố khác ảnh hưởng lên hiệu quả lọc FO

Bên cạnh những yếu tố quan trọng đã trình bày phía trên, thì cũng còn tồn tại một số yếu tố điều kiện vận hành khác có thể tạo thành ảnh hưởng đáng kể lên hiệu quả hoạt động của các hệ thống lọc FO khử mặn, bao gồm điều kiện nhiệt độ và độ pH của các dung dịch, áp suất và tốc độ dòng của các dung dịch, hướng dòng chảy tương đối của các dung dịch, v.v.

Cụ thể, điều kiện nhiệt độ và độ pH có thể tạo thành ảnh hưởng đáng kể lên áp suất thẩm thấu tự nhiên của các dung dịch thông qua sự ảnh hưởng lên khả năng hoà tan và phân ly của những thành phần chất tan trong dung dịch, thể hiện trên phương trình Van't Hoff như đã trình bày trong **Mục 1.3.2**. Bên cạnh đó, phần lớn các loại màng lọc FO cũng chỉ có thể vận hành một cách hiệu quả trong một khoảng điều kiện nhiệt độ và độ pH nhất định, đồng thời một số hệ chất chuyển pha/ dung dịch chuyển pha cũng yêu cầu điều kiện nhiệt độ và độ pH nhất định trong quá trình hoàn nguyên hoặc thậm chí là vận hành. Điều này đặt ra vấn đề cần thiết kế hệ thống lọc FO khử mặn một cách phù hợp nhằm cân bằng giữa các yếu tố trên, nếu cần thiết.

Tại **Mục 1.3.2** cũng đã trình bày công thức chỉ ra sự phụ thuộc của thông lượng nước di chuyển qua màng lọc FO vào sự chênh lệch về mặt áp suất dòng chảy giữa dung dịch đầu vào và dung dịch lồi cuốn. Cụ thể, nhằm đảm bảo hiệu quả lọc FO khử mặn tốt nhất, áp suất dòng chảy của dung dịch lồi cuốn nên được duy trì luôn cao hơn so với dung dịch đầu vào, tránh tạo thành sự suy giảm về mặt động lực hoạt động của hệ thống lọc FO khi áp suất dòng chảy của dung dịch đầu vào cao hơn so với dung dịch lồi cuốn. Bên cạnh đó, chênh lệch áp suất dòng chảy giữa dung dịch đầu vào và dung dịch lồi cuốn, cũng như giá trị áp suất dòng chảy tuyệt đối của hai loại dung dịch này, cũng cần phải được duy trì dưới ngưỡng giới hạn phù hợp nhằm tránh

gây tổn hại đối với màng lọc FO và modul màng lọc FO – ví dụ như thủng màng, hay phân tách các mối nối trong modul màng lọc, v.v.

Các yếu tố kỹ thuật như là sự phân cực nồng độ bên trong và bên ngoài được tìm thấy có tác động lên thông lượng nước và tỷ lệ thu hồi. Hiện tượng phân cực nồng độ liên quan đến các đặc điểm của màng và nó chủ yếu xảy ra muối tập trung ở bề mặt màng với số lượng lớn [12,13].

Tùy thuộc vào chế độ dòng chảy của dung dịch lõi cuộn và dung dịch đầu vào, sự phân cực nồng độ được phân loại thành các hiệu ứng bên trong và bên ngoài [13]. Hiệu ứng bên trong xảy ra ở phía bên tầng hỗ trợ của màng, trong khi đó hiệu ứng bên ngoài xảy ra ở tầng hoạt động của màng. Sự phân cực nồng độ tập trung thường liên quan đến sự thay đổi về nồng độ của dung dịch đầu vào và do sự gia tăng của nồng độ dung dịch đầu vào ở bề mặt màng dẫn đến giảm áp suất thẩm thấu qua màng [14,15]. Kết quả, dòng nước ngọt qua màng giảm theo thời gian. Ngược lại, sự phân cực nồng độ pha loãng liên quan với dung dịch lõi cuộn, kết quả làm giảm nồng độ của dung dịch lõi cuộn. Để đối phó với tình trạng này, áp suất thẩm thấu cũng được giảm theo thông lượng nước qua màng. Những tiến bộ mới đây về công nghệ sản xuất màng đã thành công trong việc giảm thiểu vấn đề phân cực nồng độ. Điều này đạt được bằng cách giảm độ dày của tầng màng hỗ trợ [16]. Tuy nhiên, ảnh hưởng của sự phân cực nồng độ bên ngoài là bản chất tự nhiên của quá trình màng thẩm thấu xuôi và không thể ngăn chặn.

Theo Jeffrey và đồng sự (2006) [13], ảnh hưởng của sự phân cực nồng độ bên trong được tìm thấy nghiêm trọng hơn so với phân cực nồng độ bên ngoài. Phát hiện này đặc biệt quan trọng khi màng FO được vận hành ở chế độ RO hoặc dung dịch lõi cuộn được bố trí phía bên mặt hỗ trợ của màng. Mặc dù các màng FO mới thành công trong việc giảm thiểu sự ảnh hưởng của sự phân cực nồng độ tập trung và pha loãng bên trong nhưng nó không thể loại bỏ hoàn toàn. Vì thế, hiệu quả của quá trình FO vẫn bị ảnh hưởng bởi hiện tượng phân cực nồng độ bên trong. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, quá trình FO vận hành tốt hơn ở chế độ dòng từ bên trong ra bên ngoài hoặc khi dung dịch lõi cuộn ở phía ngoài và dung dịch đầu vào ở phía bên bề mặt

hỗ trợ của màng. Về cơ bản, điều này do thông lượng của màng cao hơn so với chế độ vận hành. Nhưng nó cũng đúng khi áp dụng thực tế quá trình FO được áp dụng cho khử muối trong nước biển theo cách thông thường. Trong một số trường hợp, như thảo luận dưới đây về dung dịch lồi cuốn không chỉ để cải thiện thông lượng của màng mà nó còn giảm xu hướng tắc bịt màng. Điều này đúng với dung dịch lồi cuốn có nồng độ cao như nước thải [15].

Mong muốn của quá trình khử muối là thu được tỷ lệ thu hồi cao. Hiện tại, tỷ lệ thu hồi của việc khử muối trong nước biển bằng màng RO ít hơn 50% trong khi khoảng 30% là quá trình khử muối bằng nhiệt [17-19]. Áp suất thẩm thấu là bộ máy chính trong việc dịch chuyển nước ngọt qua màng trong quá trình FO. Đối với TDS của nước biển hoặc nước đầu vào tỷ lệ thu hồi có thể gia tăng cùng với sự gia tăng của nồng độ dung dịch lồi cuốn. Tuy nhiên, nghiên cứu cho rằng mối quan hệ giữa nồng độ dung dịch lồi cuốn và tỷ lệ thu hồi không tuyến tính. Dòng nước qua màng làm pha loãng dung dịch lồi cuốn ở bề mặt màng hình thành nên một lớp rất nhỏ tiếp giáp với bề mặt màng. Nồng độ ở lớp tiếp giáp này thấp hơn so với dung dịch khối (lồi cuốn), cái làm giảm khả năng dịch chuyển nước từ dung dịch đầu vào sang dung dịch lồi cuốn. Sự gia tăng áp suất thẩm thấu tỷ lệ thuận với tỷ lệ thu hồi. Mặc dù, mối quan hệ tuyến tính ở mức áp suất thẩm thấu thấp, nó thay đổi ở mức áp suất thẩm thấu cao. Chủ yếu, điều này do hiệu ứng của phân cực nồng độ lên bề mặt tiếp xúc giữa màng và dung dịch lồi cuốn. Điều đáng lưu ý ở đây đó là nhu cầu năng lượng để tái tổng hợp và tách nước gia tăng cùng với sự gia tăng nồng độ của dung dịch lồi cuốn. Điều này bởi vì nồng độ cao của dung dịch lồi cuốn sau khi pha loãng phải được tổng hợp. Theo đó, sự gia tăng nồng độ dung dịch lồi cuốn sẽ không nhất thiết dẫn đến sự cải thiện hiệu suất của quá trình FO [20].

1.3. ỨNG DỤNG CỦA CÔNG NGHỆ LỌC FO TRONG XỬ LÝ VÀ SẢN XUẤT NƯỚC SẠCH

1.3.1. Ứng dụng công nghệ FO trong khử mặn sản xuất nước sạch từ nước biển và nước lợ

Khử mặn là một quá trình cần thiết cho việc sản xuất nước ngọt ở

những vùng bị nhiễm mặn. Chi phí cho việc khử mặn vẫn còn cao và cần phải giảm xuống đặc biệt đối với nước đầu vào có độ mặn cao. Thẩm thấu xuôi (FO) vì thế nhận được nhiều sự chú ý trong thập kỷ vừa qua khi so sánh quá trình khử muối trong nước biển với các quá trình thông thường khác. Có nhiều yếu tố về kỹ thuật và việc vận hành ảnh hưởng đến hiệu quả của quá trình này.

Trên thực tế, trong khoảng một thập kỷ trở lại đây, đã xuất hiện rất nhiều nghiên cứu liên quan đến vấn đề ứng dụng công nghệ FO trong khử mặn sản xuất nước sạch từ nước biển và nước lợ. Kết quả thu được phần lớn đều chứng minh cho việc công nghệ thẩm thấu xuôi sở hữu nhiều ưu điểm nổi bật so với các phương pháp khử mặn truyền thống khác, bao gồm cả phương pháp thẩm thấu ngược [21-23]. Cụ thể, Victor và cộng sự (2011) đã tiến hành thử nghiệm ứng dụng hệ thống kết hợp FO/LPRO trong khử mặn nước biển tại khu vực Biển Đỏ, và so sánh hiệu quả vận hành với các hệ thống thông thường khử mặn bằng công nghệ SWRO truyền thống. Nhìn chung, hệ thống khử mặn FO/LPRO chỉ tiêu thụ khoảng 50% điện năng so với các hệ thống SWRO truyền thống, đồng thời vẫn cho phép sản xuất nguồn nước sạch với chất lượng tốt. Đồng thời, hiện tượng nhiễm bẩn/ tắc màng gây suy giảm hiệu quả vận hành trong hệ thống thẩm thấu xuôi là không đáng kể, và có thể được giải quyết bằng các phương pháp làm sạch thông thường. Đặc biệt, các tác giả cũng chỉ ra 5,5 LMH là ngưỡng thông lượng nước thẩm thấu qua màng tối thiểu để hệ thống FO/LPRO khử mặn có thể cạnh tranh được với các hệ thống SWRO khử mặn truyền thống [24].

Tương tự, Wang và cộng sự (2021) đã tiến hành đánh giá hiệu quả khử mặn của hệ thống FO/NF quy mô pilot khi sử dụng các loại chất lồi cuốn muối vô cơ bao gồm $MgSO_4$, Na_2SO_4 , và $Mg(CH_3COO)_2$. Kết quả nghiên cứu cho thấy, bên cạnh mức điện năng tiêu thụ thấp, thì hệ thống FO/NF còn sở hữu khả năng loại bỏ hiệu quả các thành phần hữu cơ hoà tan và ion hoá trị hai. Sản phẩm nước đầu ra có chỉ số TDS dưới 1000 mg/L, nằm trong ngưỡng cho phép trên thế giới và so sánh được với các hệ thống SWRO truyền thống khác [25].

Quá trình tái tổng hợp dung dịch lồi cuốn là công đoạn tốn kém nhất trong quá trình khử muối bằng hệ thống FO. Ngược lại với quá trình FO – là hiện tượng thẩm thấu tự nhiên, quá trình tái tổng hợp dung dịch lồi cuốn liên quan đến vấn đề tiêu hao năng lượng. Điển hình, áp suất thẩm thấu của dung dịch lồi cuốn pha loãng bằng hoặc cao hơn so với áp suất thẩm thấu của dung dịch đầu vào. Cả hai quá trình nhiệt và màng đều được đề xuất cho việc tách nước và thu hồi dung dịch lồi cuốn [26,27]. Các màng NF, RO và MD được đề xuất trong việc tái tổng hợp dung dịch lồi cuốn và tách nước ngọt [26,28]. Mỗi loại màng đều có các ưu và nhược điểm riêng, do đó cần phải xem xét và lựa chọn loại màng thích hợp cho mỗi quá trình tái tổng hợp. Ngoài ra, quá trình nhiệt thường được sử dụng cho việc tái tổng hợp dung dịch lồi cuốn [29].

1.3.2. Tình hình nghiên cứu trong nước liên quan đến công nghệ lọc FO

Đứng trước nhu cầu thực tiễn do xã hội đặt ra, ngay từ những năm 1990 thì tại nước ta đã bắt đầu có những nghiên cứu liên quan đến vấn đề khử mặn và sản xuất nước ngọt từ nguồn nước nhiễm mặn. Năm 2003, Trung tâm Tư vấn chuyên gia Công nghệ nước sạch và môi trường (CTC) đã tiến hành nghiên cứu, thiết kế, và lắp đặt tại khu vực đảo Bạch Long Vĩ một số dây chuyền sản xuất nước ngọt từ nguồn nước biển bao gồm 5 công đoạn xử lý khác nhau, với công đoạn xử lý cuối cùng sử dụng hệ thống lọc RO khử mặn. Những dây chuyền này có tỷ lệ nội địa hóa thiết bị đạt tới 70%, và cho hiệu quả sản xuất nước ngọt với giá thành 20.000 đồng/m³.

Đến năm 2008, Viện Khoa học Vật liệu ứng dụng (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam) đã bàn giao và đưa vào vận hành hệ thống thiết bị xử lý nước biển thành nước ngọt đáp ứng tiêu chuẩn của Bộ Y tế về nước sinh hoạt công suất 300 L nước ngọt/giờ cho ngư dân Đà Nẵng. Hệ thống thiết bị này làm việc chủ yếu trên cơ sở công nghệ lọc RO khử mặn, với nguồn nước ngọt đầu ra đáp ứng tiêu chuẩn của Bộ Y tế về nước sinh hoạt. Cũng trong khoảng thời gian này, Viện Hoá học (Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam) đã tiến hành nghiên cứu ứng dụng công nghệ cất nước

biển bằng năng lượng Mặt Trời. Ưu điểm của công nghệ này là chi phí đầu tư thấp, dễ chế tạo và sử dụng, không cần tiêu thụ điện năng hay xăng dầu, hóa chất. Tuy nhiên, công nghệ này cũng tồn tại nhược điểm là chỉ có thể sản xuất nước ngọt với lượng tương đối nhỏ (khoảng vài L/ngày), đủ để phục vụ những nhu cầu cơ bản của cá nhân.

Năm 2013, Nguyễn Thị Hồng Tình (Đại học Đà Nẵng) đã thực hiện nghiên cứu ứng dụng công nghệ lọc NF áp lực thấp trong xử lý nước biển ven bờ thành nước sinh hoạt cho cụm dân cư vùng hạ lưu sông Thu Bồn. Tác giả cho rằng, việc áp dụng công nghệ lọc NF để khử mặn đối với nước lợ và nước ven biển với độ mặn dưới 1,75% có thể cho sản phẩm nước đầu ra đảm bảo đáp ứng các quy định trong QCVN 01:2008/BYT. Tuy nhiên, khi độ mặn của nguồn nước đầu vào cao hơn 1,75% thì cần thiết phải sử dụng công nghệ lọc RO khử mặn, hoặc ghép nối nhiều hệ thống lọc NF nhằm giúp đảm bảo chất lượng sản phẩm nước đầu ra. Năm 2016, Phạm Văn Hoàn và Trần Thị Khanh Phương đã nghiên cứu phân tích các công nghệ phổ biến hiện đang được ứng dụng trong việc khử mặn trên thế giới, nhằm xác định công nghệ khử mặn phù hợp nhất với các cụm dân cư nông thôn tại vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Dựa trên các tiêu chuẩn được thiết lập từ điều kiện và hoàn cảnh thực tiễn, các tác giả cho rằng công nghệ điện thẩm tách được xem là phù hợp nhất đối với khu vực nông thôn Đồng bằng sông Cửu Long do công nghệ này sở hữu nhiều ưu điểm như chi phí đầu tư và vận hành thấp, công tác bảo trì không quá phức tạp, tỷ lệ nước tái sinh cao, không nhạy cảm với chất lượng nước đầu vào, tiêu thụ năng lượng thấp, và đặc tính vận hành phù hợp với nguồn năng lượng Mặt Trời dồi dào tại vùng Đồng bằng sông Cửu Long.

Tuy nhiên, nếu không tính đến nghiên cứu trước đó do PGS.TS. Lê Trường Giang và cộng sự thực hiện vào năm 2017 thì tại Việt Nam hiện chưa có nghiên cứu nào liên quan đến vấn đề ứng dụng công nghệ lọc FO trong khử mặn và sản xuất nước ngọt từ nguồn nước nhiễm mặn, đồng thời cũng chưa có đăng ký sở hữu trí tuệ nào tại Việt Nam liên quan đến vấn đề này.

Năm 2017, PGS.TS. Lê Trường Giang và cộng sự [30] đã thực hiện các nghiên cứu về công nghệ lọc FO và thu được nhiều kết quả tích cực. Các kết

qua cho thấy công nghệ lọc FO có thể được sử dụng để khử mặn cho các nguồn nước đầu vào với hàm lượng muối cao, bên cạnh đó hiện tượng tắc nghẽn màng diễn ra chậm hơn so với các công nghệ lọc màng khác. Nghiên cứu cũng đã phát hiện ra một số dung dịch lõi cuộn mới chưa được công bố trên thế giới, đó là các hợp chất phức sắt – amoni, với thông lượng nước cao nhất khi sử dụng đạt tới trên 11 LMH. Dựa trên những kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, các tác giả đã thiết kế và lắp đặt một hệ thống thiết bị lọc nước mặn thành nước ngọt quy mô pilot trên cơ sở công nghệ lọc FO/NF, với công suất vận hành ổn định đạt trên 11,5 L/h và chất lượng sản phẩm nước đầu ra đạt tiêu chuẩn nước sinh hoạt theo QCVN 02:2009/BYT.

Điều này đặt ra nhu cầu cần thiết phải có thêm những nghiên cứu mới nhằm phát triển ứng dụng công nghệ lọc FO khử mặn tại Việt Nam nói riêng và trên thế giới nói chung, từ đó giúp góp phần giải quyết nhu cầu thực tiễn cấp thiết mà xã hội đặt ra.

CHƯƠNG 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. VẬT LIỆU, HOÁ CHẤT, VÀ THIẾT BỊ

2.1.1. Vật liệu

Các loại màng lọc dùng trong phòng thí nghiệm được nhà sản xuất cung cấp dưới dạng tấm khổ lớn, ngâm sẵn trong dung dịch bảo quản $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1% hoặc để khô. Ngoại trừ trường hợp được lấy ra để cắt thành từng tấm nhỏ, các tấm màng lọc nguyên bản cần được bảo quản trong điều kiện nguyên bản, cụ thể như sau: (1) màng khô bảo quản trong môi trường khô, tránh tiếp xúc với nước và ánh sáng Mặt Trời, và (2) màng đã ngâm sẵn trong dung dịch bảo quản $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1% cần được duy trì bảo quản trong dung dịch $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1%, tránh tiếp xúc với ánh sáng Mặt Trời.

Ngay trước khi cần sử dụng, các tấm màng lọc nguyên bản được cắt thành từng tấm nhỏ riêng biệt có kích thước $56 \times 115 \text{mm}$. Ngoại trừ khi đang được sử dụng để thử nghiệm, các tấm màng lọc nhỏ đã cắt ra cần được duy trì bảo quản trong dung dịch $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1%, và tránh tiếp xúc với ánh sáng Mặt Trời.

Thông số kỹ thuật cơ bản cho từng loại màng lọc dùng trong phòng thí nghiệm được liệt kê tại **Bảng 2.1**.

➤ Màng lọc FTSH2O là màng lọc FO dạng tấm phẳng chế tạo từ vật liệu xenlulo triaxetat (CTA) được cung cấp bởi hãng Fluid Technology Solutions (Hoa Kỳ). Màng được cung cấp dưới dạng tấm kích thước $305 \times 305 \text{mm}$ ngâm trong dung dịch bảo quản $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1%.

➤ Màng lọc HFFO là màng lọc FO dạng tấm phẳng chế tạo từ vật liệu composit lớp mỏng (TFC) được cung cấp bởi hãng Aquaporin (Đan Mạch). Màng được cung cấp dưới dạng tấm khô kích thước $210 \times 297 \text{mm}$ (khổ giấy A4).

➤ Màng lọc SW30HRLE là màng lọc RO dạng tấm phẳng chế tạo từ vật liệu composit lớp mỏng (TFC) được cung cấp bởi hãng Dow Filmtec (Hoa Kỳ). Màng được cung cấp dưới dạng tấm khô kích thước $305 \times 305 \text{mm}$.

➤ Màng lọc TS40 là màng lọc NF dạng tấm phẳng chế tạo từ vật liệu composit lớp mỏng (TFC) được cung cấp bởi hãng TriSep (Hoa Kỳ). Màng được cung cấp dưới dạng tấm khô kích thước 1016×305mm.

Bảng 2.1 Thông số kỹ thuật cơ bản của một số loại màng lọc/ modul lọc được sử dụng

| Loại màng lọc/ modul lọc | Bản chất | Khả năng khử muối | Lưu lượng dòng giới hạn |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------------|
| Màng lọc FTSH2O | Màng FO-CTA | 99,8% NaCl | 15 LMH |
| Màng lọc HFFO | Màng FO-TFC | 99,8% NaCl | 11 LMH |
| Màng lọc SW30HRLE | Màng RO-TFC | 99,75% NaCl | 38 LMH / 1,55 MPa |
| Màng lọc TS40 | Màng NF-TFC | 99,8% NaCl | 34 LMH / 0,75 MPa |

2.1.2. Nguyên liệu và hóa chất

Nguyên liệu và hoá chất trong đề tài này được sử dụng trực tiếp sau khi mua về mà không cần thực hiện các bước tinh chế hay xử lý nào khác, trừ trường hợp có ghi chú cụ thể. Độ tinh khiết và nguồn gốc xuất xứ của từng loại hoá chất và vật tư thực nghiệm được liệt kê cụ thể tại mục liên quan.

➤ Mẫu nước thực tế được lấy tại một số địa điểm cụ thể, bao gồm nước biển được lấy tại khu vực ngoài khơi, nước lợ được lấy tại khu vực gần cửa biển, và nước nhiễm mặn lấy tại khu vực chịu tình trạng xâm nhập mặn. Khi sử dụng trong nghiên cứu thử nghiệm lọc FO, các mẫu nước thực tế trước tiên cần được xử lý sơ bộ nhằm loại bỏ các thành phần tạp chất không hoà tan và các thành phần tạp chất có thể gây tổn hại đến kết cấu màng lọc FO.

➤ Nước de-ion (độ mặn < 5 ppm) được sản xuất từ thiết bị Direct-Q® 5 UV Remote Water Purification Systems (Merck, Đức) đặt tại Trung tâm nghiên cứu và Chuyển giao công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

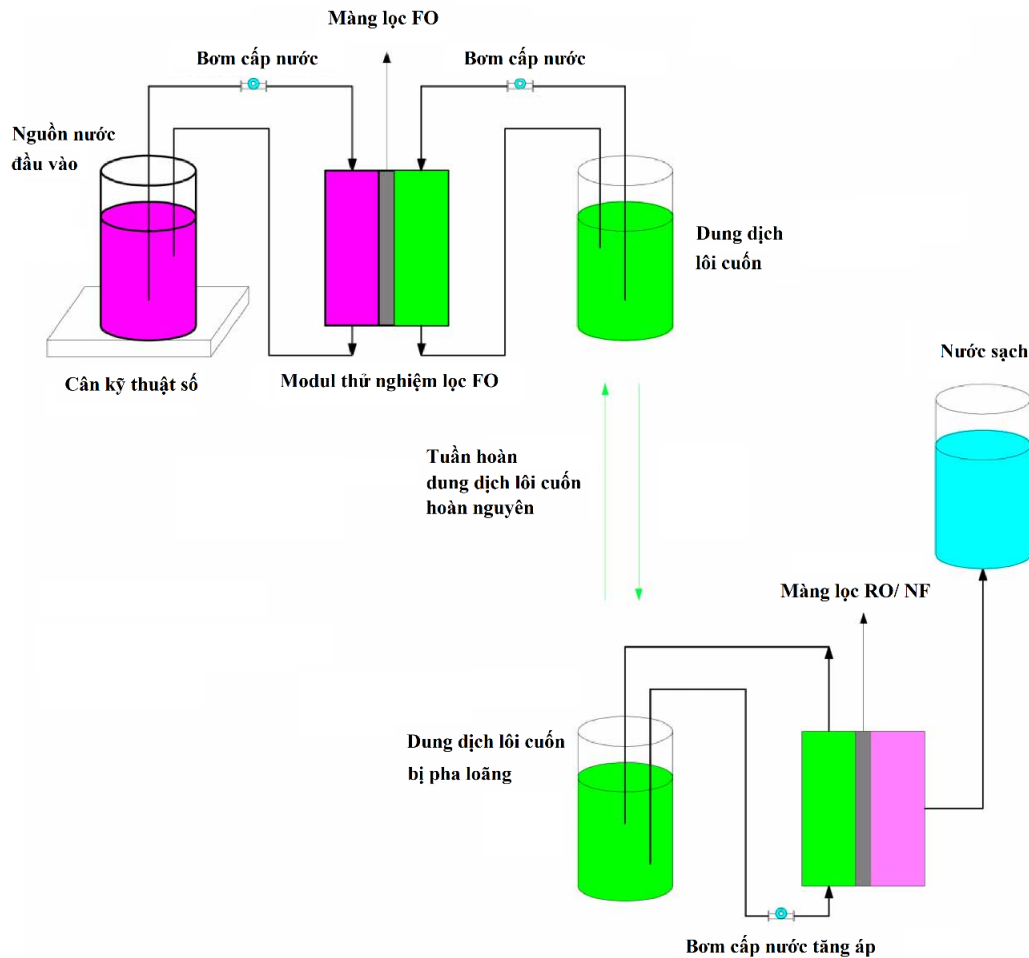
- Muối biển tinh khiết (Việt Nam).
- Các loại hoá chất amoni sắt (II) sunphat (A2S), amoni sắt (III) sunphat (A3S), và amoni sắt (III) citrat (A3C) độ tinh khiết 99% được cung cấp bởi hãng Merck (Đức).
- Maltodextrin độ trùng hợp trung bình 2 và độ tinh khiết 98% được cung cấp bởi hãng Sigma-Aldrich (Đức).
- Các hoá chất và vật tư thực nghiệm phục vụ công tác phân tích khác như được liệt kê trong các quy trình và tiêu chuẩn phân tích liên quan.

2.1.3. Thiết bị

- Máy đo pH, TDS và độ dẫn điện cầm tay Ezdo 7021 (Romani).
- Modul thử nghiệm Forward Osmosis CF042 Cell Assembly là modul thử nghiệm cho hệ thống lọc FO quy mô phòng thí nghiệm được cung cấp bởi hãng Sterlitech (Hoa Kỳ). Modul thử nghiệm được chế tạo chủ yếu từ vật liệu nhựa acetal copolymer với diện tích tiếp xúc màng thiết kế là 42 cm², và được cung cấp cùng đầy đủ các phụ kiện ráp nối cần thiết đi kèm từ nhà sản xuất.
- Modul thử nghiệm Crossflow CF042 Cell Assembly là modul thử nghiệm cho hệ thống lọc áp suất cao quy mô phòng thí nghiệm được cung cấp bởi hãng Sterlitech (Hoa Kỳ), phù hợp cho thử nghiệm lọc RO và lọc NF. Modul thử nghiệm được chế tạo chủ yếu từ vật liệu nhựa acetal copolymer với diện tích tiếp xúc màng thiết kế là 42 cm², và được cung cấp cùng đầy đủ các phụ kiện ráp nối cần thiết đi kèm từ nhà sản xuất.
- Bơm Haedon HF-8377 là bơm cấp nước được cung cấp bởi hãng Haedon (Đài Loan), có hiệu suất bơm tối đa 72 L/h.
- Bơm Haedon 5G-100 là bơm cấp nước tăng áp được cung cấp bởi hãng Haedon (Đài Loan), có hiệu suất bơm tối đa 108 L/h và áp suất tăng áp tối đa 1,1 MPa.
- Cân khối lượng GeeLeaf được cung cấp bởi hãng GeeLeaf (Trung Quốc), có khối lượng cân tối đa là 5 kg và độ chính xác 1 g.

➤ Hệ thống ca chứa nước, đường ống dẫn nước, van điều tiết, áp kế, đường cấp nhiệt v.v. được lắp đặt phù hợp với yêu cầu của từng thí nghiệm khảo sát cụ thể.

Sơ đồ lắp đặt cơ bản của hệ thống lọc FO thử nghiệm quy mô phòng thí nghiệm được mô tả cụ thể tại mục phương pháp thử nghiệm liên quan bên dưới (xem **Hình 2.1**).



Hình 2.1 Sơ đồ hệ thống thử nghiệm lọc FO quy mô phòng thí nghiệm

2.2. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

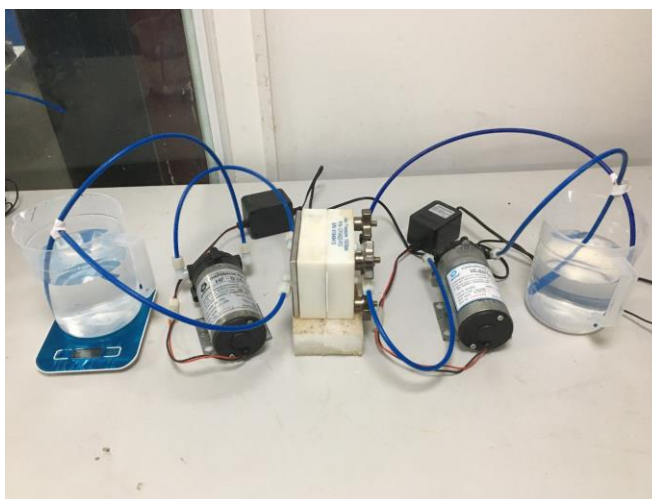
Sơ đồ khối các phương pháp thực nghiệm lựa chọn chất lồi cuốn, màng lọc thẩm thấu xuôi, và các điều kiện vận hành được trình bày cụ thể trong **Hình 2.2**.



Hình 2.2 Sơ đồ khối các phương pháp thực nghiệm lựa chọn chất lõi cuốn, màng lọc thẩm thấu xuôi, và các điều kiện vận hành

2.2.1. Phương pháp thử nghiệm lựa chọn chất lõi cuộn và màng lọc thẩm thấu xuôi

Sơ đồ hệ thống thử nghiệm lọc FO quy mô phòng thí nghiệm được mô tả trong **Hình 2.1**, với hình ảnh cụ thể của riêng bộ phận lọc FO thử nghiệm quy mô phòng thí nghiệm được trình bày trong **Hình 2.3**.



Hình 2.3 Hệ thống lọc FO quy mô phòng thí nghiệm cơ bản

Cụ thể, trước mỗi thử nghiệm cần chuẩn bị khoảng 1.500 mL dung dịch nguồn nước đầu vào và dung dịch lõi cuộn với nồng độ chất hoà tan phù hợp:

➤ **Dung dịch nguồn nước đầu vào:** Trong khuôn khổ nghiên cứu này, độ mặn của nguồn nước đầu vào được khảo sát trên dung dịch nước muối mô phỏng với chất tan là muối biển tinh khiết và dung môi là nước de-ion, với nồng độ NaCl tương đương trong khoảng 10‰ – 30 ‰. Bên cạnh đó, một số thí nghiệm cũng được thực hiện với nguồn nước đầu vào là nước de-ion, hoặc mẫu nước nhiễm mặn tự nhiên đã qua xử lý sơ bộ.

➤ **Dung dịch lõi cuộn:** Trong khuôn khổ nghiên cứu này, nồng độ chất lõi cuộn là Maltodextrin được khảo sát trong khoảng nồng độ từ 5 – 30% để tìm ra nồng độ chất lõi cuộn phù hợp nhất sử dụng cho hệ thống màng FO hoàn chỉnh. Bên cạnh đó, một số thí nghiệm cũng được thực hiện với dung dịch lõi cuộn là dung dịch nước muối mô phỏng với chất tan là muối biển tinh khiết và dung môi là nước de-ion, với nồng độ NaCl tương đương trong khoảng 10‰ – 30 ‰.

Trước mỗi thử nghiệm, màng lọc FO và màng lọc RO/NF cần được tráng sạch bằng nước de-ion trước khi lắp vào hệ thống modul thử nghiệm quy mô phòng thí nghiệm. Hệ thống thử nghiệm được lắp đặt như mô tả trong **Hình 2.2**, với các cấu kiện bổ sung khác có thể được lắp đặt một cách phù hợp. Dòng dung dịch nguồn nước đầu vào và dòng dung dịch lõi cuộn có thể được lắp đặt cho chạy cùng chiều, hoặc cho chạy ngược chiều bên trong modul lọc FO thử nghiệm quy mô phòng thí nghiệm.

Tại thử nghiệm quy mô phòng thí nghiệm, hai công đoạn lọc FO và lọc RO/ NF được thực hiện một cách riêng biệt theo những bước cụ thể như sau:

Công đoạn 1: Lọc khử mặn sử dụng màng FO

Sau khi hệ thử nghiệm đã được lắp đặt, đầu tiên cần tiến hành chạy làm sạch với cả dung dịch nguồn nước đầu vào và dung dịch lõi cuộn đều là nước de-ion trong vòng 30 phút. Tiếp theo, tiến hành tắt bơm và thay thế dung dịch nguồn nước đầu vào cũng như dung dịch lõi cuộn bằng các dung dịch phù hợp, với thể tích mỗi dung dịch khoảng 900 mL.

Thời điểm thử nghiệm bắt đầu thử nghiệm được ghi nhận khi hai bơm của hệ thống lọc FO thử nghiệm được đồng thời khởi động. Sau khoảng 1 phút, tiến hành bổ sung dung dịch nguồn nước đầu vào và dung dịch lõi cuộn một cách phù hợp, sao cho trong ca chứa tại cả hai bên có mực dung dịch đạt ngưỡng 1.000 mL. Tiếp theo, lập tức ghi nhận giá trị ban đầu khối lượng của ca chứa dung dịch lõi cuộn, cũng như (nếu cần thiết) độ mặn của dung dịch nguồn nước đầu vào và dung dịch lõi cuộn.

Sau đó, sau mỗi 15 phút, tiến hành ghi nhận giá trị khối lượng của ca chứa dung dịch lõi cuộn, cũng như (nếu cần thiết) độ mặn của dung dịch nguồn nước đầu vào và dung dịch lõi cuộn nhằm theo dõi sự thay đổi của những thông số này theo thời gian. Thử nghiệm được duy trì trong khoảng thời gian là 150 phút.

Sau khi thử nghiệm kết thúc, dung dịch lõi cuộn đã pha loãng sẽ được chuyển sang công đoạn lọc RO/NF. Hệ thống lọc FO thử nghiệm cần được chạy rửa với nước de-ion (nước de-ion đóng vai trò cả dung dịch nguồn nước

đầu vào và dung dịch lõi cuộn) ba lần, mỗi lần kéo dài lần lượt là 5 phút, 10 phút, và 30 phút. Sau khi chạy rửa hoàn tất, hệ thống lọc FO thử nghiệm có thể được sử dụng trực tiếp cho các thử nghiệm tiếp theo mà không cần chạy làm sạch lại, hoặc được tháo ra để bảo quản.

Khi bảo quản, màng lọc FO cần được tháo ra khỏi hệ thống lọc FO thử nghiệm, tráng sạch bằng nước de-ion, và ngâm trong dung dịch $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1% liên tục cho tới lần sử dụng tiếp theo.

Công đoạn 2: Hoàn nguyên dung dịch lõi cuộn và sản xuất nước sạch – Lọc RO/NF

Sau khi hệ thử nghiệm đã được lắp đặt, đầu tiên cần tiến hành chạy rửa hệ thử nghiệm với khoảng 1.000 mL nước de-ion. Sau đó, tiến hành cấp dung dịch lõi cuộn đã pha loãng vào modul lọc tại điều kiện áp suất phù hợp cho đến khi lượng nước sau lọc được tạo ra bằng với thể tích (hoặc khối lượng) đã tăng lên của dung dịch lõi cuộn.

Sau khi thử nghiệm kết thúc, cần tiến hành chạy rửa hệ thử nghiệm với khoảng 1.000 mL nước de-ion. Sau khi chạy rửa hoàn tất, hệ thống lọc thử nghiệm có thể được sử dụng trực tiếp cho các thử nghiệm tiếp theo mà không cần chạy làm sạch lại, hoặc được tháo ra để bảo quản. Khi bảo quản, màng lọc RO/ NF cần được tháo ra khỏi hệ thống lọc thử nghiệm, tráng sạch bằng nước de-ion, và ngâm trong dung dịch $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 1% liên tục cho tới lần sử dụng tiếp theo.

Nước sau lọc sẽ được đưa đi phân tích nhằm đánh giá hiệu quả chung của toàn bộ hệ thống lọc FO thử nghiệm, cũng như hiệu quả hoàn nguyên dung dịch lõi cuộn của phương pháp lọc RO hoặc phương pháp lọc NF.

Bảng 2.2 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuộn

| Thông số vận hành | | Giá trị |
|---|---------------------------|--|
| Dung dịch ban đầu | Phía nguồn nước đầu vào | NaCl 10 – 30 %, hoặc Nước de-ion |
| | Phía dung dịch lõi cuộn | Maltodextrin 5 – 30 %, hoặc các dung dịch lõi cuộn đối chứng cụ thể khác |
| Loại màng lọc | | FO-TFC, hoặc FO-CTA |
| Lưu lượng dòng * | Phía dung dịch lõi cuộn | 5 – 100 L/h |
| | Phía nguồn nước đầu vào | Duy trì cao hơn phía dung dịch lõi cuộn khoảng 10 L/h |
| Thông số khác (FO) | Nhiệt độ | 10 – 40 °C |
| | Hướng dòng chảy | Cùng chiều – Ngược chiều |
| | Chênh lệch áp suất * | 0 – 0,8 bar |
| | Thời gian thử nghiệm | 150 phút |
| Thông số khác (hoàn nguyên) | Áp suất dòng vào | 0 – 16 bar |
| | Lưu lượng dòng vào tối đa | 40 – 100 L/h |
| <p>Thử nghiệm lặp lại tối thiểu 05 lần, với sai số cho phép tối đa 5%</p> <p>Định kỳ 15 phút tiến hành ghi số liệu nhằm xác định sự thay đổi khối lượng của dung dịch lõi cuộn, từ đó xác định được thông lượng nước qua màng tương ứng</p> | | |

** Lưu lượng dòng và áp suất dòng được điều chỉnh thông qua kết hợp điều chỉnh công suất bơm, cùng tiết diện đường ống dẫn.*

Cụ thể, khi tăng công suất bơm thì lưu lượng dòng sẽ tăng tương ứng.

Ngược lại, khi giảm tiết diện đường ống dẫn thì áp suất dòng sẽ tăng, tuy nhiên lưu lượng dòng sẽ giảm.

2.2.2. Phương pháp thử nghiệm khảo sát ảnh hưởng của các thông số vận hành lên khả năng lôi cuốn của dung dịch Maltodextrin

Trong khuôn khổ luận văn này, ảnh hưởng của một số thông số vận hành lên hiệu quả của quá trình lọc FO sử dụng chất lôi cuốn Maltodextrin đã được khảo sát, bao gồm nồng độ dung dịch lôi cuốn, nồng độ nguồn nước mặn đầu vào, loại màng lọc, v.v.

Các thông số cụ thể được khảo sát, cũng như khoảng giá trị khảo sát được trình bày chi tiết trong **Bảng 2.2**. Bên cạnh đó, để tiện theo dõi, giá trị cụ thể của từng thông số vận hành trong mỗi thử nghiệm sẽ được trình bày tại mục tương ứng thuộc **Chương 3. Kết quả và thảo luận**.

2.2.3. Phương pháp đánh giá tính ổn định của hệ thống lọc FO

Tính ổn định của hệ thống lọc FO được đánh giá trên hệ thống thực nghiệm tương tự như đã mô tả trong mục Phương pháp thử nghiệm lọc FO quy mô phòng thí nghiệm, tuy nhiên thời gian vận hành được kéo dài từ 150 phút lên đến 168 tiếng, và khoảng cách giữa mỗi lần ghi nhận kết quả được kéo dài tương ứng. Bên cạnh đó, dung dịch lôi cuốn và dung dịch nước muối cũng được thay thế định kỳ nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của hiện tượng pha loãng hoặc cô đặc nồng độ dung dịch lên kết quả khảo sát.

Tính ổn định của hệ thống lọc FO được đánh giá thông qua theo dõi sự thay đổi của các giá trị Thông lượng nước lôi cuốn trung bình (J_w) và Thông lượng muối thẩm thấu ngược trung bình (J_{rs}) theo thời gian vận hành của hệ thống, từ đó xác định ảnh hưởng của hiện tượng nhiễm bẩn và tắc màng lên hiệu quả vận hành của tổ hợp chất lôi cuốn – màng lọc FO.

2.2.4. Phương pháp đánh giá hiệu quả khử mặn và sản xuất nước ngọt của hệ thống lọc kết hợp FO/ LPRO với chất lôi cuốn Maltodextrin

Hiệu quả lôi cuốn của dung dịch lôi cuốn được đánh giá dựa trên bốn thông số chính, bao gồm Thông lượng nước lôi cuốn (J_w), Thông lượng muối thẩm thấu ngược (J_s), và Thông lượng chất lôi cuốn thẩm thấu qua màng lọc FO (J_{ds}), và Hiệu suất hoàn nguyên dung dịch lôi cuốn (%RS). Các thông số

trên được tính toán dựa trên kết quả thử nghiệm thực tế trên hệ thống lọc quy mô phòng thí nghiệm, cụ thể như sau:

$$J_w = \frac{m_t - m_0}{t \times A_m \times \rho}$$

trong đó:

- J_w – Thông lượng nước lồi cuốn trung bình tại thời điểm T (LMH)
- m_0 – Khối lượng ban đầu của ca chứa dung dịch lồi cuốn (g)
- m_t – Khối lượng của ca chứa dung dịch lồi cuốn tại thời điểm T (g)
- t – Tổng thời gian vận hành của hệ thống tính đến thời điểm T (giờ)
- A_m – Diện tích hoạt động của màng lọc FO, xác định = 0,00042 m²
- ρ – Khối lượng riêng của nước, xác định = 0,001 g/L

$$J_{rs} = J_s - \frac{C_t \times (V_{FO} - J_w \times t \times A_m) - C_0 \times V_{FO}}{t \times A_m}$$

trong đó:

- J_{rs} – Thông lượng muối thẩm thấu ngược trung bình tại thời điểm T, áp dụng riêng cho khi nguồn nước đầu vào là nước mặn (GMH)
- C_0 – Hàm lượng muối ban đầu của nguồn nước đầu vào (g/L)
- C_t – Hàm lượng muối của nguồn nước đầu vào tại thời điểm T (g/L)
- V_{FO} – Thể tích ban đầu của nguồn nước đầu vào (L)
- J_w – Thông lượng nước lồi cuốn trung bình tại thời điểm T (LMH)
- A_m – Diện tích hoạt động của màng lọc FO, xác định = 0,00042 m²
- t – Tổng thời gian vận hành của hệ thống tính đến thời điểm T (giờ)
- J_s – Thông lượng chất lồi cuốn thẩm thấu qua màng lọc FO trung bình tại thời điểm T, khi nguồn nước đầu vào là nước de-ion và dung dịch lồi cuốn có cùng nồng độ chất lồi cuốn như trong thử nghiệm này (GMH)

$$J_s = \frac{C_t \times (V_{D0} - J_w \times t \times A_m)}{t \times A_m}$$

trong đó:

➤ J_s – Thông lượng chất lồi cuốn thấm thấu qua màng lọc FO trung bình tại thời điểm T, áp dụng riêng cho khi nguồn nước đầu vào là nước de-ion (GMH)

- C_t – Hàm lượng muối của nguồn nước đầu vào tại thời điểm T (g/L)
- V_{D0} – Thể tích ban đầu của nguồn nước đầu vào (L)
- J_w – Thông lượng nước lồi cuốn trung bình tại thời điểm T (LMH)
- A_m – Diện tích hoạt động của màng lọc FO, xác định = 0,00042 m²
- t – Tổng thời gian vận hành của hệ thống tính đến thời điểm T (giờ)

$$\%R_{ds} = 100\% - \frac{J_0 - (J_s - J_{rs}) \times t \times A_m - J}{J_0} \times 100\%$$

trong đó:

➤ $\%R_{ds}$ – Hiệu suất hoàn nguyên dung dịch lồi cuốn của toàn bộ hệ thống

- J_0 – Nồng độ ban đầu của dung dịch lồi cuốn (g/L)
- J – Nồng độ sau hoàn nguyên của dung dịch lồi cuốn (g/L)
- J_s – Thông lượng chất lồi cuốn thấm thấu qua màng lọc FO trung bình tại thời điểm kết thúc lọc thử nghiệm (GMH)
- J_{rs} – Thông lượng muối thấm thấu ngược trung bình tại thời điểm kết thúc lọc thử nghiệm (GMH)

- A_m – Diện tích hoạt động của màng lọc FO, xác định = 0,00042 m²
- t – Tổng thời gian vận hành của hệ thống lọc FO thử nghiệm (giờ)

2.3. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH

2.3.1. Phân tích những thông số đặc trưng của nước

Thông số đặc trưng của các nguồn nước thực tế, bao gồm nước biển và nước sau xử lý được phân tích theo hệ thống phương pháp và kỹ thuật phân tích phù hợp, được thực hiện tại Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Thông tin cụ thể về các chỉ tiêu cần phân tích cùng phương pháp và kỹ thuật phân tích tương ứng được trình bày trong **Bảng 2.3**.

Bảng 2.3 Các chỉ tiêu cùng phương pháp và kỹ thuật phân tích tương ứng đối với những nguồn nước thực tế

| Chỉ tiêu | Đơn vị | Phương pháp và kỹ thuật phân tích |
|--|--------|---|
| Độ pH | - | TCVN 6492:2011 |
| Độ màu | TCU | TCVN 6185:2008 |
| Độ đục | NTU | TCVN 6184:1996 |
| Mùi vị | - | Phương pháp cảm quan SMEWW 2150:2017 |
| Độ mặn | mg/L | Đo nhanh bằng thiết bị Ezdo 7021 |
| Độ cứng (tính theo CaCO ₃) | mg/L | TCVN 6224:1996 |
| TSS | mg/L | TCVN 6625:2000 |
| TDS | mg/L | Đo nhanh bằng thiết bị Ezdo 7021 |
| COD | mg/L | SMEWW 5220.C:2017 |
| Nguyên tố kim loại và kim loại nặng (bao gồm As, Se Hg, Cu, Fe, Pb, Zn, Cd, Cr , Pb, Na...) | µg/L | EPA method 200.8 |

Bảng 2.3 Các chỉ tiêu cùng phương pháp và kỹ thuật phân tích tương ứng đối với những nguồn nước thực tế (tiếp)

| Chỉ tiêu | Đơn vị | Phương pháp và kỹ thuật phân tích |
|---------------------------------|---------------------|--|
| Tổng P | mg/L | TCVN 6202:2008 |
| Photphat | mg/L | TCVN 6202:2008 |
| Tổng N | mg/L | TCVN 6638:2000 |
| NH ₄ ⁺ _N | mg/L | TCVN 6179-1:1996 |
| NO ₃ ⁻ _N | mg/L | TCVN 6180:1996 |
| Clorua | mg/L | TCVN 6194:1996 |
| Florua | mg/L | TCVN 6195:1996 |
| Sunfua | mg/L | SMEWW 4500.S ² -D:2017 |
| Sunfat | mg/L | SMEWW 4500 SO ₄ ²⁻ -E.2017 |
| Florua | mg/L | SMEWW 4500.F- B&D:2017 |
| Natri | mg/L | TCVN 6660:2000 |
| Dầu mỡ | mg/L | SMEWW 5520B&F:2017 |
| Iod tự do | mg/L | SMEWW 4500 Cl ⁻ .G:2017 |
| Coliform | vi khuẩn/ 100 mL | TCVN 6187-1:2019 |

2.3.2. Phân tích cấu trúc vi mô của màng lọc FO

Cấu trúc vi mô của màng lọc FO trước và sau khi sử dụng trong hệ thống lọc FO thử nghiệm được phân tích trên thiết bị HITACHI Miniscope TM-1000 (Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ

Việt Nam) trong môi trường chân không với điện áp gia tốc 5 kV tại những độ phóng đại khác nhau.

Mẫu màng lọc phân tích SEM hình thái bề mặt được chuẩn bị bằng cách dùng giấy lọc thấm khô bề mặt màng lọc, rồi sử dụng thiết bị lắng đọng phún xạ để mạ một lớp hợp kim vàng – paladin lên bề mặt màng lọc trước khi phân tích.

Mẫu màng lọc phân tích SEM hình thái cấu trúc xốp được chuẩn bị bằng cách dùng giấy lọc thấm khô bề mặt màng lọc, sau đó ngâm màng lọc trong môi trường nitơ lỏng trước khi dùng lưỡi dao lam cắt dọc bề mặt để thu được mặt cắt ngang hoàn chỉnh. Mặt cắt ngang sau đó được mạ một lớp hợp kim vàng – paladin lên bề mặt sử dụng thiết bị lắng đọng phún xạ trước khi phân tích.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. KẾT QUẢ KHẢO SÁT NGUỒN NƯỚC ĐẦU VÀO THỰC TẾ

3.1.1. Kết quả phân tích đối với các mẫu nước mặn và nước bị ô nhiễm thực tế

Nhằm xác định chính xác các thông số thử nghiệm sao cho phù hợp nhất với điều kiện thực tế, tác giả đã tiến hành thu thập một số mẫu nước thực tế tại nhiều khu vực khác nhau, cụ thể bao gồm :

➤ Nhóm mẫu nước biển : Mẫu nước biển được lấy tại khu vực ngoài khơi các vùng biển Ba Động (tỉnh Trà Vinh), biển Quát Lâm (tỉnh Nam Định), và biển Đồ Sơn (thành phố Hải Phòng). Khu vực lấy mẫu được lựa chọn cách bờ khoảng 5 km, và không nằm gần cửa sông, cửa cống xả nước thải, bãi tắm, hải cảng, hay những khu vực khác chịu nhiều ảnh hưởng từ các hoạt động kinh tế - xã hội của con người.

➤ Nhóm mẫu nước lợ : Mẫu nước lợ được lấy tại khu vực khoảng 5 km xung quanh các vùng cửa sông, bao gồm cửa Cung Hầu (sông Cổ Chiên, tỉnh Bến Tre), cửa Hà Lạn (sông Sò, tỉnh Nam Định), và cửa Cấm (sông Cấm, thành phố Hải Phòng). Khu vực lấy mẫu được lựa chọn không nằm gần cửa cống xả nước thải, hay những khu vực khác chịu nhiều ảnh hưởng từ các hoạt động kinh tế - xã hội của con người.

➤ Nhóm mẫu nước nhiễm mặn : Mẫu nước nhiễm mặn được lấy tại một số địa điểm trên địa bàn hai tỉnh Trà Vinh và tỉnh Bến Tre trong khoảng thời gian mùa khô vào tháng 03/2022.

Kết quả phân tích cụ thể đối với từng mẫu nước mặn và nước nhiễm mặn được trình bày lần lượt trong **Bảng 3.1**, **Bảng 3.2**, và **Bảng 3.3**.

Bảng 3.1 Kết quả phân tích một số chỉ tiêu của các mẫu nước biển

| Chỉ tiêu phân tích | | Biển Ba Động | Biển Quất Lâm | Biển Đồ Sơn |
|---|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Độ pH | - | 7,2 | 7,0 | 7,3 |
| Độ mặn | ‰ | 28 | 29 | 25 |
| TSS | mg/L | 67 | 58 | 62 |
| DO | mg/L | 4,2 | 3,9 | 4,3 |
| COD | mg/L | 3,8 | 4,6 | 4,2 |
| Tổng Nitơ | mg/L | 48 | 55 | 57 |
| Amoni (NH ₄ ⁺ -N) | mg/L | 28 | 32 | 37 |
| Nitrat (NO ₃ ⁻ -N) | mg/L | 4,9 | 5,4 | 20,4 |
| Tổng Phốtpho | mg/L | 8,5 | 9,5 | 7,8 |
| Photphat (PO ₄ ³⁻ -P) | mg/L | 5,7 | 6,1 | 5,8 |
| Florua (F ⁻) | mg/L | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Clorua (Cl ⁻) | g/L | 16,39 | 17,61 | 15,19 |
| Sulfua (S ²⁻) | mg/L | <0,12 | <0,12 | <0,12 |
| Dầu mỡ | mg/L | 38,0 | 42,8 | 36,2 |
| Coliform | vi khuẩn/ 100mL | 39 × 10 ³ | 26 × 10 ³ | 21 × 10 ³ |

Bảng 3.2 Kết quả phân tích một số chỉ tiêu của các mẫu nước cửa sông

| Chỉ tiêu phân tích | | Cửa Cung Hầu | Cửa Hà Lạn | Cửa Cấm |
|---|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Độ pH | - | 7,7 | 7,2 | 7,5 |
| Độ mặn | ‰ | 20 | 11 | 15 |
| TSS | mg/L | 1176 | 1207 | 1122 |
| DO | mg/L | 4,6 | 3,9 | 4,2 |
| COD | mg/L | 4,2 | 5,1 | 6,1 |
| Tổng Nitơ | mg/L | 72 | 65 | 67 |
| Amoni (NH ₄ ⁺ -N) | mg/L | 30 | 41 | 37 |
| Nitrat (NO ₃ ⁻ -N) | mg/L | 7,6 | 8,3 | 7,6 |
| Tổng Phốtpho | mg/L | 9,9 | 7,6 | 7,8 |
| Photphat (PO ₄ ³⁻ -P) | mg/L | 4,4 | 4,1 | 3,8 |
| Florua (F ⁻) | mg/L | 4,6 | 4,9 | 3,8 |
| Clorua (Cl ⁻) | g/L | 9,2 | 6,1 | 11,6 |
| Sulfua (S ²⁻) | mg/L | <0,12 | <0,12 | <0,12 |
| Dầu mỡ | mg/L | 14,6 | 16,0 | 15,8 |
| Coliform | Vi khuẩn / 100mL | 24 × 10 ⁵ | 22 × 10 ⁵ | 39 × 10 ⁵ |

Bảng 3.3. Kết quả phân tích một số chỉ tiêu của các mẫu nước nhiễm mặn

| Chỉ tiêu phân tích | | Mẫu TV1 | Mẫu TV2 | Mẫu BT1 |
|---|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Độ pH | - | 6,7 | 6,8 | 7,0 |
| Độ mặn | ‰ | 3,1 | 5,8 | 4,3 |
| TSS | mg/L | 734 | 523 | 441 |
| TDS | mg/L | 4,62 | 7,27 | 5,64 |
| COD | mg/L | 567 | 476 | 257 |
| TDS | g/L | 4,62 | 7,27 | 5,64 |
| As | mg/L | 0,11 | 0,19 | 0,14 |
| Fe | mg/L | 8,2 | 10,2 | 6,9 |
| Tổng Nitơ | mg/L | 31 | 77 | 49 |
| Amoni (NH ₄ ⁺ -N) | mg/L | 19 | 47 | 34 |
| Nitrat (NO ₃ ⁻ -N) | mg/L | 2,7 | 6,9 | 4,4 |
| Tổng Phốtpho | mg/L | 5,6 | 6,8 | 6,4 |
| Photphat (PO ₄ ³⁻ -P) | mg/L | 4,8 | 5,1 | 3,7 |
| Clorua (Cl ⁻) | mg/L | 1930 | 3540 | 2680 |
| Sulfua (S ²⁻) | mg/L | 6,3 | 9,7 | 5,7 |
| Dầu mỡ | mg/L | 4,9 | 0,9 | 0,8 |
| Coliform | vi khuẩn/ 100mL | 61 × 10 ³ | 33 × 10 ³ | 25 × 10 ³ |

Nhìn chung, kết quả phân tích cho thấy tồn tại sự tương đồng nhất định về mặt giá trị độ mặn giữa các mẫu nước thuộc cùng một nhóm, cụ thể như sau:

- Các mẫu nước biển có độ mặn dao động trong khoảng 25 – 30 g/L
- Các mẫu nước lợ cửa sông có độ mặn dao động trong khoảng 10 – 20 g/L
- Các mẫu nước nhiễm mặn có độ mặn dao động trong khoảng 3 – 6 g/L

Bên cạnh đó, toàn bộ các mẫu nước thu thập được đều có độ pH trung tính, dao động trong khoảng từ 6,3 – 7,7. Đây là khoảng giá trị pH nằm trong giới hạn cho phép vận hành bình thường của màng lọc FO, và về lý thuyết sẽ không tạo thành ảnh hưởng tiêu cực lên cấu trúc của màng lọc FO.

Ngoài ra, một số mẫu nước cũng thể hiện thành phần tạp chất gây ô nhiễm nằm ngoài giới hạn cho phép theo các tiêu chuẩn liên quan của Việt Nam cũng như quốc tế, mà đáng quan tâm nhất là hàm lượng coliform. Tuy nhiên, tại những ngưỡng giá trị này thì phần lớn các thành phần tạp chất gây ô nhiễm sẽ không tạo thành tổn hại đáng kể đối với màng lọc FO, mặc dù khi vận hành trong thời gian kéo dài thì chúng có thể thúc đẩy hiện tượng bám cặn mà nhiễm bẩn bề mặt màng lọc FO. Theo chiều ngược lại, bên cạnh hiệu quả khử mặn, quá trình lọc FO cũng có thể giúp loại bỏ những thành phần tạp chất gây ô nhiễm có trong nguồn nước này, cung cấp nguồn nước sạch an toàn đối với sức khỏe con người. Dẫu vậy, khi đó thì việc xử lý sản phẩm phụ sinh ra từ quá trình lọc FO lại trở thành một vấn đề đáng phải quan tâm, nhằm tránh tạo thành ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường.

Tuy nhiên, cũng cần chú ý rằng một số mẫu nước thu thập được có giá trị TSS và dầu mỡ tương đối cao. Như đã đề cập, đây là những thành phần tạp chất trong nguồn nước có thể gây tổn hại tương đối nghiêm trọng và không thể đảo ngược đối với cấu trúc của màng lọc FO, và cần thiết phải loại bỏ một cách tối đa khỏi nguồn nước trước khi đưa vào hệ thống lọc FO. Bên cạnh đó, những thành phần chất gây ô nhiễm hữu cơ và thành phần chất gây ô nhiễm

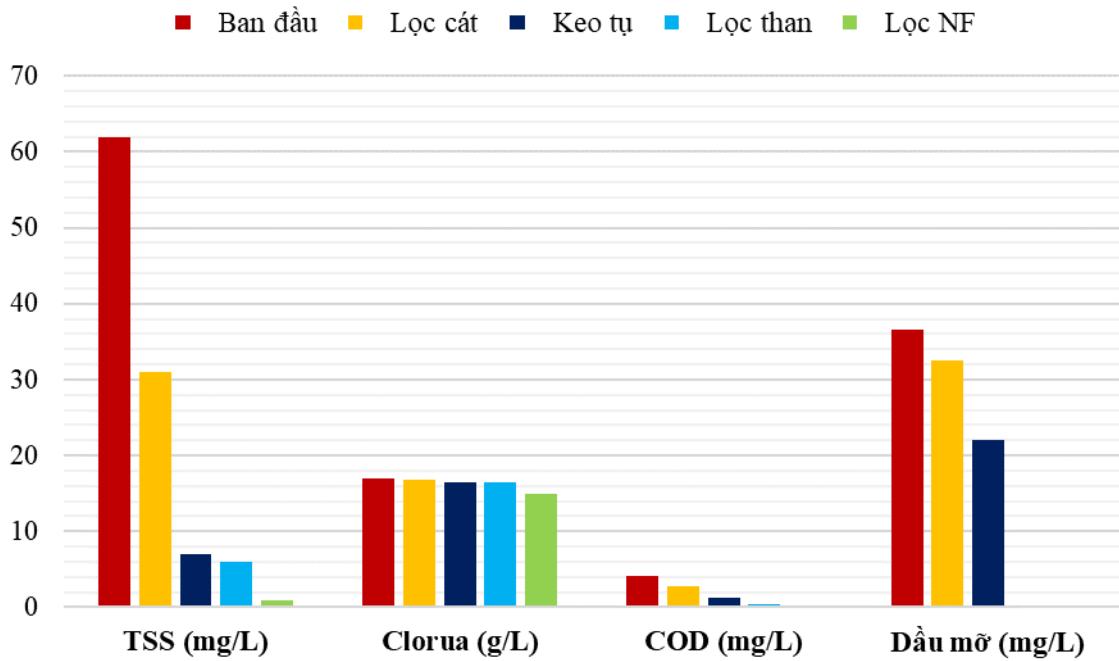
giàu nito/giàu phốt-phát cũng là những đối tượng đáng được quan tâm, bởi chúng có thể tạo điều kiện cho hiện tượng nhiễm bản sinh học trong hệ thống lọc FO diễn ra nhanh hơn, đặc biệt là nhiễm bản sinh học trên bề mặt màng lọc, gây suy giảm hiệu quả hoạt động của toàn bộ hệ thống lọc FO.

Từ những kết quả trên, có thể thấy được cần thiết phải tiến hành thực hiện xử lý sơ bộ phù hợp đối với các nguồn nước đầu vào thực tế nhằm đảm bảo vận hành an toàn và hiệu quả cho hệ thống lọc FO. Ngoài ra, việc phân tích chất lượng nguồn nước đầu vào cũng là một công đoạn cần thiết, vừa giúp đánh giá chính xác được hiệu quả hoạt động cụ thể của từng công đoạn xử lý nước, vừa giúp lựa chọn phương án xử lý sơ bộ một cách phù hợp nhất.

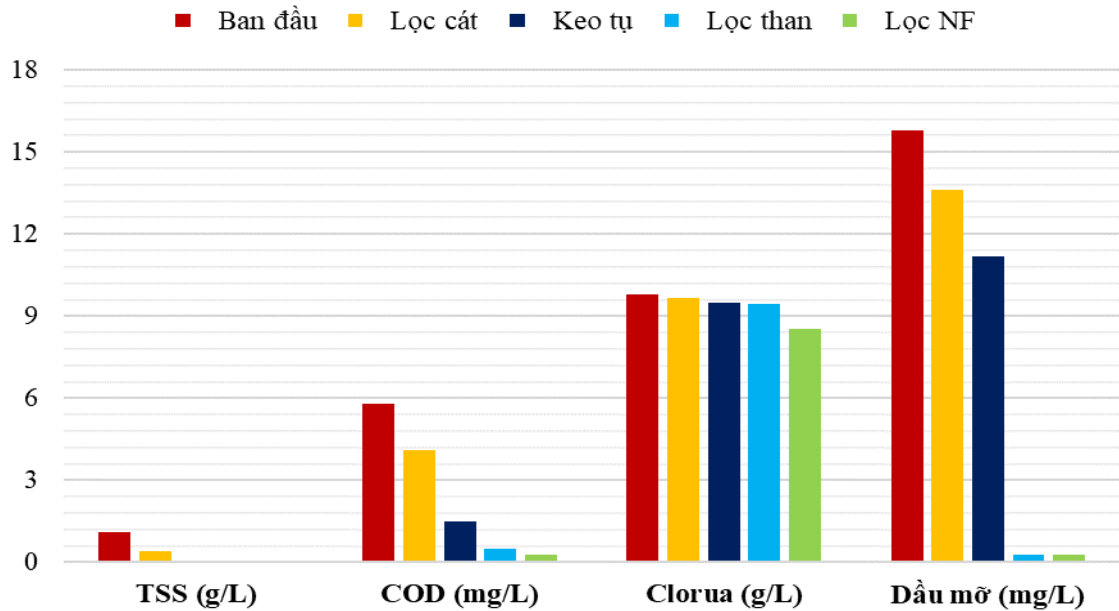
Các mẫu nước nhiễm mặn thu thập được có độ mặn dao động trong khoảng 3 – 30 g/L, và cần thiết phải được xử lý sơ bộ nhằm đảm bảo hiệu quả hoạt động cho hệ thống khử mặn bằng công nghệ màng.

3.1.2. Kết quả phân tích đối với các mẫu nước mặn và nước nhiễm mặn thực tế sau xử lý sơ bộ

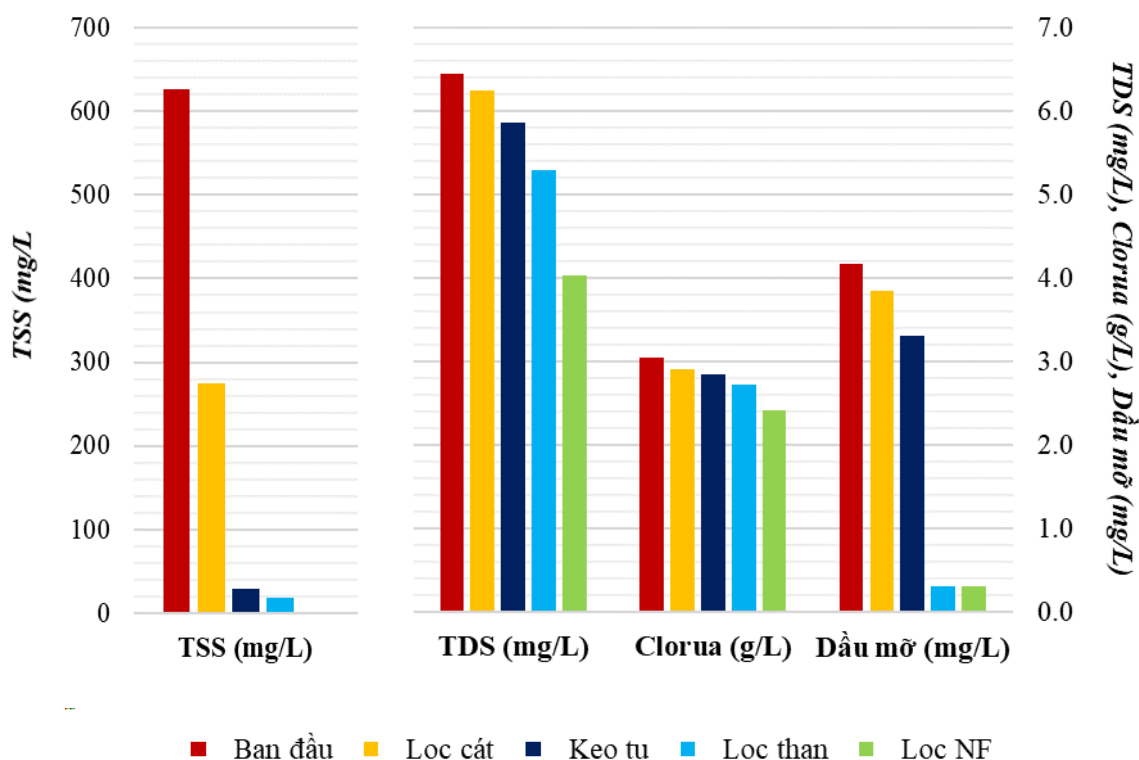
Nghiên cứu trước đó do TS. Lê Trường Giang và cộng sự [30] thực hiện – tiền đề khoa học của đề tài này – đã đề xuất được một quy trình tiền xử lý đối với các nguồn nước thực tế, bao gồm bốn bước chính là (1) lọc cát, (2) keo tụ bằng FeSO_4 và $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ hàm lượng 20 mg/L, (3) lọc NF với kích thước giới hạn 5 micron, và (4) lọc than hoạt tính. Kết quả áp dụng quy trình tiền xử lý trên đối với các mẫu trộn theo nhóm nước mặn và nước nhiễm mặn thực tế thu được trong khuôn khổ đề tài này được trình bày một cách cụ thể lần lượt tại **Hình 3.1**, **Hình 3.2**, và **Hình 3.3**.



Hình 3.1 Hiệu quả của các bước tiền xử lý đối với một số chỉ tiêu quan trọng của mẫu nước biển đại diện



Hình 3.2 Hiệu quả của các bước tiền xử lý đối với một số chỉ tiêu quan trọng của mẫu nước cửa sông đại diện



Hình 3.3 Hiệu quả của các bước tiền xử lý đối với một số chỉ tiêu quan trọng của mẫu nước nhiễm mặn đại diện

Kết quả khảo sát cho thấy, với mẫu nước nhiễm mặn đại diện, các bước tiền xử lý đã giúp giảm đáng kể các chỉ số TSS và tổng dầu mỡ. Cụ thể, bước lọc cát đã giúp giảm khoảng 50% chỉ số TSS và khoảng 30% chỉ số COD ban đầu, trong khi bước keo tụ đã giúp giảm khoảng 80% chỉ số TSS và khoảng 60% chỉ số COD còn dư lại sau bước lọc cát. Điều này có thể giải thích là do bước lọc cát và bước keo tụ có tác dụng chủ yếu là loại bỏ những thành phần không tan hoặc khó tan có trong nguồn nước cần xử lý, bởi vậy rất có hiệu quả trong việc giảm chỉ số TSS và chỉ số COD. Ngược lại, hai bước xử lý này chỉ có hiệu quả loại bỏ dầu mỡ tương đối thấp (khoảng 40% tổng dầu mỡ ban đầu) và gần như không có hiệu quả loại bỏ clorua.

Đáng chú ý, bước lọc than đã giúp giảm đáng kể chỉ số COD và tổng dầu mỡ còn dư sau keo tụ của nguồn nước, do than hoạt tính có khả năng hấp thụ tốt nhiều thành phần chất gây ô nhiễm gốc hữu cơ và ưa dầu. Tuy nhiên, bước lọc than lại không có tác dụng đáng kể trong việc loại bỏ thành phần TSS và clorua có trong nguồn nước. Cuối cùng, bước lọc NF đã giúp loại bỏ

gần như hoàn toàn thành phần TSS có trong nguồn nước (xuống dưới 1 mg/L), do bản chất lọc màng chọn lọc theo kích thước của phương pháp xử lý này. Ngoài ra, bước lọc NF cũng giúp loại bỏ đến 50% chỉ số COD còn dư lại sau lọc than, và gần 10% chỉ số clorua.

Nhìn chung, các bước tiền xử lý đã giúp làm giảm đáng kể các chỉ số TSS, COD, và tổng dầu mỡ của nước biển, cho phép đảm bảo nguồn nước sau xử lý có thể đưa vào chạy ổn định trong hệ thống lọc FO tiếp theo. Tuy nhiên, các bước tiền xử lý này không tạo thành ảnh hưởng đáng kể đối với chỉ số clorua, do chỉ số clorua ban đầu của nước biển rất cao và chủ yếu bắt nguồn từ thành phần NaCl hoà tan có trong nước biển. Điều này đặt ra yêu cầu cần thiết phải tiếp tục lọc sâu hơn đối với nguồn nước này nhằm loại bỏ hoàn toàn thành phần NaCl hoà tan, nhằm sản xuất được nước sạch có thể sử dụng trong sinh hoạt và sản xuất.

Kết quả tương tự cũng thể hiện trên mẫu nước cửa sông đại diện và mẫu nước nhiễm mặn đại diện, với các giá trị TSS, COD, và tổng dầu mỡ gần như được loại bỏ hoàn toàn sau quá trình xử lý sơ bộ, trong khi giá trị clorua giảm không đáng kể. Từ những kết quả trên, có thể thấy được việc xử lý sơ bộ nguồn nước nhiễm mặn (bao gồm nước biển và nước cửa sông) là hoàn toàn cần thiết, và các bước xử lý sơ bộ được áp dụng đã giúp loại bỏ gần như hoàn toàn nhiều thành phần gây ô nhiễm có hại đối với màng lọc FO, giúp bảo vệ modul màng lọc FO trong suốt quá trình vận hành lâu dài. Bên cạnh đó, những kết quả trên cũng cho thấy tính đa dạng về mặt thành phần của các mẫu nước nhiễm mặn cần xử lý khử mặn.

Nhằm thu được những kết quả bước đầu mang tính tham chiếu, tác giả quyết định sử dụng mẫu nước nhiễm mặn mô phỏng trong những thử nghiệm tiếp theo. Mẫu nước nhiễm mặn mô phỏng được chuẩn bị bằng cách pha muối tinh với thể tích phù hợp nước de-ion, nhằm thu được những dung dịch mô phỏng với hàm lượng NaCl nằm trong khoảng 10– 30 %.

Quy trình tiền xử lý đối với nước nhiễm mặn được kế thừa từ nghiên cứu trước đó do TS. Lê Trường Giang và cộng sự [30] cho hiệu quả tốt trong

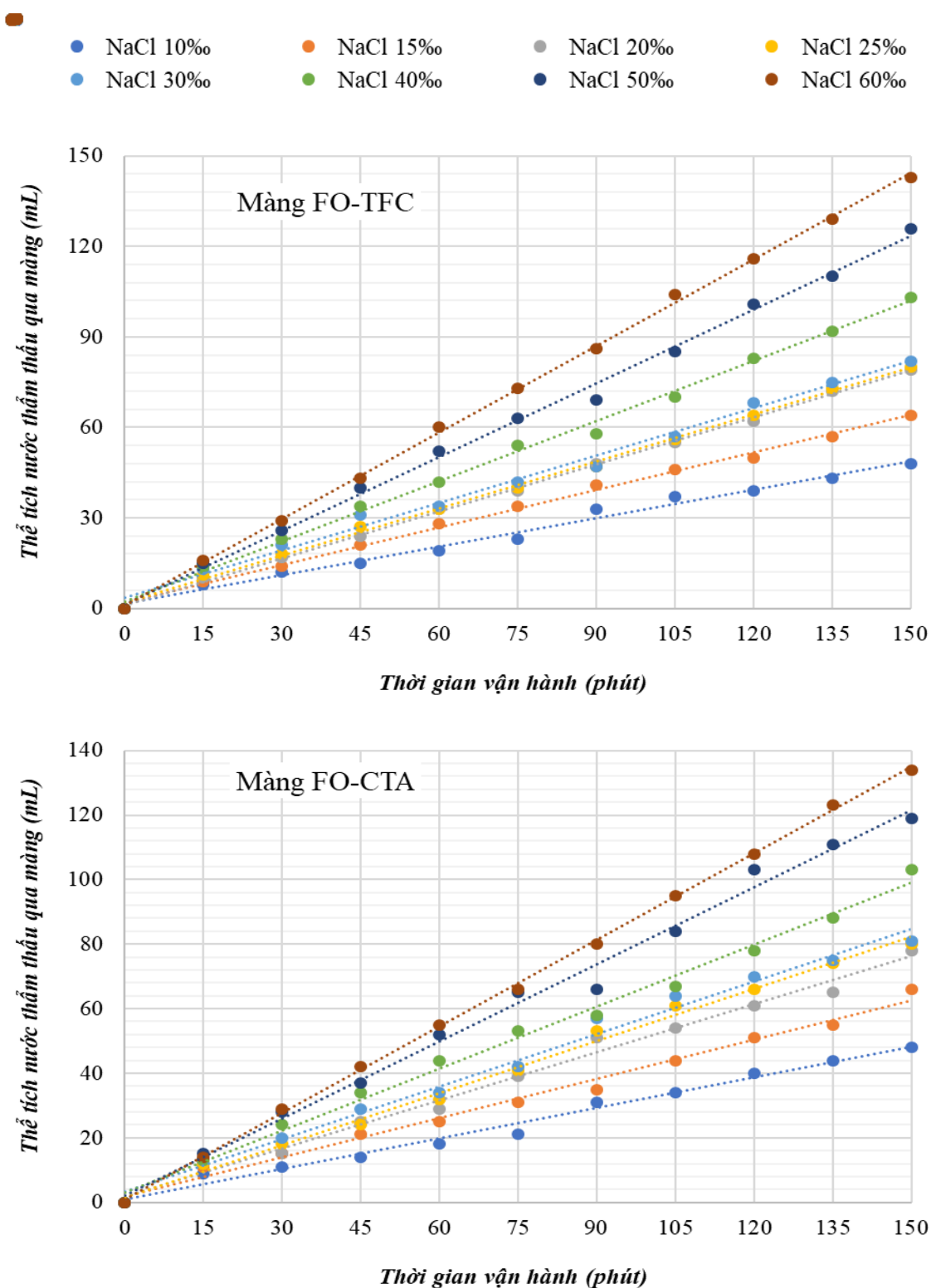
việc loại bỏ các thành phần tạp chất có khả năng gây hại đối với màng lọc tồn tại trong những nguồn nước nhiễm mặn thực tế.

3.2. KẾT QUẢ KHẢO SÁT TÍNH CHẤT MÀNG LỌC THẨM THẤU XUÔI

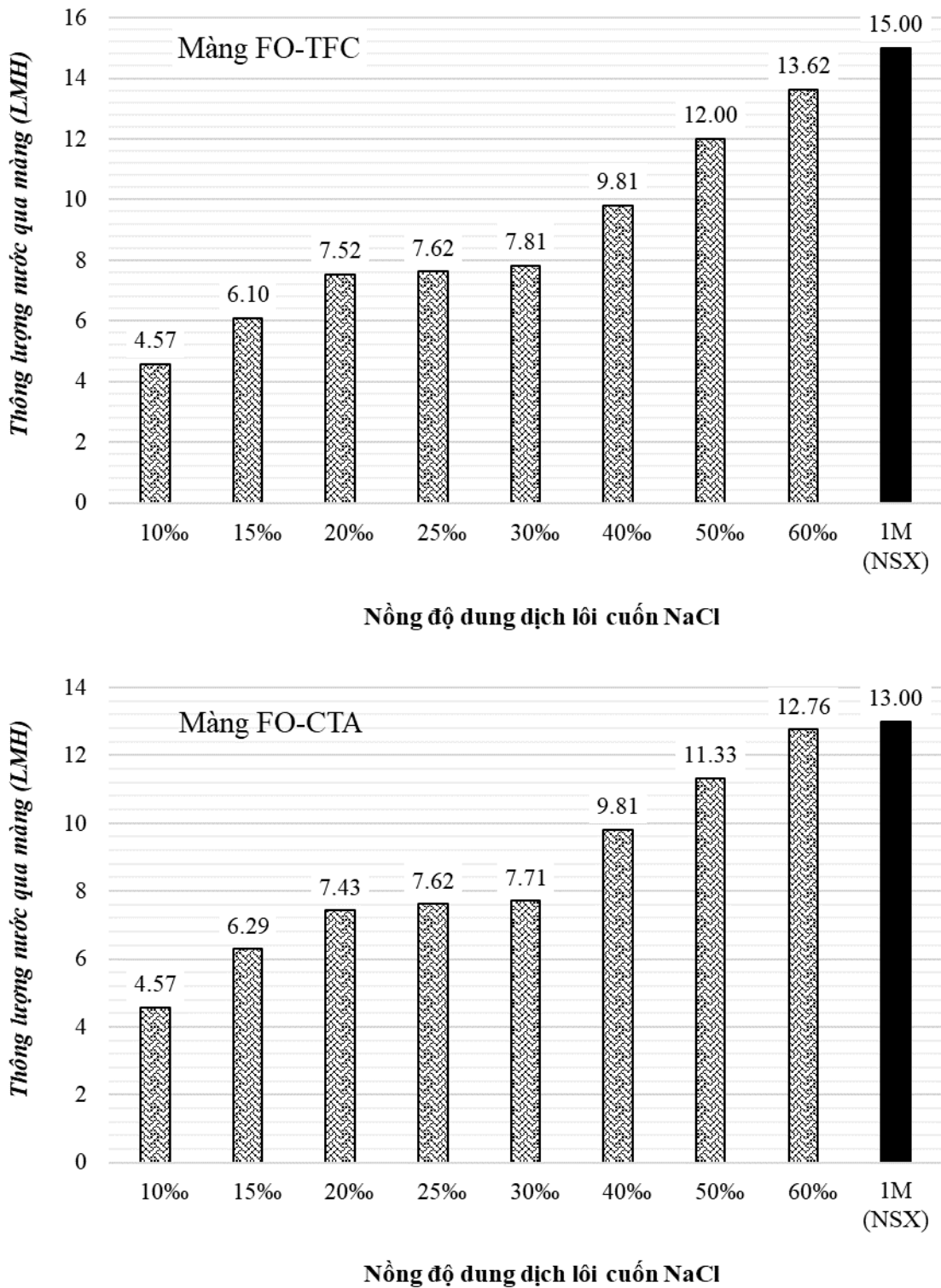
Nhằm đánh giá đặc trưng thẩm thấu của các loại màng lọc FO, mà cụ thể là màng lọc FO-CTA của hãng FTSH2O và màng lọc FO-TFC của hãng Aquaporin, tác giả đã quyết định thực hiện thử nghiệm lọc Thẩm thấu xuôi với các điều kiện cụ thể được liệt kê trong **Bảng 3.4**. Nhìn chung, các thông số vận hành được giữ cố định qua các thử nghiệm, ngoại trừ nồng độ dung dịch lồi cuộn NaCl được thay đổi trong khoảng 10 – 60 ‰. Kết quả thử nghiệm được thể hiện trong **Hình 3.4**, **Hình 3.5**, và **Hình 3.6**.

Bảng 3.4 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc tính màng lọc

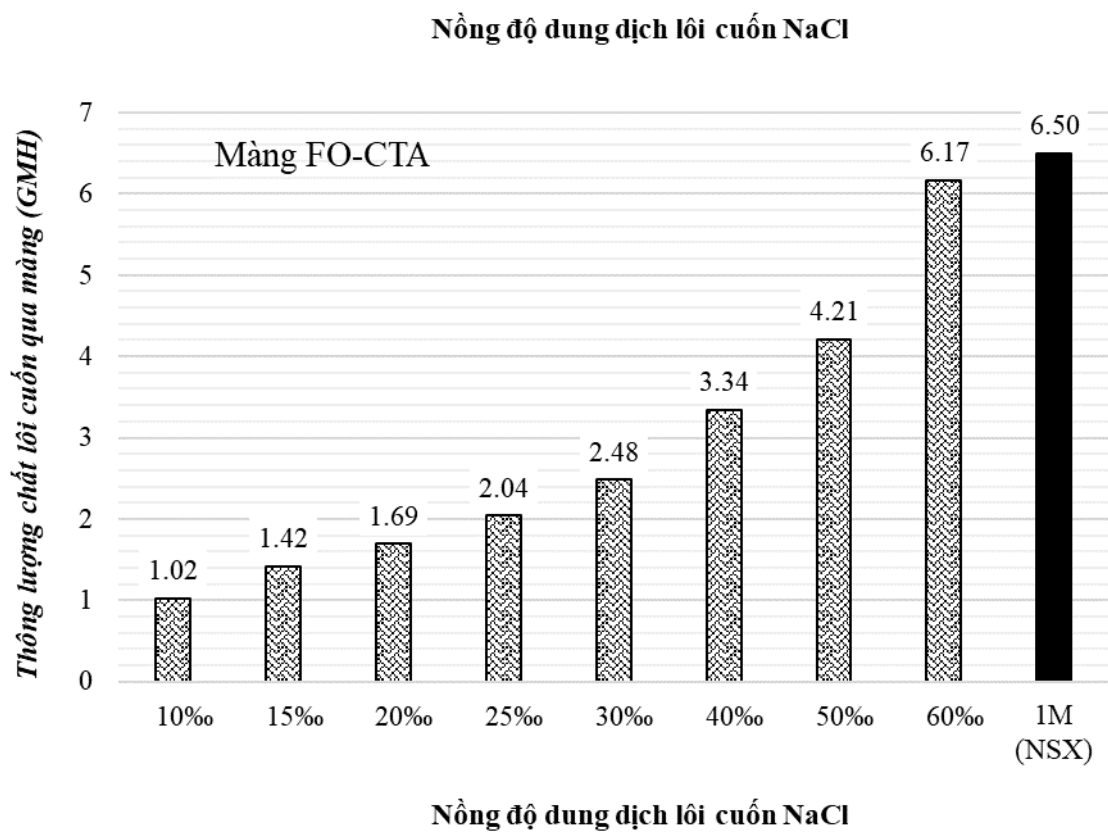
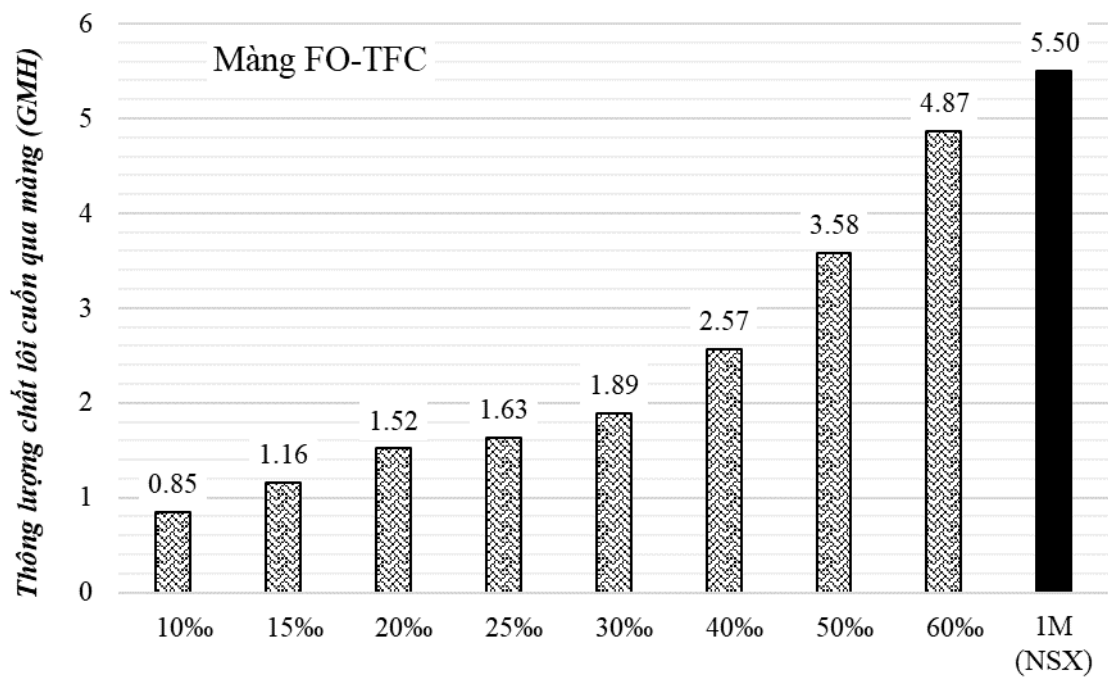
| Thông số vận hành | | Giá trị |
|--|-------------------------|----------------|
| Dung dịch ban đầu | Phía nguồn nước đầu vào | Nước de-ion |
| | Phía dung dịch lồi cuộn | NaCl 10 – 60 ‰ |
| Lưu lượng dòng vào | Phía nguồn nước đầu vào | 25 L/h |
| | Phía dung dịch lồi cuộn | 15 L/h |
| Thông số khác | Nhiệt độ | 30 °C |
| | Hướng dòng chảy | Ngược chiều |
| | Chênh lệch áp suất | 0,02 MPa |
| | Thời gian thử nghiệm | 150 phút |
| Thử nghiệm lặp lại tối thiểu 05 lần, với sai số cho phép tối đa 5% | | |



Hình 3.4 Thể tích nước thẩm thấu qua màng lọc FO-TFC (trên) và qua màng lọc FO-CTA (dưới) khi sử dụng dung dịch lồi cuộn với nồng độ NaCl thay đổi trong khoảng 10 – 60 ‰



Hình 3.5 Thông lượng nước thẩm thấu qua màng lọc FO-TFC (trên) và qua màng lọc FO-CTA (dưới) khi sử dụng dung dịch lồi cuộn với nồng độ NaCl thay đổi trong khoảng 10 – 60 %



Hình 3.6 Thông lượng chất lồi cuốn thẩm thấu ngược qua màng lọc FO-TFC (trên) và qua màng lọc FO-CTA (dưới) khi sử dụng dung dịch lồi cuốn với nồng độ NaCl thay đổi trong khoảng 10 – 60 ‰

Kết quả khảo sát thể hiện trên **Hình 3.4** cho thấy, khi vận hành liên tục hệ thống lọc FO đến khoảng thời gian 150 phút, thì thể tích nước thẩm thấu qua màng tăng dần đều theo thời gian tại mọi nồng độ dung dịch lồi cuốn NaCl, và với mọi loại màng lọc FO. Điều này chứng minh được rằng hệ thống thử nghiệm đã được thiết kế một cách phù hợp, cho phép quá trình lọc FO vận hành ổn định trong khoảng thời gian đến 150 phút và thể tích nước thẩm thấu qua màng đến 143 mL mà không tạo thành ảnh hưởng đáng kể lên hiệu quả lồi cuốn của dung dịch lồi cuốn – nước thẩm thấu qua màng có thể gây ra bởi hiện tượng pha loãng dung dịch lồi cuốn, dẫn tới làm giảm hiệu quả lồi cuốn khi hệ thống thử nghiệm không được thiết kế hợp lý.

Đáng chú ý hơn, kết quả khảo sát trên **Hình 3.4** cho thấy tồn tại một “khoảng chững” về hiệu quả lồi cuốn khi dung dịch lồi cuốn có nồng độ NaCl nằm trong khoảng 20 – 30 ‰. Điều này có thể giải thích là do tại khoảng nồng độ này, dung dịch lồi cuốn NaCl có thể tạo thành hiện tượng phân cực cục bộ trong màng lọc (internal concentration polarization – ICP) tương đối mạnh, cân bằng với sự tăng lên về mặt chênh lệch áp suất thẩm thấu giữa hai phía của màng lọc, khiến cho thông lượng nước qua màng gần như không tăng khi tăng nồng độ dung dịch lồi cuốn. Vượt quá ngưỡng nồng độ dung dịch lồi cuốn NaCl 30‰, lực cản gây ra bởi hiện tượng ICP không còn tiếp tục tăng mạnh như trước nữa, cho phép thông lượng nước thẩm thấu qua màng tiếp tục tăng khi tăng nồng độ dung dịch lồi cuốn. Sự thay đổi này được thể hiện một cách chi tiết hơn trên **Hình 3.5**.

Bên cạnh đó, cũng có thể thấy được rằng thể tích nước thẩm thấu qua màng lọc sau mỗi khoảng thời gian (cụ thể là sau mỗi 15 phút) không phải là một giá trị ổn định, mà xuất hiện sự dao động nhất định xung quanh đường giá trị trung bình dạng tuyến tính. Hiện tượng trên có thể xảy ra do nhiều yếu tố khác nhau, mà chủ yếu là do thiết kế của hệ thống thử nghiệm có thể dẫn tới tạo thành dòng chảy không đồng nhất vào modul lọc thử nghiệm, cũng như sự thay đổi nhất định về mặt nồng độ dung dịch lồi cuốn được hút vào bơm.

Những yếu tố ảnh hưởng liên quan đến điều kiện vận hành này cũng được xác định là nguyên nhân dẫn tới việc thông lượng nước thẩm thấu qua màng trong điều kiện thử nghiệm tại nồng độ dung dịch lồi cuốn NaCl 60‰ lại thấp hơn so với con số được báo cáo bởi nhà sản xuất tại nồng độ dung dịch lồi cuốn tương đương NaCl 1M. Cụ thể, như trình bày trong **Hình 3.5**, thông lượng nước thẩm thấu qua màng được nhà sản xuất báo cáo đối với hai loại màng FO-TFC của Aquaporin và màng FO-CTA của FTSH2O lần lượt là khoảng 15 LMH và 13 LMH, trong khi giá trị thực tế thu được từ thực nghiệm chỉ đạt lần lượt là 13,62 LMH và 12,76 LMH. Màng FO-CTA có khả năng thẩm ướt nước tốt hơn so với màng FO-TFC nên đã hạn chế được phần nào ảnh hưởng tiêu cực của điều kiện vận hành lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng, dẫn tới giá trị thông lượng nước thẩm thấu qua màng thực tế thu được chỉ thấp hơn khoảng 2% so với giá trị do nhà sản xuất báo cáo, trong khi con số này đối với màng FO-TFC lên tới khoảng 10%. Dẫu vậy, nhìn chung thì màng FO-TFC vẫn cho hiệu quả thẩm thấu nước cao hơn so với màng FO-CTA.

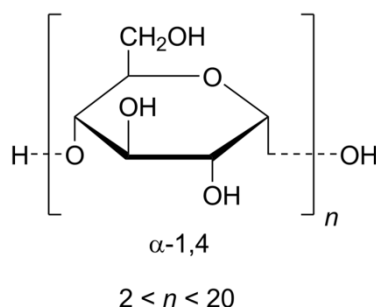
Một yếu tố đáng quan tâm khác của quá trình lọc FO là thông lượng chất lồi cuốn thẩm thấu ngược qua màng, với kết quả thử nghiệm được trình bày trong **Hình 3.6**. Cụ thể, khi tăng nồng độ dung dịch lồi cuốn NaCl từ 10‰ lên 60‰ thì thông lượng chất lồi cuốn thẩm thấu ngược qua màng cũng sẽ tăng lên, đặc biệt là sau ngưỡng nồng độ NaCl 30‰. Điều này có thể giải thích là do các chất trong dung dịch đều có xu hướng di chuyển từ nơi có nồng độ cao hơn về nơi có nồng độ thấp hơn, bao gồm cả nước lẫn chất lồi cuốn hoà tan trong nước. Bởi vậy, trong quá trình vận hành, bên cạnh dòng nước thẩm thấu xuôi từ dung dịch đầu vào sang dung dịch lồi cuốn, thì cũng sẽ tồn tại dòng chất lồi cuốn thẩm thấu ngược từ dung dịch lồi cuốn sang dung dịch đầu vào, đồng thời thông lượng dòng thẩm thấu ngược này sẽ tăng dần theo nồng độ ban đầu của dung dịch lồi cuốn. Đặc biệt, khi chất lồi cuốn có khối lượng phân tử thấp hoặc có khả năng phân ly thành các ion với kích thước tương đối nhỏ, thì hiện tượng thẩm thấu ngược của chất lồi cuốn xảy ra càng nghiêm trọng.

Sự tăng mạnh của thông lượng dòng thẩm thấu ngược sau ngưỡng nồng độ dung dịch lồi cuộn NaCl 30‰ có thể được giải thích là do động lực thẩm thấu tự nhiên đã tăng nhanh vượt quá lực cản chọn lọc từ màng lọc, và/ hoặc do nồng độ dung dịch lồi cuộn đã vượt quá ngưỡng thiết kế của màng lọc.

Hai loại màng lọc thẩm thấu xuôi FO-CTA và FO-TFC sở hữu tính chất gần như tương đương với công bộ của nhà sản xuất, và cho hiệu quả chọn lọc thẩm thấu tốt. Nhìn chung, màng lọc thẩm thấu xuôi FO-TFC thể hiện hiệu quả vận hành trên hệ nước muối – nước cất tốt hơn so với màng FO-CTA, tuy nhiên cần thiết phải tiến hành khảo sát bổ sung nhằm kiểm chứng lại trên hệ dung dịch Maltodextrin – nước muối.

3.3. KẾT QUẢ KHẢO SÁT TIỀM NĂNG LỒI CUỐN CỦA DUNG DỊCH MALTODEXTRIN

Maltodextrin là một hợp chất thuộc nhóm polysaccharide, với cấu trúc hoá học cụ thể được trình bày trong **Hình 3.7**.



Hình 3.7 Cấu trúc của Maltodextrin

Xét về mặt tính chất, Maltodextrin sở hữu nhiều đặc tính đáp ứng được yêu cầu của một chất lồi cuộn tiềm năng ứng dụng trong lọc FO, bao gồm:

- ✓ Không độc và an toàn với môi trường. Maltodextrin là một loại phụ gia được sử dụng rộng rãi trong thực phẩm.
- ✓ Chi phí chung thấp. Giá của Maltodextrin dùng cho ứng dụng thực phẩm trên thị trường chỉ khoảng 50.000 VNĐ/kg, tương đối thấp so với nhiều loại chất lồi cuộn thông dụng khác hiện nay.
- ✓ Tan tốt trong nước. Maltodextrin tan rất tốt trong nước.

Bởi vậy, mục tiêu của đề tài này nói chung, và mục này nói riêng, là kiểm chứng khả năng lôi cuốn của dung dịch Maltodextrin, cũng như so sánh khả năng lôi cuốn của Maltodextrin với một số chất lôi cuốn đã biết tương tự khác.

3.3.1. Kết quả thử nghiệm xác định nồng độ thích hợp của dung dịch lôi cuốn Maltodextrin

Nhằm đánh giá đặc trưng lôi cuốn của Maltodextrin, tác giả đã quyết định thực hiện thử nghiệm lọc FO với các điều kiện cụ thể như được liệt kê trong **Bảng 3.5**, và nồng độ của Maltodextrin trong dung dịch lôi cuốn được cho thay đổi trong khoảng 5 – 30 %. Kết quả thử nghiệm được thể hiện trong **Hình 3.8** và **Hình 3.9**.

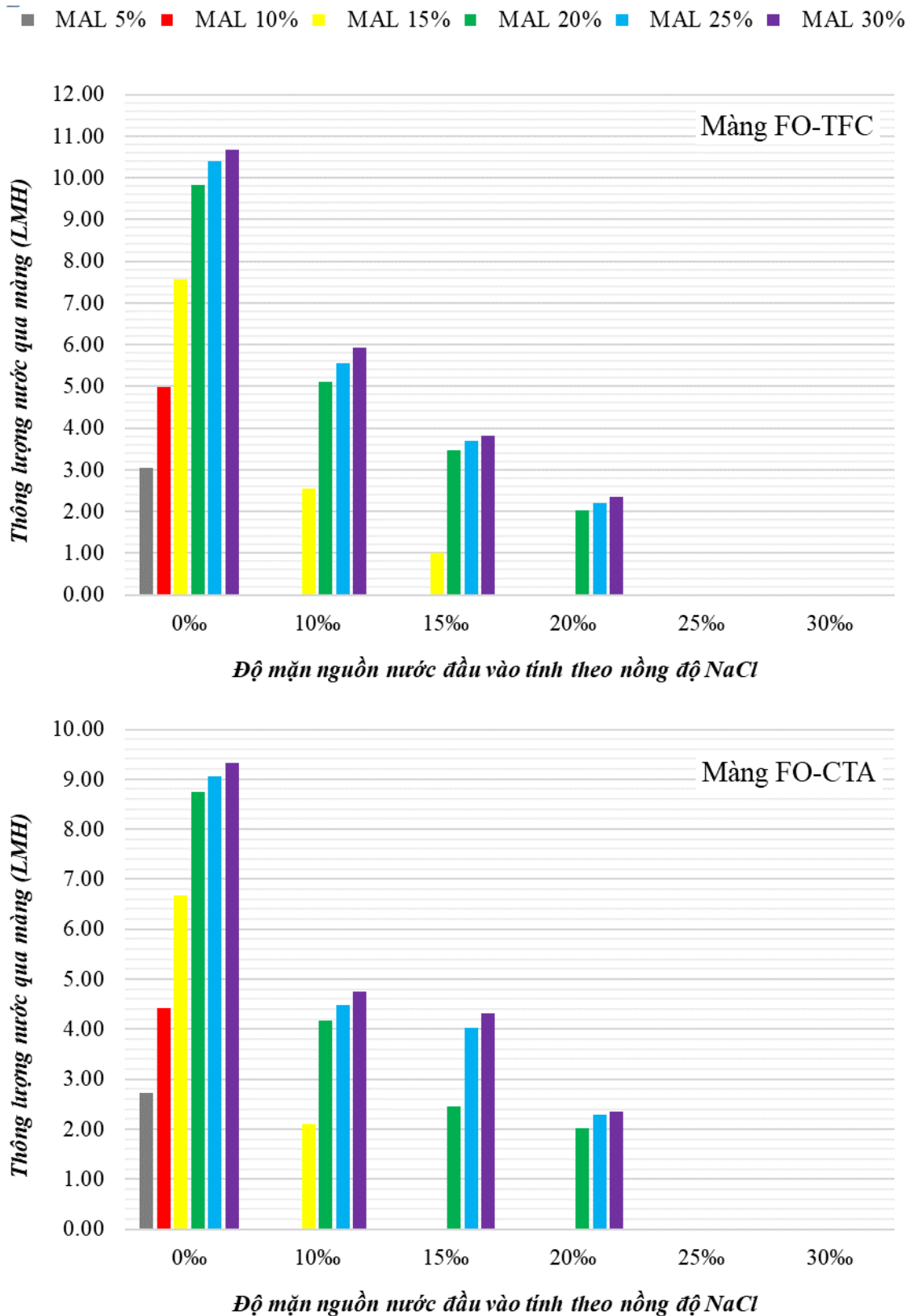
Kết quả nghiên cứu cho thấy, thông lượng nước thẩm thấu qua màng trong hệ thống FO sử dụng dung dịch lôi cuốn Maltodextrin có giá trị cao nhất đạt 10,67 LMH ở điều kiện vận hành sử dụng (1) nguồn nước đầu vào là nước de-ion, (2) dung dịch lôi cuốn nồng độ Maltodextrin 30%, và (3) màng lọc là màng FO-TFC. Tuy nhiên, giá trị thông lượng nước thẩm thấu qua màng chỉ tăng đáng kể khi nồng độ Maltodextrin trong dung dịch lôi cuốn tăng từ 10% đến 20%, ở nồng độ cao hơn thì thông lượng nước thẩm thấu qua màng tăng lên không đáng kể. Đáng chú ý, khi nguồn nước đầu vào là nước nhiễm mặn, dung dịch lôi cuốn Maltodextrin ở nồng độ trên 20% tạo thành hiệu ứng ICP đối với màng lọc làm cản trở nước thẩm thấu qua màng, dẫn đến thông lượng nước thẩm thấu qua màng giảm xuống.

Mặt khác, khi độ mặn của nguồn nước đầu vào tăng lên thì giá trị thông lượng nước thẩm thấu qua màng cũng giảm xuống, do độ chênh lệch về áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa nguồn nước đầu vào và dung dịch lôi cuốn giảm xuống. Đối với màng lọc FO-CTA, khi dung dịch đầu vào có nồng độ 10‰ thì thông lượng nước thẩm thấu qua màng đã giảm xuống dưới 5 LMH tại tất cả các nồng độ của dung dịch lôi cuốn. Kết quả này cho thấy việc sử dụng màng lọc FO-CTA với chất lôi cuốn Maltodextrin không đạt hiệu quả cao trong ứng dụng khử mặn cho nước nhiễm mặn. Tuy nhiên, khi sử dụng màng lọc FO-TFC, thì tồn tại một khoảng điều kiện khử mặn phù hợp là (1) độ mặn

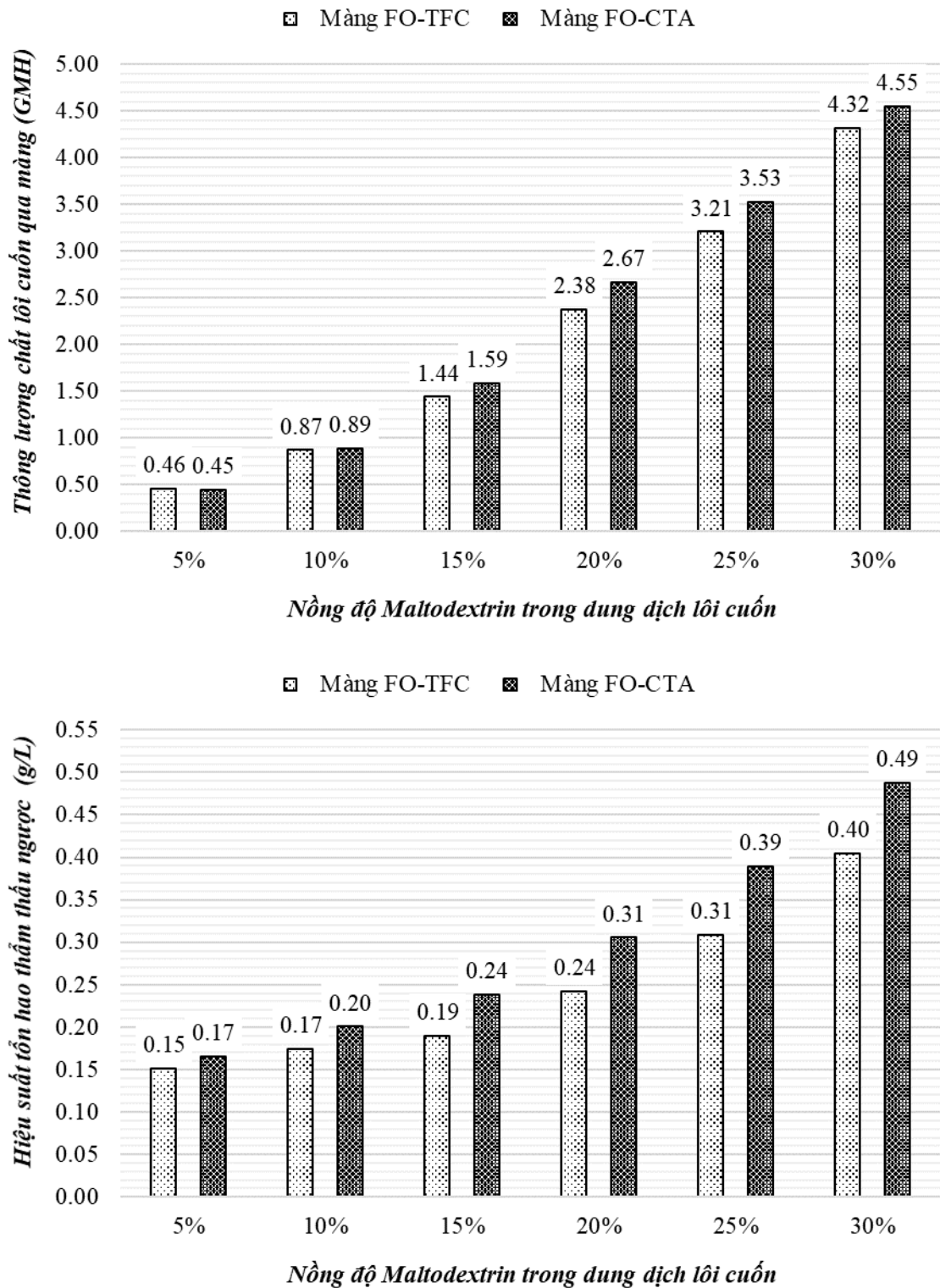
của nguồn nước đầu vào không vượt quá 10‰ và (2) nồng độ Maltodextrin trong dung dịch lõi cuộn không thấp hơn 20%. Khi đó, thông lượng nước thẩm thấu qua màng có thể đạt được trên 5,11 LMH.

Bảng 3.5 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuộn của Maltodextrin

| Thông số vận hành | | Giá trị |
|--|-------------------------|-------------------------------------|
| Dung dịch ban đầu | Phía nguồn nước đầu vào | NaCl 10 – 30 ‰, hoặc Nước de-ion |
| | Phía dung dịch lõi cuộn | Maltodextrin 5 – 30 % |
| Loại màng lọc | | FO-TFC, hoặc FO-CTA |
| Lưu lượng dòng vào | Phía dung dịch lõi cuộn | 15 L/h |
| | Phía nguồn nước đầu vào | 25 L/h |
| Thông số khác (FO) | Nhiệt độ | 30 °C |
| | Hướng dòng chảy | Ngược chiều |
| | Chênh lệch áp suất | 0,2 bar |
| | Thời gian thử nghiệm | 150 phút |
| <p>Thử nghiệm lặp lại tối thiểu 05 lần, với sai số cho phép tối đa 5% Định kỳ 15 phút tiến hành ghi số liệu nhằm xác định sự thay đổi khối lượng của dung dịch lõi cuộn, từ đó xác định được thông lượng nước qua màng tương ứng</p> | | |



Hình 3.8 Đặc trưng thông lượng nước thẩm thấu qua màng khi sử dụng dung dịch lõi cuốn chứa Maltodextrin (MAL)



Hình 3.9 Đặc trưng thông lượng chất lỏng cuộn thẩm thấu ngược qua màng khi sử dụng dung dịch lỏng cuộn chứa Maltodextrin (MAL), với nguồn nước đầu vào là nước de-ion

Bên cạnh đó, một số yếu tố khác cần được đánh giá đó là mức độ tổn hao của chất lồi cuốn trong quá trình vận hành hệ thống FO, cũng như khả năng hoàn nguyên của dung dịch lồi cuốn. Theo **Hình 3.9**, giá trị thông lượng thẩm thấu ngược qua màng khá thấp ngay cả khi sử dụng Maltodextrin trong dung dịch lồi cuốn ở nồng độ cao, đặc biệt là khi so sánh với chất lồi cuốn NaCl. Điều này có thể giải thích là do Maltodextrin có khối lượng phân tử tương đối cao và không phân ly thành các ion có kích thước nhỏ, do vậy khó di chuyển qua màng lọc hơn so với NaCl. Tuy nhiên, khi nồng độ Maltodextrin trong dung dịch lồi cuốn tăng lên thì thông lượng thẩm thấu ngược qua màng của Maltodextrin cũng tăng lên, đặc biệt là sau ngưỡng nồng độ 15%. Đồng thời, cũng có thể nhận thấy rằng màng FO-TFC cho hiệu quả thẩm thấu chọn lọc đối với Maltodextrin tốt hơn màng FO-CTA.

Hiệu suất tổn hao do thẩm thấu ngược được đánh giá dựa trên tỷ số giữa thông lượng chất lồi cuốn thẩm thấu ngược và thông lượng nước thẩm thấu qua màng được biểu thị ở **Hình 3.9**. Kết quả nghiên cứu này cho thấy, việc sử dụng màng lọc FO-TFC cho hiệu quả chọn lọc ngăn chặn thẩm thấu ngược đối với Maltodextrin tốt hơn so với màng lọc FO-CTA. Đồng thời, hiệu suất tổn hao do thẩm thấu ngược của Maltodextrin đạt giá trị thấp nhất khi nồng độ dung dịch lồi cuốn không vượt quá 15%, và tăng mạnh khi nồng độ dung dịch lồi cuốn tăng đến trên 15%. Đây là hệ quả kết hợp giữa sự tăng liên tục của thông lượng chất lồi cuốn thẩm thấu ngược khi nồng độ Maltodextrin trong dung dịch lồi cuốn tăng lên, và “khoảng chững” về thông lượng nước thẩm thấu gây ra bởi hiện tượng ICP.

Dung dịch Maltodextrin 20% thể hiện khả năng lồi cuốn tốt nhất và phù hợp với nguồn nước nhiễm mặn có độ mặn dưới 10 ‰, cho thấy tiềm năng ứng dụng của chất lồi cuốn Maltodextrin trong công nghệ lọc thẩm thấu xuôi (FO) để sản xuất nước sinh từ nguồn nước nhiễm mặn.

3.3.2. Kết quả thử nghiệm khả năng hoàn nguyên của dung dịch Maltodextrin

Trong khuôn khổ nghiên cứu này, hai phương pháp hoàn nguyên dung dịch lồi cuốn Maltodextrin 20% được lựa chọn để khảo sát là phương pháp

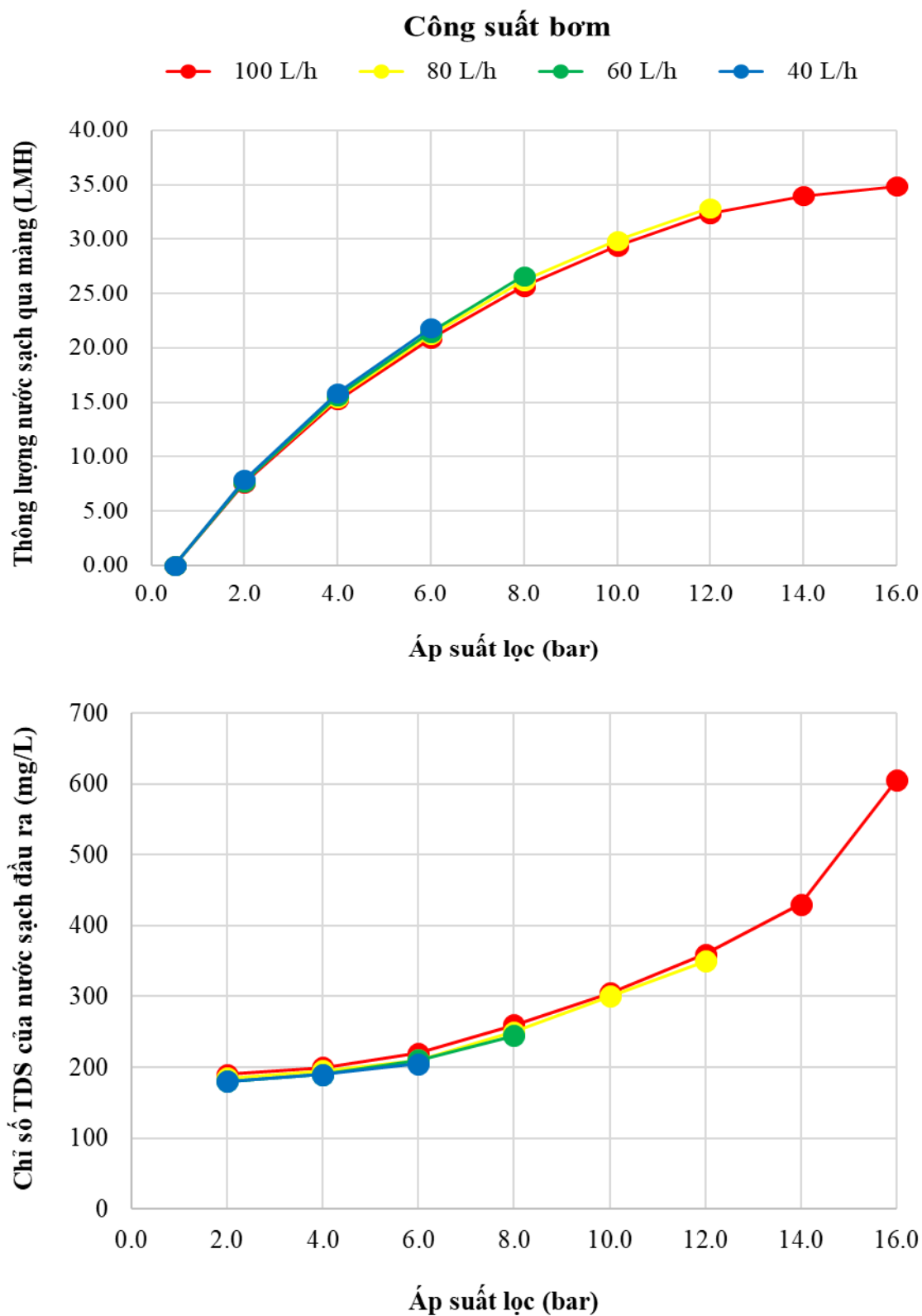
lọc màng kích thước nano (nanofiltration – NF) và phương pháp lọc thẩm thấu ngược áp suất thấp (low-pressure reverse osmosis – LPRO). Đây là hai phương pháp lọc màng sử dụng áp suất thấp, do vậy sẽ tiết kiệm điện năng vận hành hơn so với các phương pháp khử mặn thông dụng khác hiện nay.

Quá trình thử nghiệm được thực hiện thông qua điều chỉnh hai thông số vận hành, bao gồm:

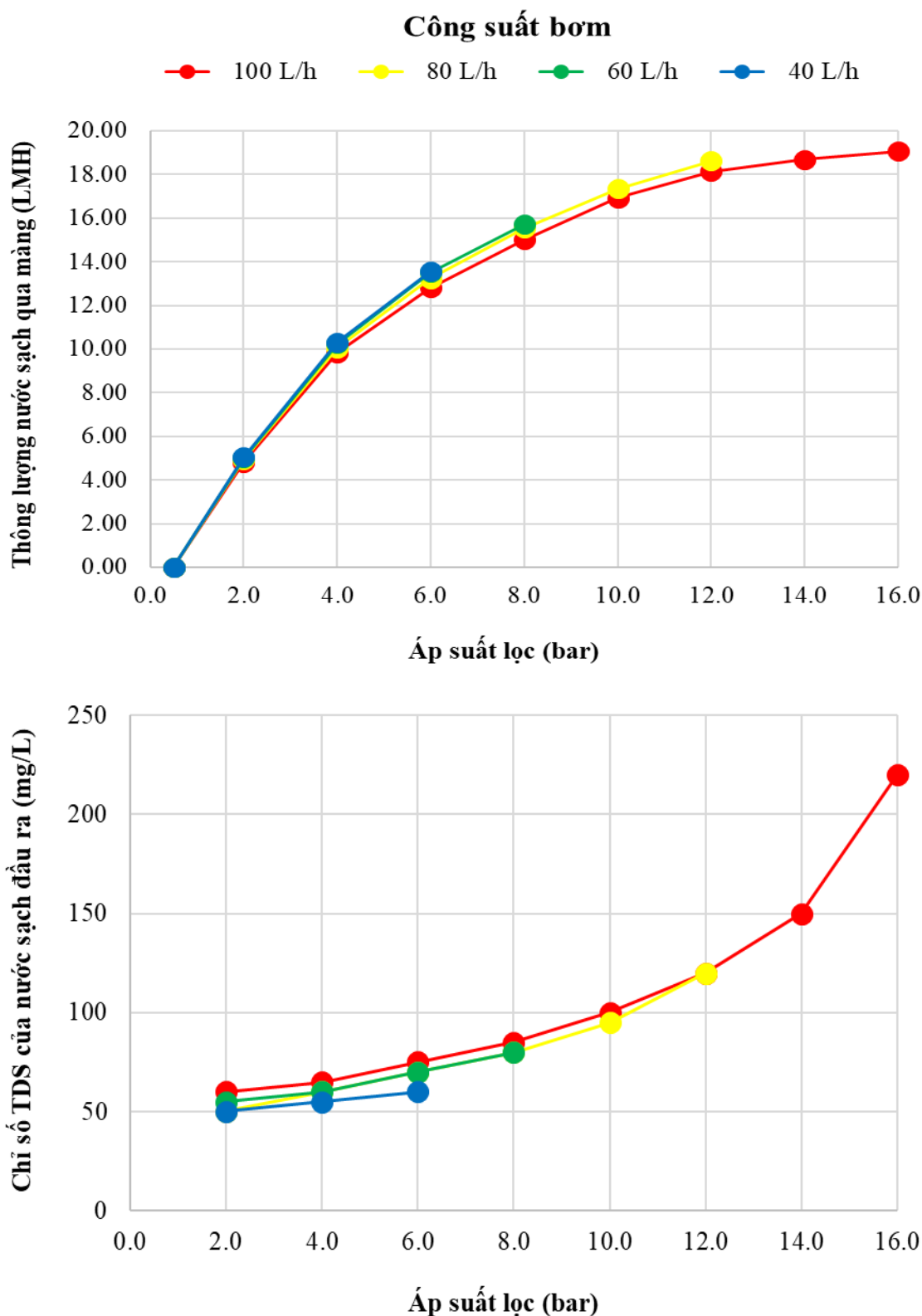
- Công suất bơm, thể hiện qua lưu lượng dòng tối đa ra khỏi bơm, và được điều chỉnh trực tiếp trong khoảng 40 – 100 L/h
- Áp suất lọc, thể hiện qua áp suất dòng vào modul thử nghiệm, và được điều chỉnh gián tiếp trong khoảng 0 – 16 bar (mức áp suất tối đa mà bơm có thể cung cấp) thông qua điều chỉnh lưu lượng dòng thải ra khỏi modul thử nghiệm

Kết quả thử nghiệm được thể hiện trong **Hình 3.10** và **Hình 3.11**. Kết quả khảo sát cho thấy, áp suất lọc có thể tạo thành ảnh hưởng đến cả thông lượng nước sạch qua màng và giá trị TDS của nước sạch sản xuất được. Cụ thể, khi tăng áp suất lọc nhưng giữ nguyên công suất bơm, thì cả thông lượng nước sạch qua màng và giá trị TDS của nước sạch sản xuất được cũng tăng lên tương ứng.

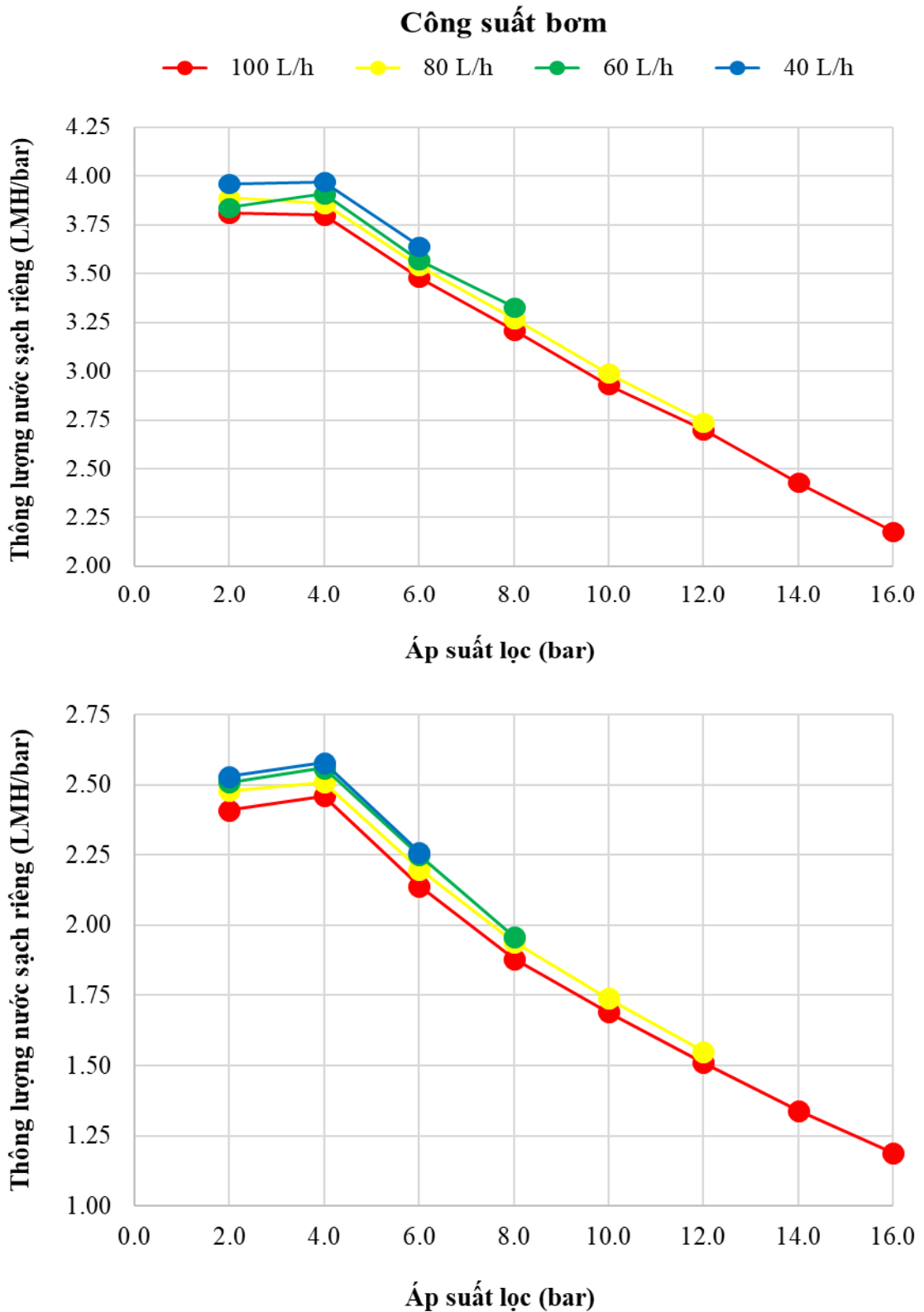
Điều này có thể giải thích là do khi áp suất lọc tăng lên thì động lực thẩm thấu nước sạch qua màng cũng tăng lên, khiến cho thông lượng nước qua màng tăng lên. Tuy nhiên, khi đó thì động lực khiến các thành phần hoà tan khác có trong dung dịch lõi cuốn cần hoàn nguyên di chuyển qua màng cũng tăng lên, dẫn tới hiện tượng gia tăng chỉ số TDS của nước sạch đầu ra. Đồng thời, tại cùng điều kiện áp suất lọc và công suất bơm, hệ thống lọc NF cho thông lượng nước qua màng cao hơn so với hệ thống lọc LPRO. Điều này là tương đối dễ hiểu, bởi màng RO sở hữu kích thước lỗ vi xấp nhỏ hơn so với màng NF, bởi vậy hạn chế tốt hơn sự di chuyển qua màng lọc của nước, cũng như các thành phần chất rắn hoà tan và huyền phù trong nước.



Hình 3.10 Ảnh hưởng của áp suất lọc và công suất bơm lên thông lượng nước sạch qua màng và giá trị TDS của nước sạch cho hệ thống lọc NF



Hình 3.11 Ảnh hưởng của áp suất lọc và công suất bơm lên thông lượng nước sạch qua màng và giá trị TDS của nước sạch cho hệ thống lọc LPRO



Hình 3.12 Ảnh hưởng của áp suất lọc và công suất bơm lên hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống lọc NF (trên) và hệ thống lọc LPRO (dưới)

Tuy nhiên, cũng cần lưu ý rằng khi công suất bơm giảm xuống thì áp suất lọc tối đa mà bơm có thể cung cấp cũng sẽ giảm xuống, gây ảnh hưởng tiêu cực lên hiệu quả lọc chung của toàn bộ hệ thống.

Ngược lại, công suất bơm không tạo thành ảnh hưởng đáng kể lên cả thông lượng nước sạch qua màng và giá trị TDS của nước sạch sản xuất được. Hiện tượng trên có thể giải thích theo một trong hai cách sau:

(1) Công suất bơm quả thực không tạo thành ảnh hưởng đáng kể lên hiệu quả hoạt động của hệ thống lọc NF và hệ thống lọc LPRO; hoặc

(2) Khoảng giá trị công suất bơm được khảo sát hiện tại quá cao hoặc quá thấp, nằm ngoài khoảng biến đổi phụ thuộc giữa công suất bơm và hiệu quả hoạt động của hệ thống lọc NF và hệ thống lọc LPRO.

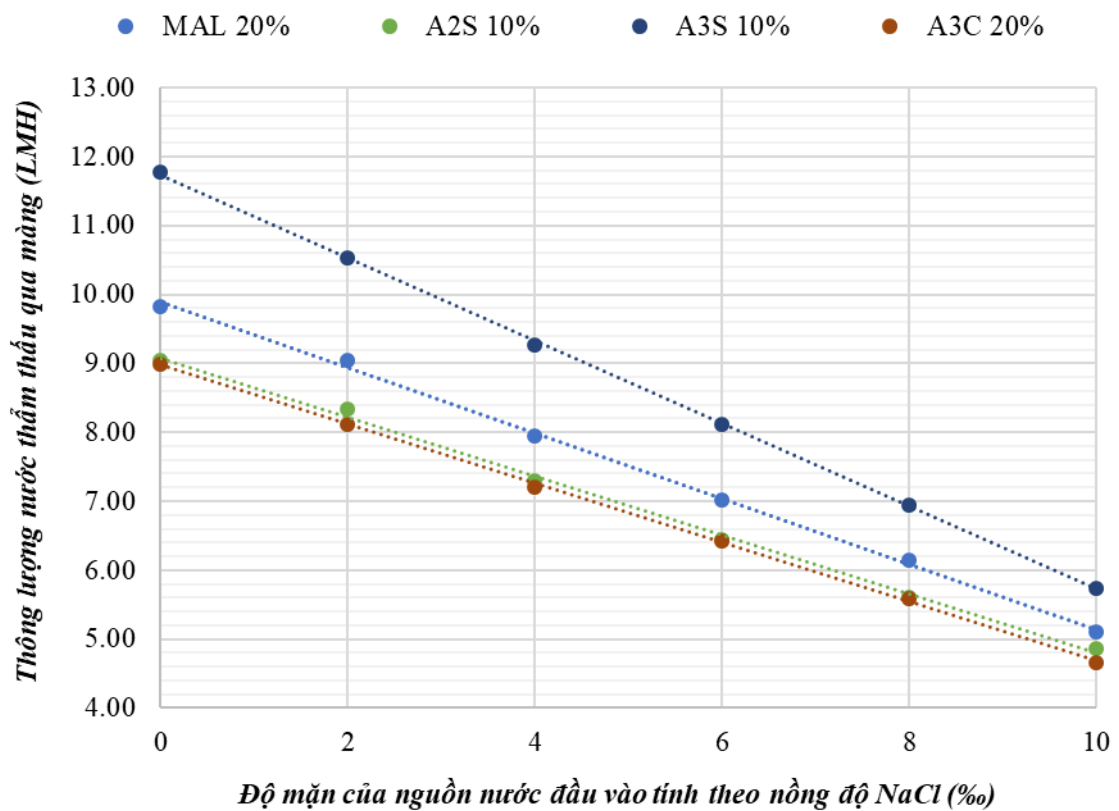
Giới hạn trong khuôn khổ nghiên cứu này, những khảo sát sâu hơn đã không được thực hiện do hạn chế về mặt thiết bị cần thiết. Nhìn chung, có thể thấy được rằng dung dịch lõi cuộn Maltodextrin 20% hoàn toàn có khả năng hoàn nguyên để sản xuất nước sạch bằng cả phương pháp lọc NF và phương pháp lọc LPRO. Trong đó, ưu điểm của phương pháp lọc NF là cho thông lượng nước sạch qua màng cao hơn, còn ưu điểm của phương pháp lọc LPRO là cho dòng nước sạch có chỉ số TDS thấp hơn, nhờ vậy cũng hạn chế được sự thất thoát của chất lõi cuộn.

Xét trên khía cạnh hiệu quả sử dụng năng lượng (xem **Hình 3.12**), có thể thấy được rằng hệ thống lọc hoàn nguyên dung dịch lõi cuộn thường cho hiệu quả cao hơn tại điều kiện vận hành áp suất lọc thấp. Điều này cũng tương đối dễ hiểu, bởi khi tăng áp suất lọc tăng cao thì trở lực trên toàn bộ hệ thống cũng sẽ tăng lên, đặc biệt là trở lực thẩm thấu của nước qua màng lọc, bởi vậy khiến cho hiệu quả sử dụng năng lượng của toàn bộ hệ thống giảm thấp.

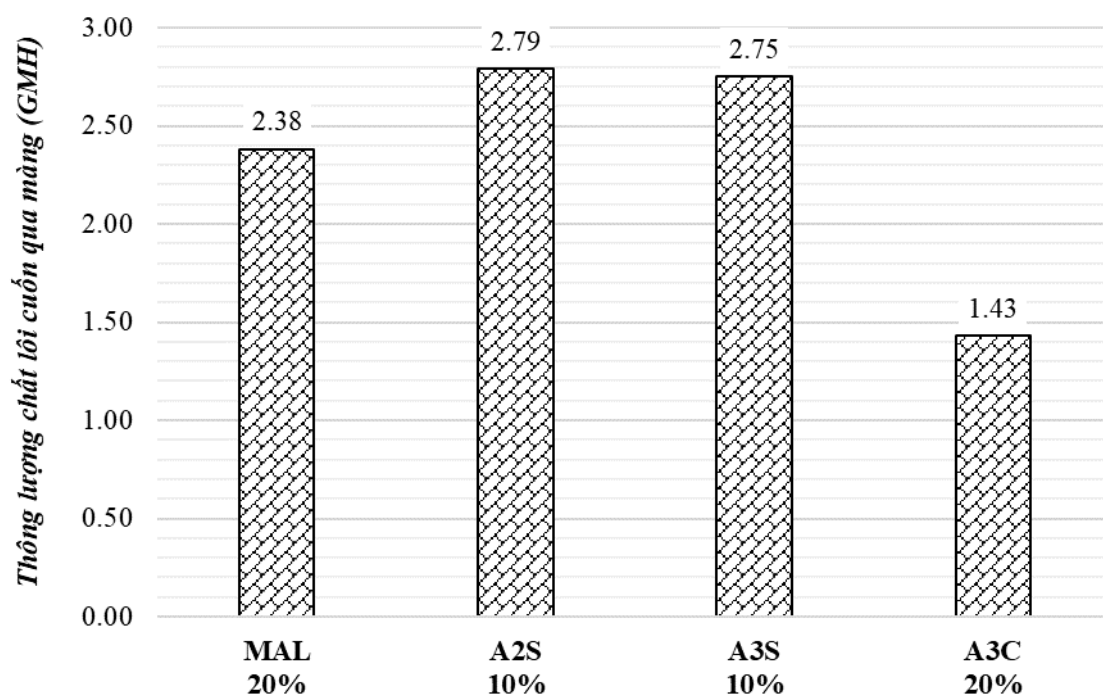
Trong khuôn khổ nghiên cứu này, phương pháp lọc màng LPRO tại điều kiện áp suất khoảng 16 bar và lưu lượng nước đầu vào khoảng 100 L/h (lưu lượng dòng tại điều kiện vận hành tối ưu của bơm) được xác định là cho hiệu quả hoàn nguyên dung dịch lõi cuộn Maltodextrin 20%. Khi đó, nguồn nước đầu ra có chỉ số TDS khoảng 220 mg/L, tương đương 220 ppm.

3.3.3. Kết quả so sánh với một số chất lồi cuốn đã biết khác

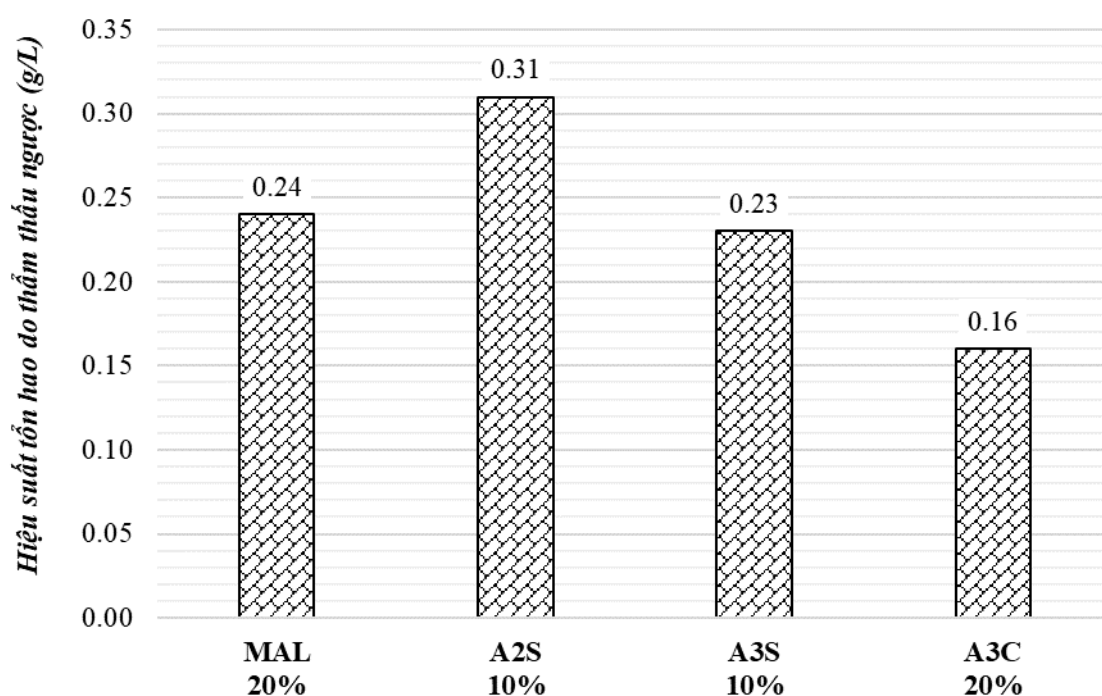
Nhằm đánh giá tốt hơn tiềm năng lồi cuốn của dung dịch Maltodextrin 20%, tác giả đã tiến hành so sánh đặc trưng lồi cuốn của dung dịch lồi cuốn này với một số dung dịch lồi cuốn khác trên cơ sở muối phức amoni và sắt, bao gồm amoni sắt (II) sunphat (A2S), amoni sắt (III) sunphat (A3S), và amoni sắt (III) citrat (A3C). Đây là những chất lồi cuốn đã được nghiên cứu trong khuôn khổ đề tài trước đó do TS. Lê Trường Giang và cộng sự thực hiện [24], và đã được chứng minh là có khả năng lồi cuốn nhất định.



Hình 3.13 Thông lượng nước thẩm thấu qua màng khi sử dụng những dung dịch lồi cuốn khác nhau, tại những độ mặn của nguồn nước đầu vào khác nhau



Hình 3.14 Thông lượng chất lồi cuộn thấm thấu ngược qua màng khi sử dụng những dung dịch lõi cuộn khác nhau



Hình 3.15 Hiệu suất tổn hao chất lồi cuộn do thấm thấu ngược qua màng khi sử dụng những dung dịch lõi cuộn khác nhau

Nhìn chung, các thử nghiệm được thực hiện với những điều kiện vận hành cụ thể như được liệt kê trong **Bảng 3.5**, với độ mặn của nguồn nước đầu vào được điều chỉnh thay đổi trong khoảng 0 – 10 ‰ và màng lọc được tạm thời lựa chọn sử dụng là màng FO-TFC, do loại màng lọc này được xác định là có khả năng cho phép nước thẩm thấu và ngăn chặn chất lồi cuốn thẩm thấu ngược vượt trội hơn hẳn so với màng FO-CTA.

Kết quả khảo sát trình bày trên **Hình 3.13** cho thấy, trong khoảng độ mặn của nguồn nước đầu vào 0 – 10 ‰ thì thông lượng nước thẩm thấu qua màng thu được của bốn loại dung dịch lồi cuốn đã khảo sát đều thay đổi một cách tương đối tuyến tính, và giảm dần theo chiều tăng lên của độ mặn nguồn nước đầu vào. Khi độ mặn nguồn nước đầu vào tăng từ 0‰ lên tới 10‰, nhìn chung thông lượng nước thẩm thấu qua màng thu được của bốn loại dung dịch lồi cuốn đều giảm khoảng 50 – 60 %. Trong đó, dung dịch Maltodextrin thể hiện khả năng lồi cuốn tương đối cao, vượt trội so với amoni sắt (II) sunphat (A2S) và amoni sắt (III) citrat (A3C), nhưng thấp hơn so với amoni sắt (III) sunphat (A3S).

Kết quả khảo sát trình bày trên **Hình 3.14** cho thấy, thông lượng chất lồi cuốn thẩm thấu ngược qua màng là cao nhất khi sử dụng hai loại chất lồi cuốn amoni sắt (II) sunphat và amoni sắt (III) sunphat. Hiện tượng này có thể giải thích là do khi hoà tan trong dung dịch, những muối trên có thể phân ly thành các ion có kích thước tương đối nhỏ, và dễ dàng di chuyển qua màng lọc FO dưới tác dụng của chênh lệch áp suất thẩm thấu tự nhiên. Ngược lại, do là hợp chất cao phân tử nên Maltodextrin có thông lượng thẩm thấu ngược qua màng thấp hơn, tuy nhiên vẫn cao hơn so với amoni sắt (III) citrate. Điều này có thể giải thích là do độ trùng hợp của Maltodextrin được sử dụng trong nghiên cứu này là không quá cao, do vậy chúng vẫn có thể di chuyển được qua màng lọc FO tương đối dễ dàng. Kết quả khảo sát trình bày trên **Hình 3.15** cho phép có một cái nhìn toàn diện hơn về hiệu quả lồi cuốn nước thẩm thấu qua màng của các loại dung dịch lồi cuốn. Cụ thể, Maltodextrin có hiệu suất tổn hao do thẩm thấu ngược thấp hơn khá nhiều so với muối amoni sắt

(II) sunphat và tương đương với muối amoni sắt (III) sunphat, nhưng đồng thời cũng cao hơn khá nhiều so với muối amoni sắt (III) citrat (A3C).

Qua những khảo sát và so sánh đã thực hiện, Maltodextrin cho thấy tiềm năng là một chất lôi cuốn tương đối tốt, có thể so sánh được với các loại chất lôi cuốn khác đã được nghiên cứu trước đó. Đồng thời, khi so sánh với các hỗn hợp muối phức sắt và amoni, thì dung dịch Maltodextrin còn thể hiện tính ổn định hoá học tốt hơn, không gây ăn mòn đối với các cấu kiện bằng kim loại. Bởi vậy, dung dịch Maltodextrin 20% là phù hợp để sử dụng cho những khảo sát tiếp theo liên quan đến ứng dụng khử mặn và sản xuất nước ngọt trên cơ sở công nghệ lọc FO.

3.4. KẾT QUẢ KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ VẬN HÀNH KHÁC LÊN KHẢ NĂNG LÔI CUÓN CỦA DUNG DỊCH MALTODEXTRIN

Bên cạnh yếu tố quan trọng nhất là loại và nồng độ chất lôi cuốn trong dung dịch lôi cuốn, thì các thông số vận hành khác như loại loại màng lọc, thời gian vận hành, lưu lượng dòng vào, hướng dòng vào, chênh lệch áp suất, nhiệt độ dòng vào, v.v. cũng có thể ảnh hưởng tới đặc trưng lôi cuốn của dung dịch lôi cuốn.

Bởi vậy, với định hướng ứng dụng thực tiễn của đề tài này, cần thiết phải khảo sát ảnh hưởng của những yếu tố trên lên đặc trưng lôi cuốn của dung dịch lôi cuốn Maltodextrin 20%, nhằm xác định chính xác hơn khoảng thông số vận hành phù hợp cho hệ thống lọc nước biển khử mặn.

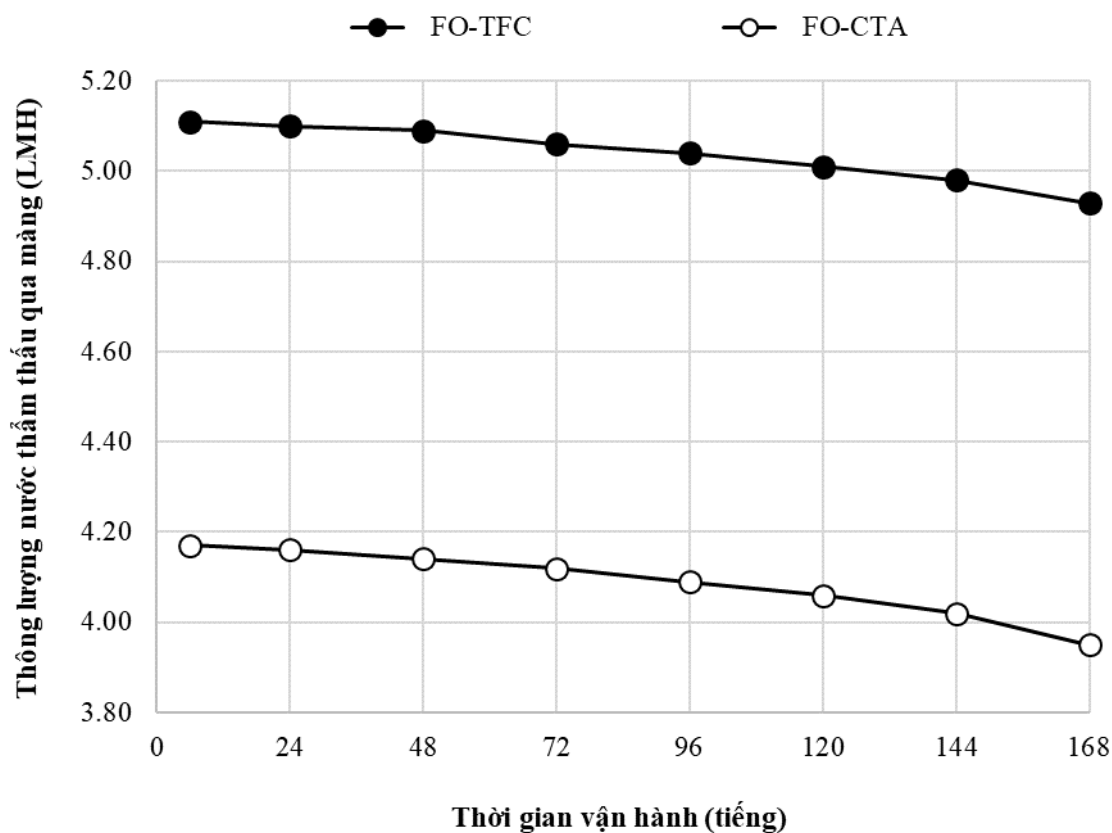
3.4.1. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của thời gian vận hành kéo dài lên đặc trưng lôi cuốn của dung dịch lôi cuốn, và lựa chọn loại màng lọc phù hợp

Thử nghiệm khảo sát ảnh hưởng của thời gian vận hành kéo dài lên đặc trưng lôi cuốn của dung dịch lôi cuốn được thực hiện với các thông số kỹ thuật chủ yếu như trình bày trong **Bảng 3.6**. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong **Hình 3.16, Hình 3.17, Hình 3.18, và Hình 3.19**.

Bảng 3.6. Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn sau thời gian vận hành kéo dài

| Thông số vận hành | | Giá trị |
|--|-------------------------|---------------------|
| Dung dịch ban đầu | Phía nguồn nước đầu vào | NaCl 10‰ |
| | Phía dung dịch lõi cuốn | Maltodextrin 20% |
| Loại màng lọc | | FO-TFC, hoặc FO-CTA |
| Lưu lượng dòng vào | Phía nguồn nước đầu vào | 25 L/h |
| | Phía dung dịch lõi cuốn | 15 L/h |
| Thông số khác (FO) | Nhiệt độ | 30 °C |
| | Hướng dòng chảy | Ngược chiều |
| | Chênh lệch áp suất | 0,2 bar |
| | Thời gian thử nghiệm | 168 tiếng |
| Thử nghiệm lặp lại tối thiểu 05 lần, với sai số cho phép tối đa 5% | | |

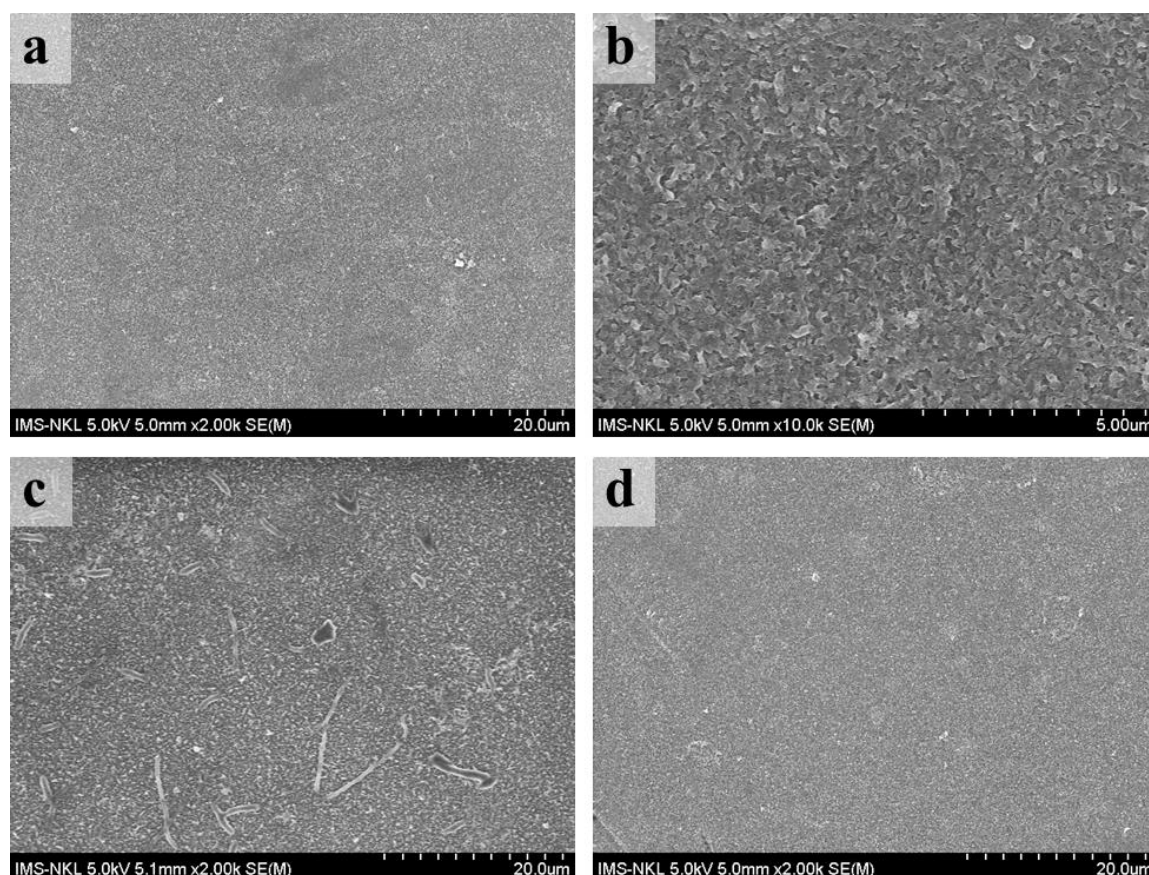
Kết quả nghiên cứu cho thấy nhìn chung thì khả năng lõi cuốn của dung dịch lõi cuốn Maltodextrin 20% sẽ giảm dần theo thời gian vận hành kéo dài, áp dụng cho cả hai loại màng lọc FO-TFC và FO-CTA (xem **Hình 3.16**). Điều này có thể giải thích là do trong quá trình vận hành kéo dài, bề mặt màng lọc đã chịu nhiễm bẩn hoặc do sự kết tủa của thành phần chất tan trong dung dịch lõi cuốn, hoặc do sự phát triển của vi sinh vật, dẫn tới giảm diện tích hiệu quả của màng lọc cũng như gây tắc cấu trúc vi xốp của màng. Tuy nhiên, trong cả hai trường hợp, thông lượng nước thẩm thấu qua màng có thể khôi phục lại tương đương giá trị ban đầu sau khi tiến hành chạy rửa màng.



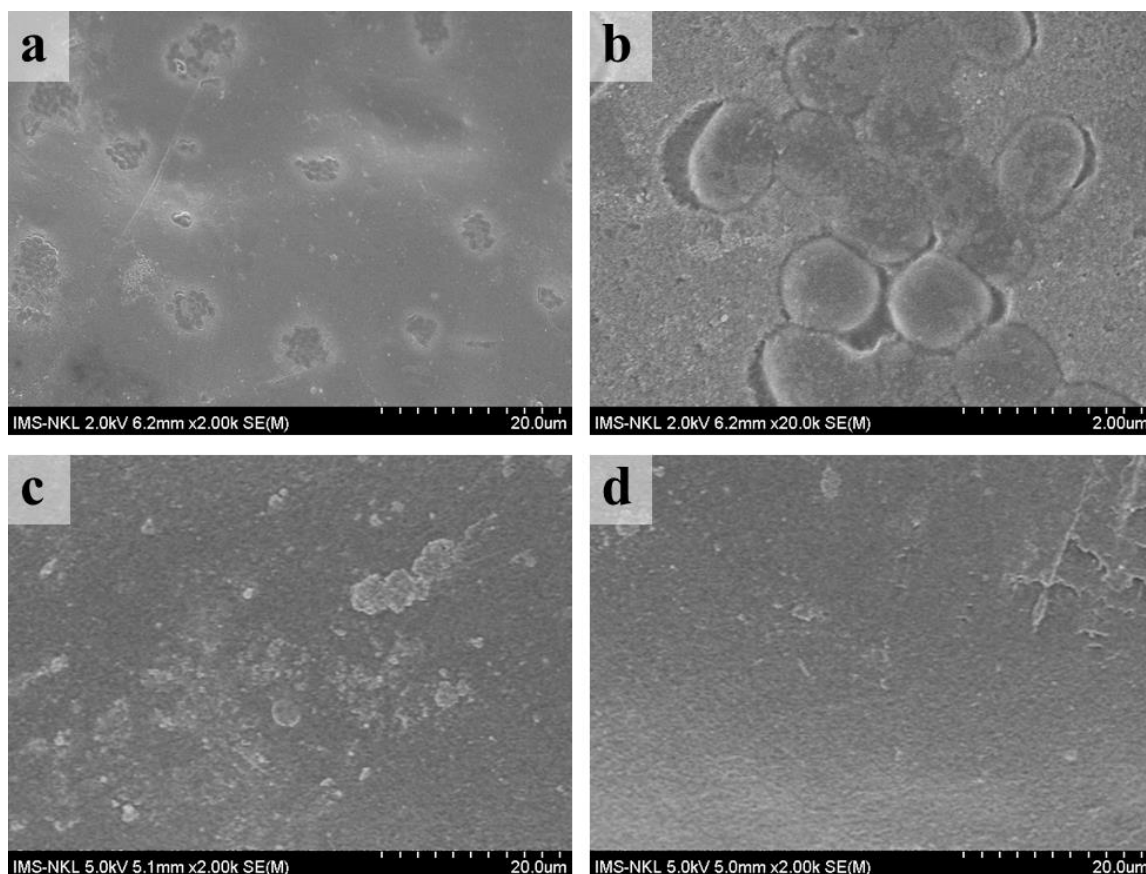
Hình 3.16 Ảnh hưởng của thời gian vận hành liên tục lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng

Kết quả trên có thể được kiểm chứng thông qua ảnh SEM chụp bề mặt màng lọc, như trình bày trên **Hình 3.17** và **Hình 3.18**. Cụ thể, tồn tại sự khác biệt đáng kể giữa hai loại màng lọc FO-TFC và màng lọc FO-CTA nguyên bản – trong khi ảnh SEM chụp bề mặt lớp lọc của màng lọc FO-TFC nguyên bản thể hiện cấu trúc vi xóp tương đối lớn và khá đồng nhất (xem **Hình 3.17a** và **Hình 3.17b**), thì ảnh SEM chụp bề mặt lớp lọc của màng lọc FO-CTA nguyên bản lại thể hiện cấu trúc vi xóp rất nhỏ nhưng thiếu đồng nhất, tồn tại nhiều cấu trúc bất thường lớn hơn đặc trưng hình thành do quá trình gia công sản xuất (xem **Hình 3.18a** và **Hình 3.17b**).

Cụ thể hơn, qua **Hình 3.17c** có thể thấy rằng cơ chế nhiễm bẩn màng chủ yếu đối màng lọc FO-TFC là cơ chế nhiễm bẩn sinh học gây ra bởi sự phát triển của vi sinh vật. Tuy nhiên, sau 168 tiếng vận hành liên tục thì sự nhiễm bẩn này cũng mới chủ yếu diễn ra trên bề mặt màng lọc và chưa xâm nhập vào trong cấu trúc vi xốp, bởi vậy có thể dễ dàng loại bỏ thông qua phương pháp rửa thông thường (xem **Hình 3.17d**). Kết quả này là tương đồng với kết quả thử nghiệm thu được từ thử nghiệm thông lượng nước thẩm thấu qua màng, cho thấy màng FO-TFC có khả năng vận hành tương đối ổn định khi sử dụng dung dịch lõi cuộn Maltodextrin 20% trong ứng dụng lọc khử mặn.

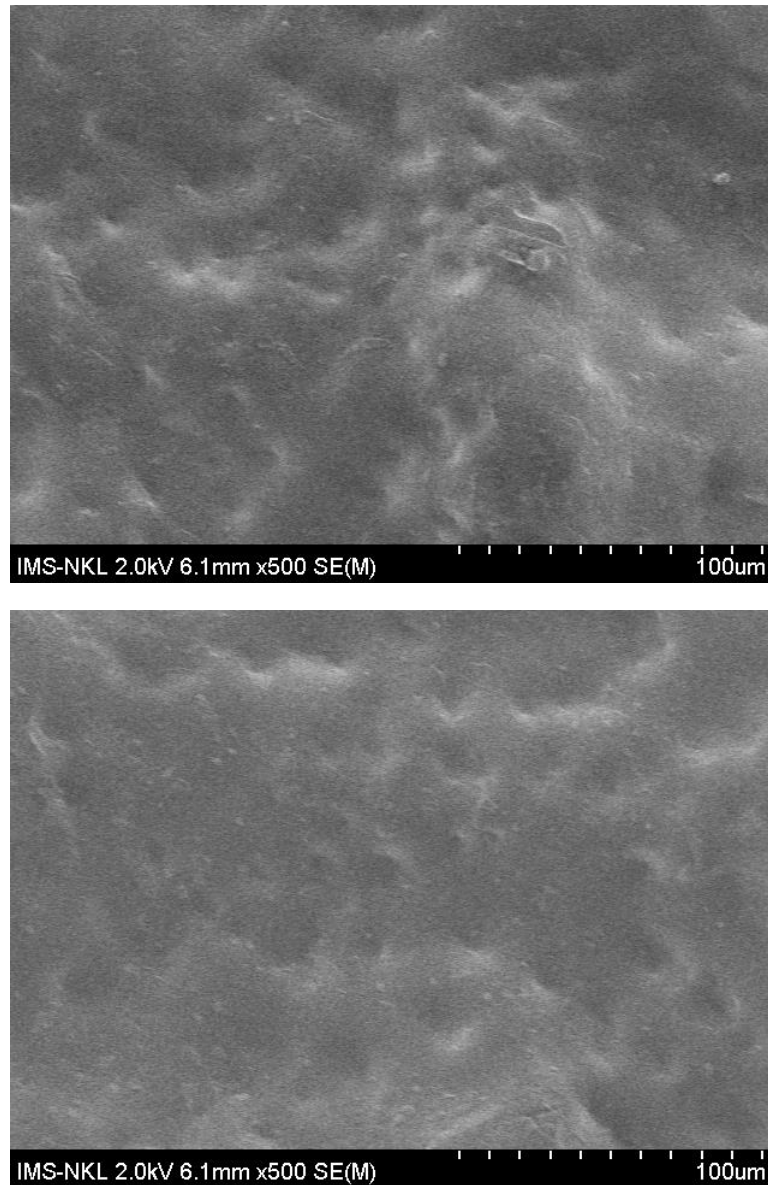


Hình 3.17 Ảnh SEM chụp bề mặt lớp lọc của màng lọc FO-TFC nguyên bản (a, b), sau vận hành 168 tiếng (c), và sau khi rửa (d)



Hình 3.18 Ảnh SEM chụp bề mặt lớp lọc của màng lọc FO-CTA nguyên bản (a, b), sau vận hành 168 tiếng (c), và sau khi rửa (d)

Ngược lại, qua **Hình 3.18c** có thể thấy rằng cơ chế nhiễm bẩn màng chủ yếu đối màng lọc FO-CTA là cơ chế nhiễm bẩn do sự lắng cặn – kết tinh của các thành phần hoà tan trong dung dịch lồi cuốn. Đồng thời, đáng chú ý là các cấu trúc vi mô bất thường trên bề mặt màng lọc cũng biến mất sau quá trình vận hành kéo dài 168 tiếng (xem **Hình 3.18c** và **Hình 3.18d**), cho thấy đã có sự tương tác nhất định giữa dung dịch lồi cuốn Maltodextrin 20% và lớp lọc của màng lọc FO-CTA, gây biến đổi cấu trúc lớp lọc này. Tuy nhiên, sự biến đổi trên về cơ bản không tạo thành ảnh hưởng đáng kể lên tính chất thẩm thấu của màng lọc. Bên cạnh đó, tác nhân gây nhiễm bẩn do lắng cặn – kết tinh cũng có thể dễ dàng loại bỏ thông qua phương pháp rửa thông thường (xem **Hình 3.18d**).



Hình 3.19 Ảnh SEM chụp bề mặt lớp nền của màng lọc FO-TFC nguyên bản (trên) và màng lọc FO-CTA nguyên bản (dưới) sau 168 tiếng vận hành

Kết quả này là tương đồng với kết quả thử nghiệm thu được từ thử nghiệm thông lượng nước thẩm thấu qua màng, cho thấy màng FO-CTA có khả năng vận hành tương đối ổn định khi sử dụng dung dịch lõi cuộn Maltodextrin 20% trong ứng dụng lọc khử mặn. Đồng thời, màng lọc FO-CTA cũng thể hiện được khả năng chống nhiễm bẩn sinh học như đề cập trong các tài liệu khoa học khác, tuy nhiên lớp lọc của màng lọc FO-CTA thể hiện khả năng bền kém hơn so với màng lọc FO-TFC.

Ảnh SEM chụp bề mặt lớp nền của màng lọc FO-TFC nguyên bản và màng lọc FO-CTA nguyên bản sau 168 tiếng vận hành (xem **Hình 3.19**) cho thấy gần như không xuất hiện sự lắng cặn – kết tinh của NaCl trên bề mặt màng lọc. Điều này có thể giải thích là do độ mặn của dung dịch cần xử lý là rất thấp, thấp hơn nhiều nồng độ bão hòa của NaCl trong nước, do vậy khó gây nên hiện tượng lắng cặn – kết tinh ngay cả khi vận hành trong khoảng thời gian kéo dài.

Thông qua khảo sát hiệu quả vận hành trong thời gian kéo dài, có thể thấy được rằng màng lọc FO-TFC cho hiệu quả thẩm thấu đối với ứng dụng lọc khử mặn tốt hơn so với màng lọc FO-CTA, thể hiện qua giá trị thông lượng nước thẩm thấu qua màng ban đầu, cũng như giá trị thông lượng nước thẩm thấu qua màng và cấu trúc của màng lọc sau quá trình vận hành lâu dài (đến 168 tiếng). Bởi vậy, màng FO-TFC được lựa chọn để sử dụng trong các khảo sát tiếp theo.

3.4.2. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của lưu lượng dòng vào lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn

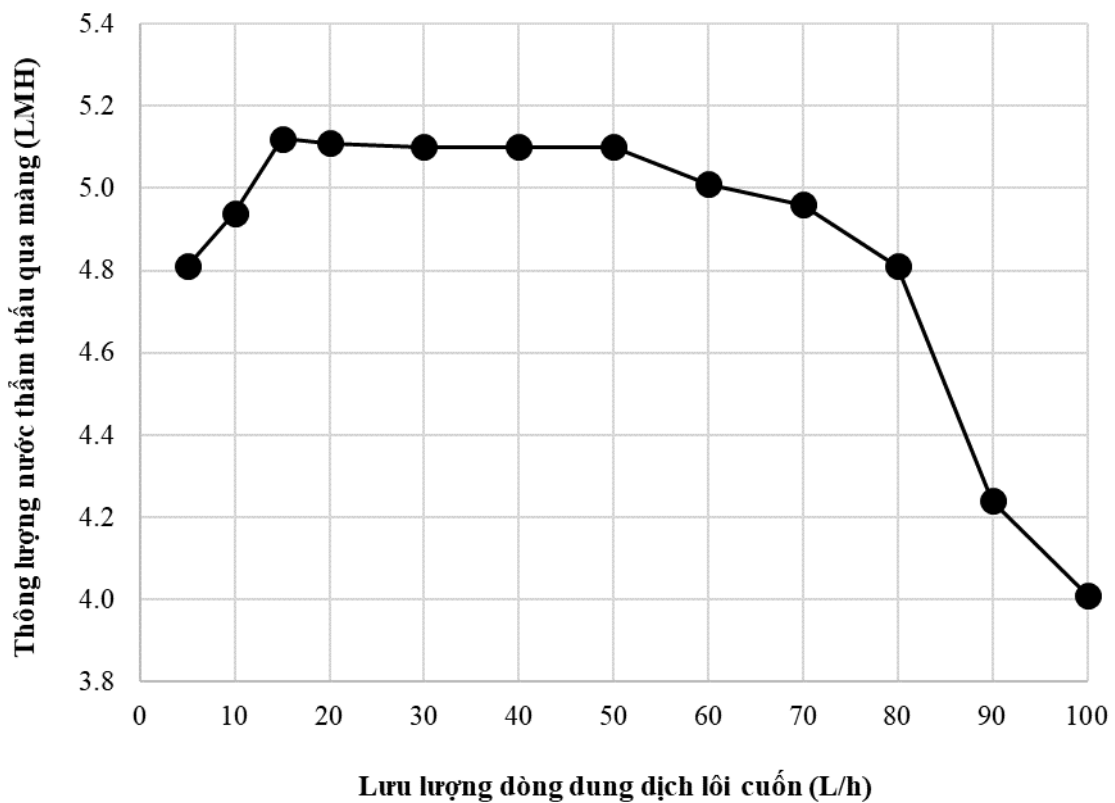
Thử nghiệm khảo sát ảnh hưởng của lưu lượng dòng vào lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn được thực hiện với các thông số kỹ thuật chủ yếu như trình bày trong **Bảng 3.7**. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong **Hình 3.20**.

Kết quả nghiên cứu cho thấy khi lưu lượng dòng vào quá thấp (dưới 10 L/h) hoặc quá cao (trên 70 L/h) đều sẽ khiến thông lượng nước thẩm thấu qua màng giảm thấp. Điều này có thể giải thích là do khi lưu lượng dòng vào quá thấp thì hiệu quả khuấy trộn bên trong hệ thử nghiệm lọc Thẩm thấu xuôi cũng sẽ thấp, dẫn tới hiện tượng phân cực nồng độ. Do hiệu quả thẩm thấu nước, nồng độ dung dịch lõi cuộn và nguồn nước đầu vào tại khu vực gần bề mặt màng lọc sẽ thấp hơn hoặc cao hơn so với nồng độ dung dịch tuần hoàn, dẫn tới suy giảm hiệu quả lọc thẩm thấu xuôi.

Bảng 3.7 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn phụ thuộc lưu lượng dòng vào

| Thông số vận hành | | Giá trị |
|--------------------|-------------------------|---|
| Dung dịch ban đầu | Phía nguồn nước đầu vào | NaCl 10‰ |
| | Phía dung dịch lõi cuốn | Maltodextrin 20% |
| Loại màng lọc | | Màng FO-TFC |
| Lưu lượng dòng vào | Phía dung dịch lõi cuốn | 5 – 10 – 15 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60 – 70 – 80 – 90 – 100 L/h |
| | Phía nguồn nước đầu vào | Duy trì cao hơn phía dung dịch lõi cuốn khoảng 10 L/h |
| Thông số khác (FO) | Nhiệt độ | 30 °C |
| | Hướng dòng chảy | Ngược chiều |
| | Chênh lệch áp suất | 0,2 bar |
| | Thời gian thử nghiệm | 150 phút |

Ngược lại, khi lưu lượng dòng vào quá cao thì hiệu quả khuấy trộn cũng có thể chịu suy giảm do chế độ chảy của các dung dịch chuyển sang chế độ dòng – dòng dung dịch tuần hoàn di chuyển với tốc độ nhanh song song với bề mặt màng lọc, mà không phân tán hiệu quả với phần dung dịch nằm ngay sát bề mặt màng lọc. Nhìn chung, kết quả khảo sát cho thấy lưu lượng dòng vào phù hợp nhất đối với thử nghiệm này là trong khoảng 15 – 50 L/h đối với phía dung dịch lõi cuốn, khi mức chênh lệch áp suất giữa phía nguồn nước đầu vào và phía dung dịch lõi cuốn duy trì xung quanh khoảng 0,2 bar.



Hình 3.20 Ảnh hưởng của lưu lượng dòng vào lên thông lượng nước thấm thấu qua màng

Dựa vào những kết quả thu được, tác giả quyết định lựa chọn lưu lượng dòng dung dịch lõi cuốn đầu vào là 15 L/h, tương ứng với lưu lượng dòng vào của nguồn nước mặn cần xử lý là 25 L/h cho những thử nghiệm tiếp theo, nhằm thu được giá trị thông lượng nước thấm thấu qua màng cao mà vẫn tiết kiệm điện năng vận hành, cũng như đảm bảo tuổi thọ sử dụng cho màng lọc.

3.4.3. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của chênh lệch áp suất dòng vào lên đặc trưng lõi cuốn của dung dịch lõi cuốn

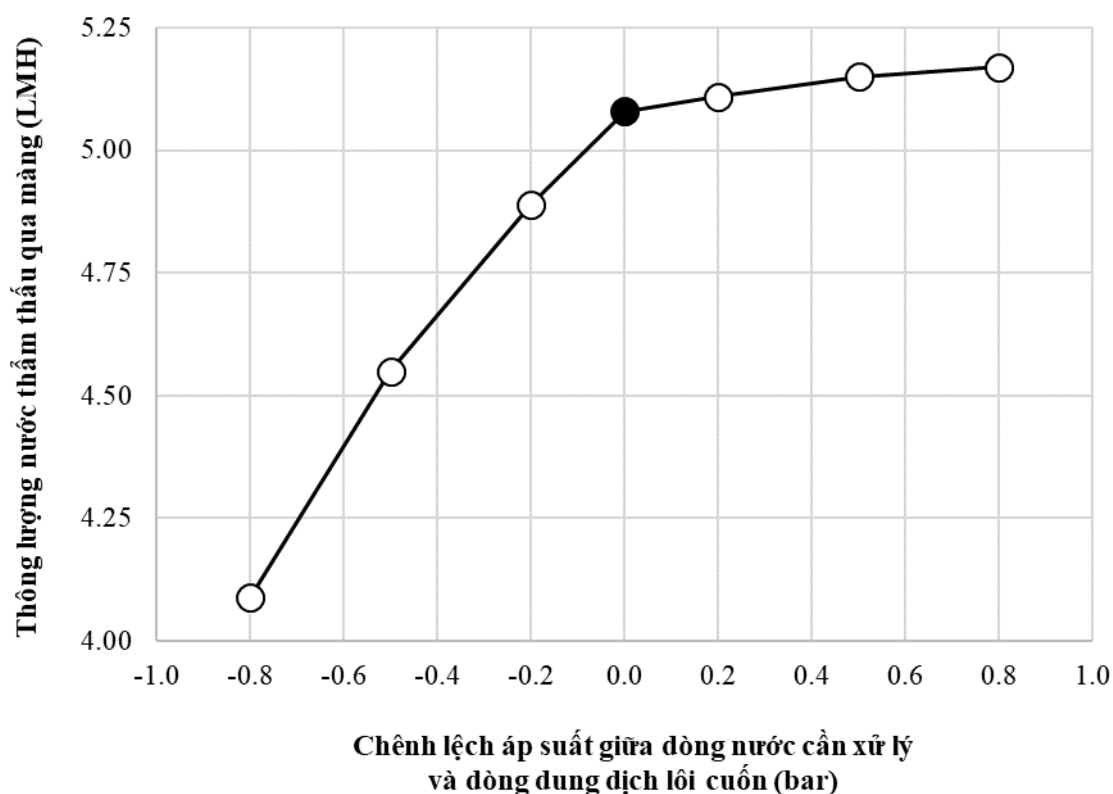
Thử nghiệm khảo sát ảnh hưởng của chênh lệch áp suất dòng vào lên đặc trưng lõi cuốn của dung dịch lõi cuốn được thực hiện với các thông số kỹ thuật chủ yếu như trình bày trong **Bảng 3.8**. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong **Hình 3.21**.

Kết quả khảo sát cho thấy khi chênh lệch áp suất giữa dòng nước cần xử lý và dòng dung dịch lõi cuốn tăng lên thì thông lượng nước thấm thấu qua màng cũng tăng lên. Đặc biệt khi áp suất bên phía dung dịch lõi cuốn cao hơn

phía nguồn nước cần xử lý, thì thông lượng nước qua màng xuất hiện sự giảm mạnh. Do lưu lượng dòng vào của cả hai phía đều được duy trì trong khoảng phù hợp (từ 15 – 35 L/h), nên hiện tượng trên có thể được xác định là do ảnh hưởng của sự thay đổi về mức chênh lệch áp suất giữa dòng nước cần xử lý và dòng dung dịch lõi cuốn.

Bảng 3.8 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn phụ thuộc chênh lệch áp suất dòng vào

| Thông số vận hành | | Giá trị |
|--|-------------------------|--|
| Dung dịch ban đầu | Phía nguồn nước đầu vào | NaCl 10‰ |
| | Phía dung dịch lõi cuốn | Maltodextrin 20% |
| Loại màng lọc | | Màng FO-TFC |
| Lưu lượng dòng vào | Phía nguồn nước đầu vào | 25 L/h |
| | Phía dung dịch lõi cuốn | Điều chỉnh theo mức chênh lệch áp suất, duy trì mức chênh lệch lưu lượng dưới 10 L/h |
| Thông số khác (FO) | Nhiệt độ | 30 °C |
| | Hướng dòng chảy | Ngược chiều |
| | Chênh lệch áp suất | Giá trị theo hai chiều: 0 – 0,2 – 0,5 – 0,8 bar |
| | Thời gian thử nghiệm | 150 phút |
| Thử nghiệm lặp lại tối thiểu 05 lần, với sai số cho phép tối đa 5% | | |



Hình 3.21 Ảnh hưởng của chênh lệch áp suất dòng vào lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng

Cụ thể, động lực của phần lớn các quá trình lọc qua màng – bao gồm cả quá trình lọc Thẩm thấu xuôi – là sự chênh lệch về mặt áp suất giữa hai phía của màng lọc. Riêng đối với các quá trình lọc Thẩm thấu xuôi, thì động lực này là sự kết hợp giữa mức chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên và áp suất dòng vào giữa hai dung dịch. Hai loại chênh lệch áp suất này có thể tạo thành tác động tương hỗ nhau (tác dụng theo cùng hướng) hoặc triệt tiêu lẫn nhau (tác dụng theo ngược hướng), từ đó ảnh hưởng đến thông lượng nước thẩm thấu qua màng lọc.

Bên cạnh đó, việc tăng áp suất phía bên dòng nước cần xử lý cũng có thể khiến NaCl bị đẩy vào cấu trúc vi xốp từ mặt lớp nền, gây cản trở sự di chuyển của các phân tử nước – chủ yếu thông qua hiện tượng phân cực nồng độ nội màng. Từ những kết quả trên, có thể thấy được phải duy trì mức áp suất của dòng dung dịch lõi cuộn cao hơn so với dòng nước cần xử lý nhằm giúp quá trình lọc Thẩm thấu xuôi ứng dụng khử mặn đạt hiệu quả tốt nhất.

Mức chênh lệch áp suất này nên duy trì xung quanh khoảng 0,2 bar – bởi đây là khoảng chênh lệch áp suất nhỏ nhất có thể cho phép điều chỉnh ổn định trên hệ thống thiết bị hiện có, đồng thời mức chênh lệch áp suất cao hơn không đem lại hiệu quả cải thiện thông lượng nước thẩm thấu qua màng đáng kể, nhưng lại tạo thành nguy cơ gây tổn hại đối với màng lọc.

Giá trị mức chênh lệch áp suất khoảng 0,2 bar được lựa chọn cho những thử nghiệm tiếp theo.

3.4.4. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của hướng dòng chảy lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn

Thử nghiệm khảo sát ảnh hưởng của hướng dòng chảy lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn được thực hiện với các thông số kỹ thuật chủ yếu như trình bày trong **Bảng 3.9**. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong **Hình 3.23**.

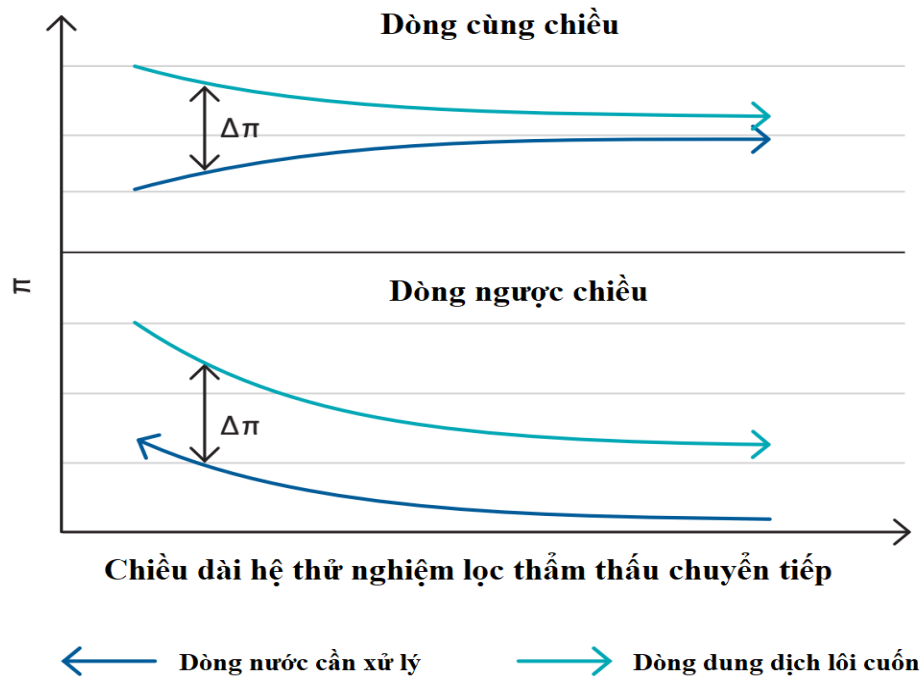
Kết quả thử nghiệm cho thấy thông lượng nước thẩm thấu qua màng cao hơn trong trường hợp dòng chảy ngược chiều, khi so sánh với trong trường hợp dòng chảy cùng chiều. Điều này có thể giải thích là do trong trường hợp dòng chảy cùng chiều, sự chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa hai dung dịch sẽ là lớn nhất tại điểm chúng đi vào hệ thử nghiệm lọc Thẩm thấu xuôi, và giảm dần cho tới điểm chúng đi ra khỏi hệ thử nghiệm. Ngược lại, trong trường hợp dòng chảy ngược chiều, sự chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên giữa hai dung dịch sẽ duy trì tương đối ổn định suốt chiều dài hệ thử nghiệm lọc thẩm thấu xuôi (xem **Hình 3.22**).

Trong phần lớn trường hợp, sự chênh lệch về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên duy trì ổn định sẽ là có lợi hơn, do tránh được những hiện tượng gây cản trở đến quá trình thẩm thấu của nước qua màng như hiện tượng phân cực nồng độ cục bộ, hay sự giảm đột ngột động lực thẩm thấu do lực cản tự nhiên từ màng lọc.

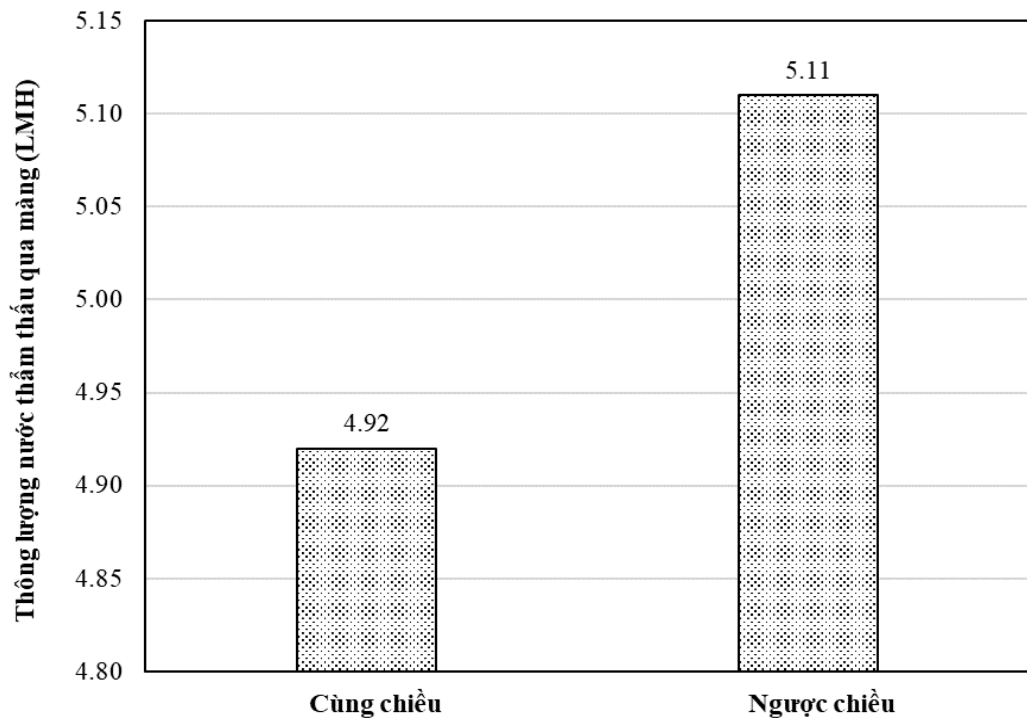
Hướng dòng chảy ngược chiều sẽ được lựa chọn cho những thử nghiệm tiếp theo.

Bảng 3.9 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuốn phụ thuộc hướng dòng chảy

| Thông số vận hành | | Giá trị |
|--|-------------------------|--------------------------|
| Dung dịch ban đầu | Phía nguồn nước đầu vào | NaCl 10‰ |
| | Phía dung dịch lõi cuốn | Maltodextrin 20% |
| Loại màng lọc | | Màng FO-TFC |
| Lưu lượng dòng vào | Phía nguồn nước đầu vào | 25 L/h |
| | Phía dung dịch lõi cuốn | 15 L/h |
| Thông số khác (FO) | Nhiệt độ | 30 °C |
| | Hướng dòng chảy | Ngược chiều – Cùng chiều |
| | Chênh lệch áp suất | 0,2 bar |
| | Thời gian thử nghiệm | 150 phút |
| Thử nghiệm lặp lại tối thiểu 05 lần, với sai số cho phép tối đa 5% | | |



Hình 3.22 Ảnh hưởng của hướng dòng chảy lên sự chênh lệch nồng độ dung dịch hai phía của màng lọc



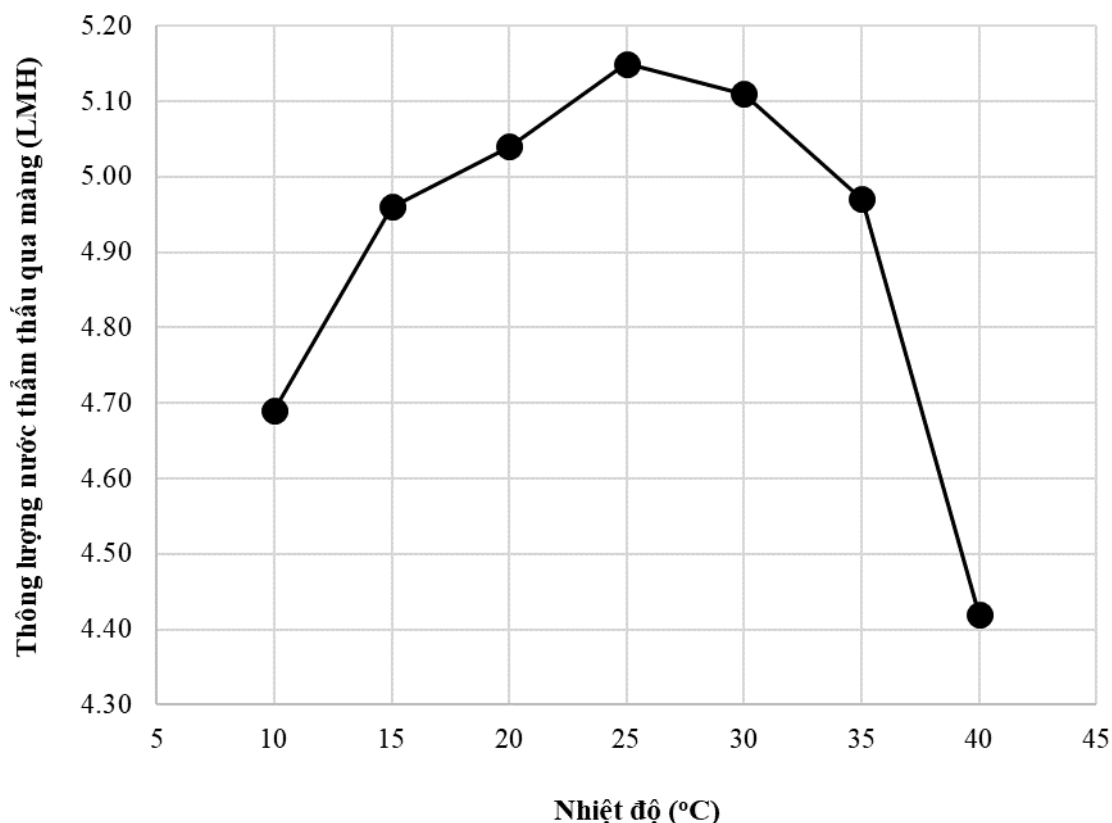
Hình 3.23 Ảnh hưởng của hướng dòng chảy lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng

3.4.5. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ vận hành lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn

Thử nghiệm khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ vận hành lên đặc trưng lõi cuộn của dung dịch lõi cuộn được thực hiện với các thông số kỹ thuật chủ yếu như trình bày trong **Bảng 3.10**. Kết quả nghiên cứu được trình bày trong **Hình 3.24**.

Bảng 3.10 Các thông số vận hành cho thử nghiệm đánh giá đặc trưng lõi cuộn phụ thuộc hướng nhiệt độ vận hành

| Thông số vận hành | | Giá trị |
|--|-------------------------|------------------|
| Dung dịch ban đầu | Phía nguồn nước đầu vào | NaCl 10‰ |
| | Phía dung dịch lõi cuộn | Maltodextrin 20% |
| Loại màng lọc | | Màng FO-TFC |
| Lưu lượng dòng vào | Phía nguồn nước đầu vào | 25 L/h |
| | Phía dung dịch lõi cuộn | 15 L/h |
| Thông số khác (FO) | Nhiệt độ | 10 – 40 °C |
| | Hướng dòng chảy | Ngược chiều |
| | Chênh lệch áp suất | 0,2 bar |
| | Thời gian thử nghiệm | 150 phút |
| Thử nghiệm lặp lại tối thiểu 05 lần, với sai số cho phép tối đa 5% | | |



Hình 3.24 Ảnh hưởng của nhiệt độ vận hành lên thông lượng nước thẩm thấu qua màng

Kết quả thử nghiệm cho thấy điều kiện nhiệt độ vận hành có thể tạo thành ảnh hưởng tương đối đáng kể lên hiệu quả khử mặn của hệ thống lọc Thẩm thấu xuôi. Cụ thể, thông lượng nước thẩm thấu qua màng đã tăng từ 4,69 LMH đến 5,15 LMH khi nhiệt độ vận hành tăng từ 10°C lên 25°C, sau đó giảm dần từ 5,11 LMH xuống còn 4,42 LMH khi nhiệt độ vận hành tiếp tục tăng từ 30°C lên 40°C. Điều này có thể giải thích là do sự thay đổi về mặt nhiệt độ đã dẫn đến sự thay đổi về mặt áp suất thẩm thấu tự nhiên của cả dung dịch lõi cuộn lẫn nguồn nước cần xử lý (xem lại **Chương 1 – Mục 1.3.2**), đồng thời cũng tạo thành ảnh hưởng đến tính chất thẩm thấu của bản thân màng lọc.

Điều kiện vận hành phù hợp nhất được xác định trong khuôn khổ nghiên cứu này của hệ dung dịch lõi cuộn Maltodextrin 20% và nguồn nước nhiễm mặn nồng độ NaCl 10‰ là khoảng 25 – 30 °C. Đáng chú ý, đây cũng là khoảng nhiệt độ môi trường thường được ghi nhận tại nhiều vùng của Việt

Nam, cho thấy tính phù hợp của chất lồi cuốn Maltodextrin cho các ứng dụng khử mặn trong nước.

3.5. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ KHỬ MẶN VÀ SẢN XUẤT NƯỚC NGỌT CỦA HỆ THỐNG LỌC KẾT HỢP FO/LPRO VỚI CHẤT LÔI CUỐN MALTODEXTRIN

Khả năng khử mặn và sản xuất nước thực tế của hệ thống lọc kết hợp FO/LPRO với chất lồi cuốn Maltodextrin được đánh giá trên cơ sở các thông số vận hành đã được xác định thông qua quá trình khảo sát, mẫu nước nhiễm mặn thực tế đưa vào thử nghiệm được thu thập tại khu vực cửa sông Hà Lạn (Sông Sò -thuộc xã Giao Lâm, huyện Giao Thủy, tỉnh Nam Định), do độ mặn của nước ở khu vực này tương đối phù hợp với giới hạn vận hành cao nhất được xác định của dung dịch lồi cuốn Maltodextrin 20%.

Kết quả đánh giá được trình bày trong **Bảng 3.11**, thể hiện cho ba giai đoạn của quá trình xử lý, bao gồm: mẫu ban đầu, mẫu sau tiền xử lý và sau lọc bằng hệ thống FO/LPRO (FO). Kết quả phân tích cho thấy giá trị pH trong nước sinh hoạt sản xuất từ hệ thống lọc kết hợp FO/LPRO nằm trong giới hạn cho phép của Tổ chức Y tế thế giới (WHO) và QCVN 01:2018/BYT. Hàm lượng tổng chất rắn hòa tan (TDS) là một trong những thông số đáng chú ý nhất trong tất cả các chỉ tiêu phân tích, đây chính là tổng số các ion mang điện tích bao gồm khoáng chất, muối và kim loại tồn tại trong một khối lượng nước nhất định. TDS thường được lấy làm cơ sở ban đầu để xác định mức độ sạch của nguồn nước. Theo kết quả nghiên cứu, màng lọc FO kết hợp với màng LPRO đã làm giảm hàm lượng TDS trong nước sản xuất từ 9.921 mg/L xuống 320 mg/L tương đương với hiệu quả khử mặn lên tới khoảng 97%. Điều này cho thấy rằng, giá trị TDS của nước sinh hoạt từ hệ thống lọc kết hợp FO/LPRO nằm trong khoảng giới hạn cho phép WHO và QCVN 01:2018/BYT.

Độ màu cũng là một thông số quan trọng khác được liệt kê trong tiêu WHO, trong mẫu nước cửa sông Hà Lạn trước khi thí nghiệm độ màu xác định được là 25 TCU và 5 TCU là kết quả xác định được trong mẫu nước sau khi lọc sạch bởi hệ thống FO/LPRO. Giá trị này thấp hơn so với giới hạn tối

đa mà WHO và QCVN 01:2018/BYT quy định đối với chất lượng nước ăn uống sử dụng với mục đích sinh hoạt (Bảng 3.11). Điều này chứng tỏ rằng hiệu quả của các màng lọc FO và LPRO trong việc loại bỏ những hạt không hòa tan có mặt trong nước. Mặt khác, theo kết quả nghiên cứu, sản phẩm nước lọc từ hệ thống FO-LPRO không phát hiện các vi khuẩn Coliform. Việc đánh giá khả năng loại bỏ vi khuẩn và vi sinh vật đã chỉ ra rằng sự xuất hiện của công nghệ màng trong việc xử lý hiệu quả nguồn nước nhiễm khuẩn mà không cần tới việc sử dụng các chất phụ gia hóa học hoặc các chất khử trùng nước.

Qua hệ thống lọc gồm màng lọc FO kết hợp với màng LPRO sử dụng dung dịch lõi cuốn Maltodextrin, hầu hết hàm lượng các nguyên tố kim loại, các anions, cations trong nước sinh hoạt sản xuất được từ hệ thống giảm một cách rõ rệt so với nước đầu vào và đều nằm trong giới hạn cho phép của WHO cũng như QCVN 01:2018/BYT. Điều này chứng tỏ rằng, hàm lượng các nguyên tố kim loại, các anions, cations trong nước sinh hoạt sản xuất từ nước nhiễm mặn thông qua hệ thống FO/LPRO mà đề tài nghiên cứu không ảnh hưởng đến sức khỏe người tiêu dùng. Kết quả nghiên cứu này là minh chứng cho thấy tiềm năng ứng dụng của hệ thống lọc nước thẩm thấu xuôi của hệ thống FO/LPRO sử dụng chất lõi cuốn Maltodextrin. Đây có thể xem là cơ sở để nghiên cứu, phát triển và ứng dụng hệ thống lọc nước này như là giải pháp sản xuất nước sinh hoạt cho các khu vực ven biển, hải đảo, các tàu thuyền thường xuyên hoạt động ở ngoài khơi trong thời gian dài, đặc biệt là các vùng bị nhiễm mặn ở nước ta như khu vực các tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long.

Thử nghiệm trên mẫu nước nhiễm mặn thực tế đã chứng minh được tiềm năng ứng dụng của Maltodextrin trong vai trò chất lõi cuốn cho các hệ thống khử mặn và sản xuất nước ngọt bằng công nghệ màng thẩm thấu xuôi.

Bảng 3.11 Kết quả phân tích một số chỉ tiêu của các mẫu nước sau xử lý

| Chỉ tiêu | Đơn vị | Mẫu ban đầu | Mẫu sau tiền xử lý | Mẫu sau lọc bằng hệ thống FO/LPRO | WHO | QCVN 01: 2018/BYT | Đánh giá |
|------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|---------|-------------------|------------|
| 1. Chỉ tiêu hóa - lý - sinh | | | | | | | |
| pH | - | 7,2 | 7,1 | 6,85 | 6,5-8,5 | 6,0-8,5 | Đạt |
| Độ mặn | ‰ | 10 | 9,8 | 0,3 | - | - | Đạt |
| Độ màu | TCU | 25 | 20 | < 5 | 15 | 15 | Đạt |
| Độ đục | NTU | 13 | 2 | < 0,2 | 0,1 | 2 | Đạt |
| TDS | mg/L | 11.892 | 9.921 | 320 | 1.200 | 1.000 | Đạt |
| Amoni | mg/L | 15,04 | 0,62 | 0,08 | 1,5 | 0,3 | Đạt |
| Coliform | Vi khuẩn/100mL | 24x10 ⁴ | 11x10 ³ | KPH | - | < 3 | Đạt |
| 2. Chỉ tiêu kim loại | | | | | | | |
| As | mg/L | 0,01 | 0,01 | < 0,002 | 0,01 | 0,01 | Đạt |
| Cd | mg/L | 0,004 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,003 | Đạt |
| Cr | mg/L | < 0,008 | < 0,008 | < 0,008 | 0,05 | 0,05 | Đạt |
| Cu | mg/L | 0,425 | 0,41 | 0,072 | 2 | 1 | Đạt |
| Pb | mg/L | 0,019 | 0,024 | 0,005 | 0,01 | 0,01 | Đạt |
| Ni | mg/L | < 0,008 | < 0,008 | < 0,008 | 0,02 | 0,07 | Đạt |
| Hg | mg/L | 0,00098 | 0,0006 | < 0,0003 | 0,001 | 0,001 | Đạt |
| Se | mg/L | 0,085 | 0,027 | 0,0045 | 0,05 | 0,01 | Đạt |
| Zn | mg/L | 4,39 | 2,41 | 0,45 | 5 | 2 | Đạt |
| Fe | mg/L | 0,105 | 0,04 | 0,03 | 0,3 | 0,3 | Đạt |
| 3. Anions | | | | | | | |
| Cl⁻ | mg/L | 6.101 | 5.966 | 194,1 | 250 | 300 | Đạt |
| F⁻ | mg/L | 4,9 | 1,56 | 0,56 | 1,5 | 1,5 | Đạt |
| NO₃⁻ | mg/L | 4,5 | 2,4 | 0,86 | 50 | 2 | Đạt |
| NO₂⁻ | mg/L | 0,8 | < 0,015 | < 0,015 | 3 | 0,05 | Đạt |
| SO₄²⁻ | mg/L | 210 | 188 | 7,79 | 250 | 250 | Đạt |
| S⁻ | mg/L | 0,28 | < 0,04 | < 0,04 | 0,05 | 0,05 | Đạt |
| 4. Cations | | | | | | | |
| Ba²⁺ | mg/L | 2,26 | 1,05 | 0,32 | 0,7 | 0,7 | Đạt |
| Mn²⁺ | mg/L | 0,94 | 0,6 | 0,06 | 0,4 | 2 | Đạt |
| Na⁺ | mg/L | 3.988 | 3.867 | 120 | 200 | 200 | Đạt |

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Dung dịch lồi cuốn Maltodextrin cho hiệu quả lọc nước tốt nhất trong hệ thống FO khi sử dụng ở nồng độ 20%, và có thể được hoàn nguyên bằng phương pháp lọc LPRO ở điều kiện: áp suất 16 bar và lưu lượng nước đầu vào 100 L/h.

Nghiên cứu đã xác định một số giá trị thông số vận hành phù hợp nhất trong khoảng giới hạn khảo sát, bao gồm: Lưu lượng dòng dung dịch lồi cuốn đầu vào là 15 L/h, lưu lượng dòng vào của nguồn nước mặn cần xử lý là 25 L/h, giá trị mức chênh lệch áp suất là 0,2 bar, nhiệt độ vận hành là 25 – 30°C.

Việc sử dụng dung dịch lồi cuốn Maltodextrin 20% trong hệ thống lọc FO để lọc nước nhiễm mặn thành nước sinh hoạt đáp ứng được một số yêu cầu kỹ thuật quan trọng theo Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN 01-1:2018/BYT về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt.

Điều này cho thấy, tiềm năng ứng dụng của Maltodextrin trong hệ thống lọc thẩm thấu xuôi để khử mặn.

KIẾN NGHỊ

Cần tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố khác đến hiệu quả lọc nước của hệ thống FO sử dụng Maltodextrin nhằm sản xuất nước sinh hoạt từ nguồn nước nhiễm mặn, đặc biệt là trong quá trình chuyển đổi từ hệ quy mô phòng thí nghiệm sang hệ quy mô pilot hoặc thậm chí quy mô sản xuất, cung cấp cơ sở cho việc ứng dụng kết quả nghiên cứu vào thực tiễn ở nước ta, góp phần cung cấp nguồn nước sạch cần thiết cho nhu cầu sử dụng của người dân ở các khu vực ven biển, hải đảo, và các vùng nhiễm mặn khác.

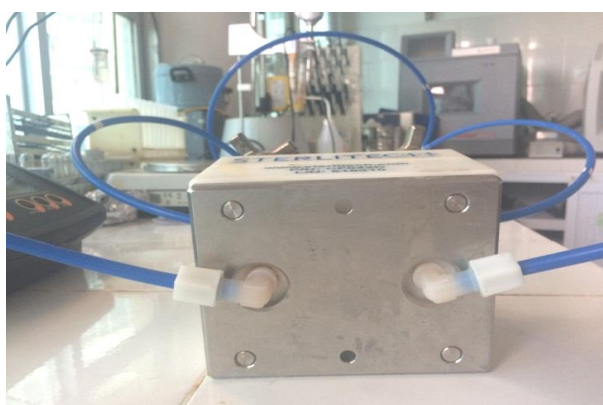
TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Jeffrey R. McCutcheon, Robert L. McGinnisb, Menachem Elimelech, 2005, A novel ammonia-carbon dioxide forward (direct) osmosis desalination process, *Desalination*, 174, 1–11.
2. McCutcheon J.R. *et al.*, 2006, Desalination by ammonia-carbon dioxide forward osmosis: Influence of draw and feed solution concentrations on process performance, *Journal of Membrane Science*, 278(1), 114.
3. Cath T.Y., 2005, Membrane contactor processes for wastewater reclamation in space: Part I. Direct osmotic concentration as pretreatment for reverse osmosis, *Journal of Membrane Science*, 257(1), 85.
4. Qasim M. *et al.*, 2015, Water desalination by forward (direct) osmosis phenomenon: A comprehensive review, *Desalination*, 374, 47.
5. Li D. *et al.*, 2016, Recent advances in polymer and polymer composite membranes for reverse and forward osmosis processes, *Progress in Polymer Science*, 61, 104.
6. Wang Y. *et al.*, 2018, Membranes and processes for forward osmosis-based desalination: Recent advances and future prospects, *Desalination*, 434, 81.
7. Yip N.Y. *et al.*, 2010, High Performance Thin-Film Composite Forward Osmosis Membrane, *Environmental Science & Technology*, 44(10), 3812.
8. Ong R.C. *et al.*, 2012, Novel Cellulose Esters for Forward Osmosis Membranes, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(49), 16135.
9. Cath T.Y. *et al.*, 2006, Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments, *Journal of Membrane Science*, 281 (1–2), 70.
10. 33. Wang Y. *et al.*, 2012, Microscopic Characterization of FO/PRO Membranes – A Comparative Study of CLSM, TEM and SEM, *Environmental Science & Technology*, 46(18), 9995.
11. Sukitpaneelit P., Chung T.S., 2012, High Performance Thin-Film Composite Forward Osmosis Hollow Fiber Membranes with Macrovoid-Free and Highly Porous Structure for Sustainable Water Production, *Environmental Science & Technology*, 46(13), 7358.

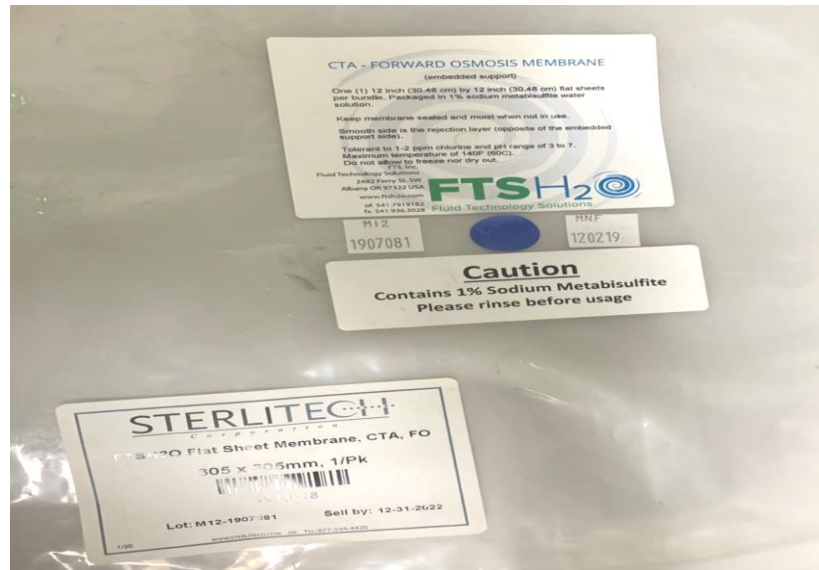
12. Wang R. *et al.*, 2010, Characterization of novel forward osmosis hollow fiber membranes, *Journal of Membrane Science*, 355(1–2), 158.
13. Jeffrey R. McCutcheon, Robert L. McGinnis, Menachem Elimelech, 2006, Desalination by ammonia–carbon dioxide forward osmosis: Influence of draw and feed solution concentrations on process performance, *Journal of Membrane Science*, 278, 114.
14. V. Changrue, V. Orsat, G.S.V. Raghavan, D. Lyew, 2008, Effect of osmotic dehydration on the dielectric properties of carrots and strawberries, *Journal of Food Engineering*, 88, 280.
15. Cohen D., 2004, Mixing moves osmosis technology forward, *Chemical Processing magazine*.
16. T. Asano, 2007, *Water Reuse: Issues, Technologies and Applications*, McGraw-Hill Professional.
17. Victor Yangali-Quintanilla, Zhenyu Li, Rodrigo Valladares, Qingyu Li, Gary Amy, 2011, Indirect desalination of Red Sea water with forward osmosis and low pressure reverse osmosis for water reuse, *Desalination*, 280 (1-3), 160.
18. L.F. Greenlee, D.F. Lawler, B.D. Freeman, B. Marrot, P. Moulin, 2009, Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges, *Water Researches*, 43, 2317.
19. Tzahi Y. Cath, Amy E. Childress, Menachem Elimelech, 2006, Forward osmosis: Principles, applications, and recent developments, *Journal of Membrane Science*, 281, 70.
20. Cath T.Y., Drewes J.E., Lundin C.D., 2009, A novel hybrid forward osmosis process for drinking water augmentation using impaired water and Saline water sources, *Proceedings of the 24th Annual WaterReuse Symposium*, 13.
21. Akther N. *et al.*, 2015, Recent advancements in forward osmosis desalination: A review, *Chemical Engineering Journal*, 281, 502.
22. Jian-Jun Qin, Winson Chee Loong Lay, Kiran Arun Kekre, 2012, Recent developments and future challenges of forward osmosis for desalination: A review, *Desalination and Water Treatment*, 39(1-3), 123.

23. R. Valladares Linares *et al.*, 2014, Forward osmosis niches in seawater desalination and wastewater reuse, *Water Research*, 66, 122.
24. Thompson N., Nicoll P., 2011, Forward Osmosis Desalination: A Commercial Reality, *Proceedings IDA World Congress*.
25. Wang H. *et al.*, 2021, Comprehensive analysis of a hybrid FO-NF-RO process for seawater desalination: With an NF-like FO membrane, *Desalination*, 515, 115203.
26. Victor Y.Q. *et al.*, 2011, Indirect desalination of Red Sea water with forward osmosis and low pressure reverse osmosis for water reuse, *Desalination*, 280(1–3), 160.
27. V. Changrue, V. Orsat, G.S.V. Raghavan, D. Lyew, 2008, Effect of osmotic dehydration on the dielectric properties of carrots and strawberries, *Journal of Food Engineering*, 88, 280.
28. B. Jiao, A. Cassano, E. Drioli, 2004, Recent advances on membrane processes for the concentration of fruit juices: a review, *Journal of Food Engineering*, 63, 303.
29. Achilli, A., Cath, T.Y., Marchand, E.A., Childress, A.E., 2009, The forward osmosis membrane bioreactor: a low fouling alternative to MBR processes, *Desalination*, 239(1-3), 10.
30. Lê Trường Giang, 2017. Báo cáo tổng kết nhiệm vụ cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam “*Nghiên cứu ứng dụng màng thẩm thấu chuyển tiếp trong sản xuất nước sinh hoạt*”.

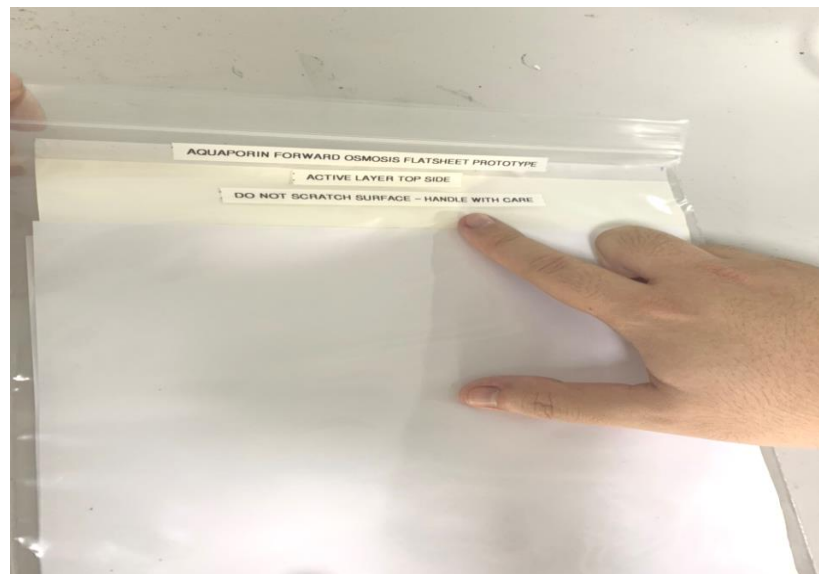
PHỤ LỤC 1 – MỘT SỐ HÌNH ẢNH TRONG QUÁ TRÌNH THỰC HIỆN NGHIÊN CỨU



Hình PL1 – Hình ảnh Module gắn màng lọc FO



Hình PL1 – Hình ảnh màng lọc CTA



Hình PL1 – Hình ảnh màng lọc TFC



Hình PL1 – Hình ảnh mô hình thí nghiệm hệ thống lọc FO (Hệ thống 1)

**PHỤ LỤC 2 – CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ
CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN VĂN**

1. Quang Trung Nguyen, **Thi Thuy Nguyen**, Quang Minh Bui, Thanh Thao Nguyen, Minh Tao Hoàng, Van Nhan Le (2022), “Study to select Maltodextrin concentration in the draw solution in the forward osmosis membrane technology for desalination” (*Bài báo dự kiến sẽ được đăng vào cuối tháng 12 năm 2022 trên Tạp chí Hóa, Lý và Sinh học*).
2. Quang Trung Nguyen, Quang Minh Bui, Thanh Thao Nguyen, **Thi Thuy Nguyen**, Van Nhan Le (2022), “Effects of salinity stress on growth and mineral concentrations of Sesuvium portulacastrum (*Bài báo dự kiến sẽ được đăng vào cuối tháng 12 năm 2022 trên Tạp chí Hóa, Lý và Sinh học*).