

HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC THẢI BẰNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI THEO PHƯƠNG PHÁP KHỬ MẶN

SOLAR-POWERED SALINITY REMOVAL SYSTEM FOR WASTEWATER TREATMENT

Bùi Hải Đăng, Phạm Trường Giang
Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

TÓM TẮT

Bài báo này, trình bày về một hệ thống xử lý nước thải bằng năng lượng mặt trời, sử dụng phương pháp khử mặn để sản xuất nước ngọt. Năng lượng mặt trời được sử dụng để cấp nhiệt cho quá trình xử lý nước thải. Kết quả cho thấy rằng, hệ thống này có khả năng xử lý nước thải hiệu quả và sản xuất được nước ngọt đạt chất lượng tiêu chuẩn. Hơn nữa, hệ thống này cũng tiết kiệm năng lượng và chi phí so với các phương pháp xử lý nước thải truyền thống.

Từ khóa: Xử lý nước thải; Năng lượng mặt trời; Khử mặn; Tiết kiệm năng lượng.

ABSTRACT

This article presents a system for treating wastewater using solar energy, utilizing a desalination method to produce freshwater. Solar energy is used to provide heat for the wastewater treatment process. The results demonstrate that the system is capable of effectively treating wastewater and producing high-quality freshwater. Additionally, the system is energy-efficient and cost-effective compared to traditional wastewater treatment methods.

Keywords: Wastewater treatment; Solar energy; Desalination; Energy-saving.

1. GIỚI THIỆU

Nước là tài nguyên quý giá của con người, tuy nhiên, với sự gia tăng dân số và sự phát triển kinh tế, nhu cầu sử dụng nước cũng tăng lên đáng kể. Đồng thời, các nguồn nước mặt và ngầm đang bị ô nhiễm nghiêm trọng, do sự phát triển công nghiệp và đô thị hóa. Do đó, việc tìm kiếm các phương pháp xử lý nước thải hiệu quả và bền vững là rất cần thiết.

Năng lượng mặt trời là một nguồn năng lượng sạch và tiềm năng để sử dụng trong các

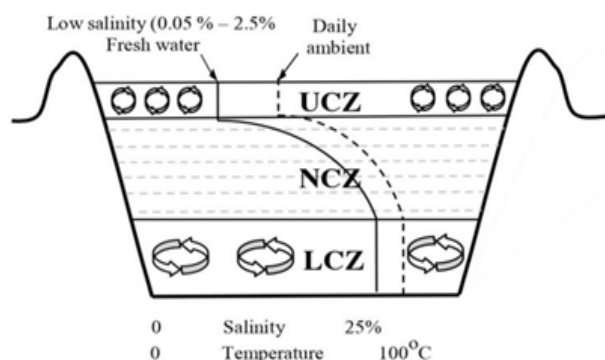
hệ thống xử lý nước thải. Phương pháp khử mặn là một trong những phương pháp hiệu quả để sản xuất nước ngọt từ nước mặn. Trong bài báo này, sẽ trình bày về một hệ thống xử lý nước thải bằng năng lượng mặt trời theo phương pháp khử mặn.

Các công nghệ khử mặn được chọn dựa trên các yếu tố vận hành, bảo trì, vị trí, năng lượng, chi phí và đặc tính của nước. Các công nghệ thông thường khử mặn sản xuất hơn 90% nước ngọt trên toàn cầu, với cơ sở của các quá trình nhiệt là chưng cất và bay hơi. Trong khi

đó, các phương pháp thẩm thấu ngược và màng bán thấm được sử dụng để xử lý nước biển trong các quá trình màng, yêu cầu chênh lệch áp suất trên màng. Ao năng lượng mặt trời là một công nghệ mới sử dụng năng lượng mặt trời để xử lý nước thải, sử dụng năng lượng tái tạo và miễn phí và hoạt động suốt năm. Một ao khử mặn năng lượng mặt trời sử dụng nước muối đáng kể để bảo tồn năng lượng nhiệt từ bức xạ mặt trời, gián tiếp. Ao khử mặn năng lượng mặt trời bao gồm ba lớp khác nhau:

- Vùng đối lưu phía trên (vùng bề mặt);
- Vùng đối lưu phía dưới (vùng dự trữ);
- Vùng độ dốc giữa vùng trên và dưới.

Hình 1, mô tả các lớp nước thải khác nhau theo phương pháp khử mặn bằng năng lượng mặt trời. Vùng đối lưu phía trên, nông và có nồng độ muối thấp, hấp thụ một số ánh sáng mặt trời và phần còn lại được chuyển sang lớp bên dưới. Lớp này có độ mặn khoảng 2 đến 3%, với phạm vi nhiệt độ bằng với nhiệt độ trung bình của môi trường. Lớp giữa là vùng độ dốc là vùng không đối lưu, được tạo ra bởi độ dốc ở lớp trên và dưới, với nồng độ muối tăng khi độ sâu tăng. Lớp dưới cùng có nước mặn hấp thụ năng lượng nhiệt của mặt trời một cách mạnh mẽ và là nơi tích tụ nhiệt với mật độ cao.



Hình 1. Sơ đồ các lớp nước thải khác nhau trong ao năng lượng mặt trời

Sơ đồ quá trình xử lý nước thải:

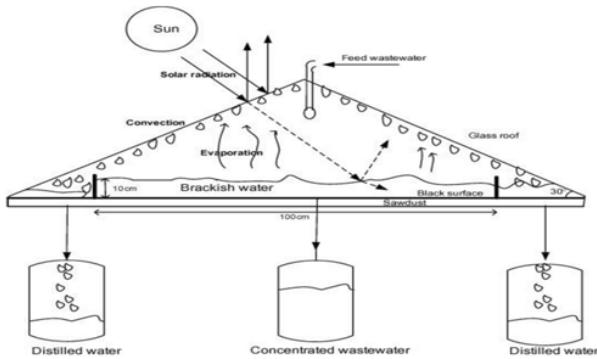
Hình 2 cho thấy sơ đồ của quá trình xử lý nước thải. Nước thải đầu ra từ một ngành công nghiệp đi vào đơn vị xử lý chính và sau đó là đơn vị xử lý thứ cấp, như được thấy trong sơ đồ. Đầu ra của thiết bị này chảy đến bộ phận khử trùng và sau đó đi vào thiết bị khử mặn năng lượng mặt trời. Hiệu suất của hệ thống được đánh giá bằng cách phân tích các thông số chất lượng nước đầu vào và đầu ra, chẳng hạn như tổng chất rắn tan (TDS), hàm lượng oxy hóa hóa học (COD), hàm lượng oxy hóa sinh học (BOD) và độ pH. Năng lượng tiêu thụ của hệ thống cũng được đo lường.



Hình 2. Sơ đồ quy trình xử lý nước thải

Mô tả mô hình ao khử mặn năng lượng mặt trời:

Mô hình ao khử mặn năng lượng mặt trời được nghiên cứu bao gồm một sàn kim loại và vỏ kính. Chiều dài và chiều rộng của sàn là 1.5m và 1m tương ứng. Độ dày của sàn là 1 cm và của nắp là 4 mm. Sàn của thiết bị này được làm bằng thép không gỉ để có khả năng chống ăn mòn và áp suất. Góc của mái kính là 30°. Thiết bị khử mặn năng lượng mặt trời hướng về phía Tây để nó có thể được tiếp xúc với năng lượng mặt trời tối đa. Hai miếng kim loại chia sàn thành ba phần. Dòng nước thải chảy vào phần giữa. Thiết bị hấp thụ năng lượng mặt trời vào ban ngày và làm bay hơi nước thải. Hơi biến thành chất lỏng trong đêm và chảy xuống ở hai bên của thiết bị này. Hình 3, cho thấy quá trình diễn ra của thiết bị.



Hình 3. Mô hình ao khử mặn năng lượng mặt trời

Nước thải đầu ra từ bộ phận khử trùng đi vào thiết bị năng lượng mặt trời và được chuyển đổi thành hai dòng nước tinh khiết và nước muối. Nhiệt độ nước thải trong các lớp khác nhau, dẫn đến tốc độ sản xuất nước ngọt khác nhau. Các đặc tính của nước thải được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1: Đặc tính của nước thải:

Đặc tính	Số lượng
Độ nhớt	1091cP
Mật độ	1120 kg/m ³
Nhiệt dung riêng	3,11 kJ/ kg ⁰ C
Độ mặn	7,2%
TDS	207,6
Độ đục	1,13

2. NGHIÊN CỨU DỰA TRÊN MÔ HÌNH CỦA ĐƠN VỊ KHỬ MẶN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

Các phương trình bảo toàn năng lượng được sử dụng để mô hình hóa nền tảng của thiết bị năng lượng mặt trời, nước thải và kính che [3]. Sự hấp thụ năng lượng bởi nền tảng của thiết bị năng lượng mặt trời tuân theo cơ chế dòng chảy. Công thức (1) cho thấy sự cân bằng năng lượng này. Ngoài ra, sự trao đổi năng lượng giữa nước thải và kính bằng cơ chế dòng

chảy, truyền nhiệt bay hơi giữa nước thải và kính và truyền nhiệt bức xạ giữa nước thải và kính cũng xảy ra. Do đó, năng lượng thu được bởi nước thải được viết theo công thức (2) [6]. Năng lượng thu được bởi kính từ ánh sáng mặt trời tuân theo cơ chế dòng chảy, truyền nhiệt bức xạ và bay hơi của nước thải. Năng lượng bị mất được tìm thấy thông qua cơ chế truyền nhiệt bức xạ giữa kính và bầu trời [3]. Do đó, phương trình bảo toàn năng lượng của kính được viết theo công thức (3). Ngoài ra, độ mạnh của bức xạ mặt trời được định nghĩa theo công thức (4) [6].

$$R\alpha_{ba}S_{ba} - H_{c,b-ba} - H_{loss} = m_{ba}c_{ba} \frac{dT_{ba}}{dt} \quad (1)$$

$$R\alpha_bS_b - H_{c,b-ba} - H_{r,b-g} - H_{e,b-g} = m_b c_b \frac{dT_{ba}}{dt} \quad (2)$$

$$R\alpha_gS_g - H_{c,b-ba} - H_{r,g-s} - H_{c,g-a} + H_{r,b-g} - H_{e,b-g} = m_g c_g \frac{dT_{ba}}{dt} \quad (3)$$

$$R = R_0 \left[(1 - 0,14z) \exp(-0,357(\sec \theta_i)^{0,678}) + 0,14z \right] \quad (4)$$

R là bức xạ trực tiếp trong khu vực. Ngoài ra, R_0 là 1353Wm². θ_i là góc thiên đỉnh. Nhiệt dung riêng [3] được viết theo công thức (5):

$$c_b = 4180 + 4,396\zeta + 0,0048\zeta^2 \quad (5)$$

Độ nhớt, hệ số truyền nhiệt dẫn điện, nhiệt dung riêng ở áp suất không đổi và mật độ nước thải mặn [6] được liệt kê theo các công thức (6) đến (9):

$$\mu_b = -0,002d^2 + 0,057d + 0,725 \quad (6)$$

$$k_b = 5,553.10^{-1} - 8,13.10^{-5}\zeta + 8,10^{-4}(T_{ave} - 20) \quad (7)$$

$$cp_b = 1E - 4d^2 - 0,0041d + 3,181 \quad (8)$$

$$\rho_b = 998 + 0,65\zeta - 0,4(T_{ave} - 20) \quad (9)$$

Nhiệt lượng tiềm ẩn của nước thải được biểu thị bằng các công thức (10) và (11). Công thức (10) được sử dụng khi nhiệt độ bay hơi

cao hơn 70°C, công thức (11) được sử dụng khi nhiệt độ bay hơi dưới 70°C:

$$H_{fg} = \left\{ 3,1615 \cdot 10^{-6} \left[1 - (7,616 \cdot 10^{-4} T_v) \right] \text{For } T_v \geq 70^\circ\text{C} \right\} \quad (10)$$

$$H_{fg} = \left\{ 2,5 \cdot 10^6 \left(1 - 9,5 \cdot 10^{-4} T_v + 1,3 \cdot 10^{-7} T_v^2 - 4,8 \cdot 10^{-9} T_v^3 \right) \text{For } T_v < 70^\circ\text{C} \right\} \quad (11)$$

Ngoài ra, áp suất của nước mặn và áp suất của mặt trong nắp kính [6] được thể hiện bằng công thức (12) và (13):

$$P_b = \exp \left[25,317 - \frac{5144}{(T_b + 273,15)} \right] \quad (12)$$

$$P_g = \exp \left[25,317 - \frac{5144}{(T_g + 273,15)} \right] \quad (13)$$

Công thức (14) cho thấy tốc độ dòng chảy của sản lượng nước ngọt từ thiết bị năng lượng mặt trời theo nhiệt độ trung bình và nhiệt độ nước thải [3]:

$$\frac{dm_{cond}}{dt} = \frac{h_{e,b-g} (T_b - T_{ave})}{h_{lv}} \quad (14)$$

Mối tương quan giữa mô hình lý thuyết và dữ liệu thực nghiệm [6] lớn hơn nếu nhiệt độ trung bình được biểu thị theo công thức (15):

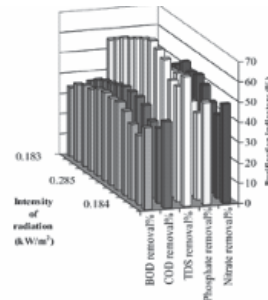
$$T_{ave} = 0,77.T_g + 0,23.T_{ba} \quad (15)$$

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

- Nghiên cứu về cường độ bức xạ và xử lý nước thải

Hình 4 cho thấy rằng, quá trình loại bỏ chất ô nhiễm tăng lên khi độ mạnh của bức xạ mặt trời tăng lên, tỷ lệ loại bỏ tối đa của BOD, COD, photpho, nitrat và TDS lần lượt là 28,1%, 25%, 39,9%, 39,2% và 24,4%. Điều

này có nghĩa là thiết bị phơi nhiễm ánh sáng mặt trời có hiệu suất chấp nhận được trong quá trình xử lý.



Hình 4. Mối quan hệ giữa cường độ bức xạ mặt trời và loại bỏ chất gây ô nhiễm

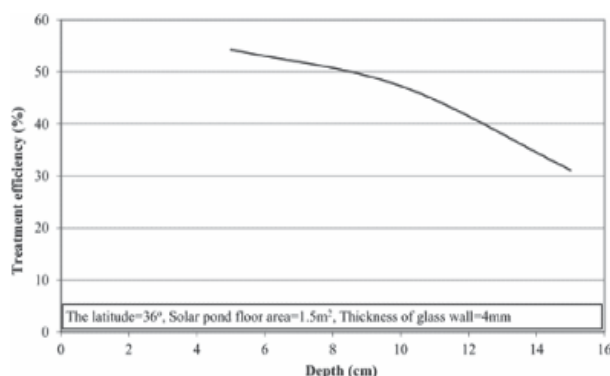
Bảng 2 cho thấy, tỷ lệ chỉ số ô nhiễm trong thiết bị chứa đất phơi nhiễm ánh sáng mặt trời.

Bảng 2. Tỷ lệ chỉ số ô nhiễm:

Chỉ số ô nhiễm	Tỷ lệ (%)
BOD	28,1
COD	25
Phosphate	39,9
Nitrat	39,2
TDS	24,4

- Nghiên cứu về độ sâu của nước thải và xử lý nước thải:

Hình 5, cho thấy mối quan hệ giữa hiệu quả xử lý và độ sâu của nước thải. Hiệu quả xử lý là sự giảm trung bình của BOD, COD, photpho, nitrat và TDS. Hình 5, cho thấy rằng hiệu quả xử lý giảm đi khi độ sâu của nước thải tăng lên.

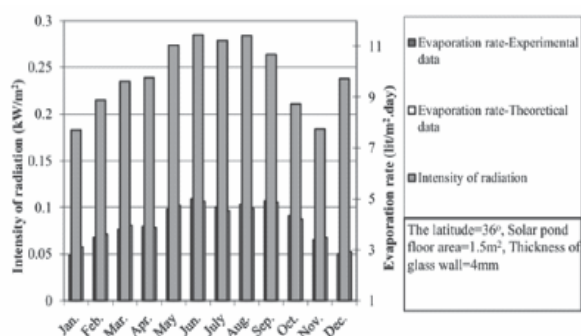


Hình 5. Mối quan hệ giữa hiệu quả xử lý và độ sâu nước thải

Khi độ sâu của nước thải tăng lên, lượng bám muối cũng tăng lên và yếu tố này có tác động đáng kể đến việc giảm hiệu quả xử lý.

- Nghiên cứu về sản xuất nước so với độ mạnh của bức xạ:

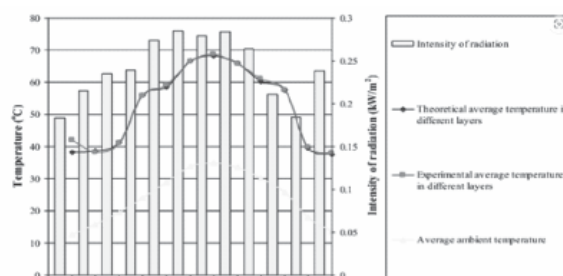
Tỷ lệ bay hơi lý thuyết và thực nghiệm của nước thải ở các mức độ khác nhau của bức xạ mặt trời được chỉ rõ trong phần này. Hình 6, cho thấy rằng độ mạnh của bức xạ cũng như tỷ lệ bay hơi từ tháng 6 cao hơn so với các tháng khác. Nhiều yếu tố như độ mạnh của bức xạ mặt trời, tốc độ gió và hướng gió ảnh hưởng đến quá trình bay hơi nước thải.



Hình 6. Tốc độ sản xuất nước lý thuyết và thực nghiệm so với cường độ bức xạ

- Nghiên cứu về nhiệt độ của nước thải trong các tháng khác nhau:

Hình 7, cho thấy giá trị lý thuyết và thực nghiệm của nhiệt độ trung bình trong các tháng khác nhau. Kết quả xác nhận rằng có sự đồng thuận giữa mô hình toán học và dữ liệu thực nghiệm. Nhiệt độ trung bình của nước thải mặn cao nhất xảy ra vào tháng 7 và thấp nhất vào tháng 12.



Hình 7. Nhiệt độ trung bình lý thuyết và thực nghiệm trong các tháng khác nhau

4. KẾT LUẬN

Nước thải được xử lý trong bộ khử mặn năng lượng mặt trời và được đưa ra thành nước sạch bằng cách bay hơi. Tầm quan trọng của khử mặn năng lượng mặt trời là nó tiết kiệm nhiên liệu và tránh lượng khí thải tương ứng. Nghiên cứu hiện tại nhắm tới mục tiêu phân tích hiệu suất của nhà máy thông qua tính toán dựa trên mô hình và xác minh kết quả bằng các phép đo vật lý. Trong khi hiệu suất của nhà máy được thiết lập ở một bên, mặt khác việc xác nhận mô hình toán học đã đạt được, đã xác nhận sự tương đồng giữa dữ liệu thí nghiệm và kết quả mô phỏng mô hình. Việc mô hình đã được phát triển bằng cách sử dụng các phương trình năng lượng có sẵn trong tài liệu là hết sức quan trọng và cần thiết.

Danh sách các ký hiệu:

- ϵ : Hệ số phát xạ;
- α : Hệ số hấp thụ;
- δ : Hằng số Stefan-Boltzmann ($\text{W/m}^2\text{K}^4$);



Ab: Diện tích đáy ao năng lượng mặt trời (m^2);
 Aba: Diện tích nước mặn (m^2);
 Ag: Diện tích nắp kính (m^2);
 c: Nhiệt dung riêng (J/kg K);
 R: Lưu lượng nhiệt mặt trời (W/m^2);
 h: Hệ số truyền nhiệt ($\text{W/m}^2\text{K}$);
 h_{iv} : Nhiệt hóa hơi (J/kg);
 ζ : Độ mặn (g/kg);
 m_c : Khối lượng ngưng tụ;
 H: Lưu lượng nhiệt (W/m^2);
 T: Nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$);
 t: Thời gian;
 dt: Khoảng thời gian (s);
 T_s : Nhiệt độ bầu trời ($^{\circ}\text{C}$);
 a: Môi trường xung quanh;
 ba: Đáy (của ao năng lượng mặt trời);
 b: Nước mặn;
 E: Bay hơi;
 E_{ff} : Hiệu quả;
 G: Kính;
 R: Bức xạ;
 S: Bầu trời;
 C: Dẫn nhiệt.

Ngày nhận bài: 02/6/2023

Ngày phản biện: 18/6/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Dong, S., Zhao, Y., Yang, J., Li, W., Luo, W., Li, S., Liu, X., Guo, H., Yu, C., Sun, J., Feng, J., & Zhu, Y. (2022). *Solar water recycling of carbonaceous aerogel in open and closed systems for seawater desalination and wastewater purification*. Chemical Engineering Journal, 431(1).
- [2]. Farahbod, F. (2020a). *Simultaneous use of mass transfer and thermodynamics equations to estimate the amount of removed greenhouse gas from the environment by a stream of water*. Environmental Modeling & Assessment.
- [3]. Farahbod, F. (2020b). *Practical investigation of usage of nano bottom in the production of fresh water from brackish wastewater in a closed shallow solar basin*. Environmental Progress & Sustainable Energy.
- [4]. Farahbod, F. (2022). *Experimental evaluation of nano-zinc oxide coating applying on inner surface of a rotary dryer to produce NaCl*. International Journal of Environmental Science and Technology.
- [5]. Farahbod, F., & Farahmand, S. (2013). *Experimental study of solar pond coupled with forced circulation crystallizer as major stages of proposed zero discharge desalination process*. Journal of Thermal Science and Engineering Applications.
- [6]. Farahbod, F., Mowla, D., Jafari Nasr, M. R., & Soltanieh, M. (2012). *Investigation of solar desalination pond performance experimentally and mathematically*. Journal of Energy Resources Technology.
- [7]. Farahbod, F., & Omidvar, M. (2018). *Experimental evaluation of collection, thermal, and conductivity efficiency of a solar distiller pond as a free concentration unit in wastewater treatment process*. Energy Science & Engineering.
- [8]. Ganguly, S., Date, A., & Akbarzadeh, A. (2019). *On increasing the thermal mass of a salinity gradient solar pond with external heat addition: a transient study*. Energy, 168, 43–56.
- [9]. Ines, M., Paolo, P., Roberto, F., & Mohamed, S. (2019). *Experimental studies on the effect of using phase change material in a salinity-gradient solar pond under a solar simulator*. Solar Energy, 186, 335–346.
- [10]. Ismail, M. S., Mohamed, A. M., Poggio, D., Walker, M., & Pourkashanian, M. (2022). *Modelling mass transport within the membrane of direct contact membrane distillation modules used for desalination and wastewater treatment: Scrutinising assumptions*. Journal of Water Process Engineering, 45.