

Numerical Investigation on Effects of Step Number on the Stepped Solar Still

Van Nam Huynh¹, Van Hai Dang¹, Minh Phu Nguyen^{2*}

¹Ho Chi Minh City University of Food Industry (HUFI), Vietnam

²Industrial University of Ho Chi Minh City (IUH), Vietnam

*Corresponding author. Email: nguyenminhphu@iuh.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 09/02/2023
Revised: 07/03/2023
Accepted: 26/05/2023
Published: 28/02/2024

KEYWORDS

Distillation;
Desalination;
CFD;
Solar energy;
Species transport.

ABSTRACT

The stepped solar still is a modification of the traditional form to increase productivity by reducing the distance between the heat transfer and mass transfer surfaces. In this paper, two-dimensional numerical simulations of a traditional distiller and step-distillers are presented. The number of steps varies from 2 to 4 while the still dimensions and surface temperatures are the same. The study was to determine the transport characteristics in the evaporative domain and the freshwater yield rate of the stepped types compared with the traditional type. The results show that the optimal number of steps is 3, and the yield of this type is 19.7% higher than that of the traditional one. The productivity of the stepped types is higher than that of the traditional type because the number of primary vortexes is increased from 3 to 5. In addition, the different number of vortexes in a step of the stepped distillers also results in different productivity of the step. The strong secondary vortexes at the water and glass surfaces of the conventional type prevent heat and mass transfer.

Mô Phỏng Số Khảo Sát Ảnh Hưởng của Số Bậc Đến Năng Suất Bộ Chung Cát Nước Dạng Bậc Thang Sử Dụng Năng Lượng Mặt Trời

Huỳnh Văn Nam¹, Đặng Văn Hải¹, Nguyễn Minh Phú^{2*}

¹Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm Thành phố Hồ Chí Minh (HUFI), Việt Nam

²Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh (IUH), Việt Nam

* Tác giả liên hệ. Email: nguyenminhphu@iuh.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 09/02/2023
Ngày hoàn thiện: 07/03/2023
Ngày chấp nhận đăng: 26/05/2023
Ngày đăng: 28/02/2024

TỪ KHÓA

Chung cát;
Khử muối;
Mô phỏng số;
Năng lượng mặt trời;
Truyền cầu từ.

TÓM TẮT

Bộ chung cát nước ngọt dạng bậc là một hiệu chỉnh của dạng truyền thống để tăng năng suất do giảm khoảng cách giữa các bề mặt truyền nhiệt và truyền khối. Trong bài báo này, mô phỏng số hai chiều bộ chung cát truyền thống và các bộ chung cát dạng bậc được trình bày. Số bậc thay đổi từ 2 đến 4 trong khi kích thước các bộ và các nhiệt độ bề mặt là như nhau. Nghiên cứu là để xác định đặc tính truyền trong miền bay hơi và năng suất của loại bậc so với loại truyền thống. Kết quả chỉ ra rằng số bậc tối ưu là 3 và năng suất của loại này cao hơn loại truyền thống là 19,7%. Năng suất của loại bậc cao hơn loại truyền thống là do số xoáy sơ cấp tăng từ 3 thành 5. Ngoài ra số xoáy khác nhau trong một bậc của các bộ chung cát dạng bậc cũng làm năng suất các bậc khác nhau. Các xoáy thứ cấp cường độ lớn ở các bề mặt nước và mặt kính của loại truyền thống làm ngăn cản truyền nhiệt và truyền khối.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2024.1347>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

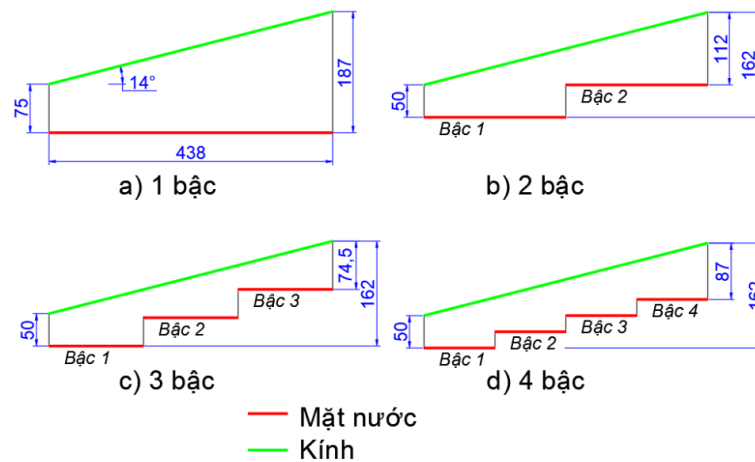
Chung cát nước ngọt là quá trình chuyển hóa nước nhiễm bẩn thành nước sạch dùng được cho sự sống. Có nhiều công nghệ sản xuất nước sạch khác nhau như phương pháp phun tách âm [1], phương pháp màng [2], [3], hoặc chung cát nước [4], [5]. Chung cát nước tiêu tốn nhiều nhiệt năng do ảnh hưởng

hóa hơi của nước lớn. Năng lượng mặt trời có thể sử dụng như nguồn nhiệt cho quá trình bay hơi. Chung cất nước ngọt bằng năng lượng mặt trời là giải pháp khả thi để sản xuất nước uống cho các vùng sâu vùng xa và hải đảo. Việt Nam có bờ biển dài, nhiều hải đảo và nguồn bức xạ mặt trời dồi dào do đó có thể sử dụng bộ chung cất nước năng lượng mặt trời ở các quy mô khác nhau. Có nhiều kiểu chung cất nước năng lượng mặt trời như loại 1 tấm kính, loại 2 tấm kính bố trí kiểu ngôi nhà hoặc hình chữ V, loại tròn, loại hình nón lá, hoặc loại kim tự tháp. Các loại này hầu hết có bề nước dạng phẳng và mái ngung tụ nghiêng.

Trong những năm gần đây, bộ chung cất bị động dạng bậc được sử dụng rộng rãi do năng suất cao hơn loại truyền thống. Điều này là do khoảng cách giữa các bề mặt ngưng tụ và bay hơi trong dạng bậc nhỏ do đó nhiệt và khối lượng có thể được truyền giữa hai bề mặt. Ngoài ra bề nước dạng bậc tạo bề mặt hiệu quả cho truyền nhiệt và truyền khối so với bề phẳng [6]-[8]. Một cách tổng quát, mặt nước nằm ngang nhận ít bức xạ mặt trời hơn một mặt nghiêng. Nhưng không thể tạo mặt nước nghiêng ở trạng thái tĩnh, vì thế bộ chung cất nước dạng bậc là một giải pháp tốt. Keshtkar và cộng sự [9] khảo sát ảnh hưởng của số bậc đến bộ chung cất có mặt nước dài 750 mm. Họ đã kết luận rằng 6 bậc là tối ưu và năng suất tăng 17,4% so với loại truyền thống.

Chung cất nước ngọt năng lượng mặt trời có bề nước dạng bậc chưa được nghiên cứu nhiều, nhất là đặc tính truyền nhiệt truyền khối, trường dòng và ảnh hưởng của số bậc. Theo nghiên cứu tổng quan gần đây của AlSaleem và cộng sự [10], chỉ có 3 công bố về bộ chung cất dạng bậc trong số 24 công bố. Trong nghiên cứu này, bốn bộ chung cất gồm loại truyền thống và ba bộ có bề nước bậc thang được mô phỏng để đánh giá khả năng sản xuất nước ngọt và xác định số bậc tối ưu. Mô phỏng số được thực hiện để xác định cơ chế truyền trong buồng bay hơi và xác định năng suất bay hơi của từng bậc.

2. Mô tả mô hình và phương pháp nghiên cứu

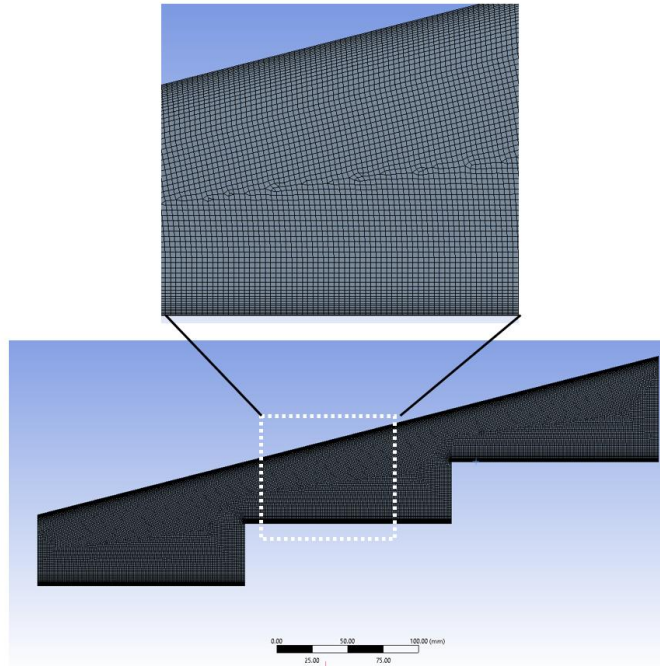


Hình 1. Bộ chung cất năng lượng mặt trời truyền thống và các bộ chung cất dạng bậc

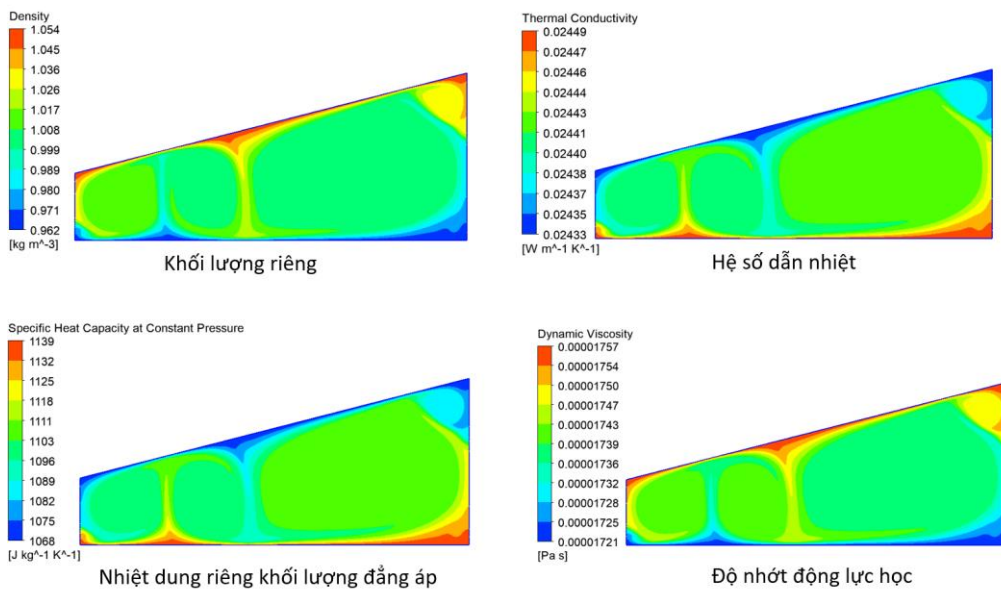
Hình 1 trình bày 4 bộ chung cất nước ngọt bằng năng lượng mặt trời được mô phỏng trong nghiên cứu này. Bốn bộ có cùng kích thước mặt nước 438 mm và kính phù hợp với phương ngang một góc 14° . Các thông số này được lấy từ nghiên cứu trước [11] để so sánh với kết quả thực nghiệm đã công bố. Nghiên cứu tổng quan tài liệu cho thấy kích thước mặt nước trong khoảng 438 mm đến 980 mm. Kích thước quá ngắn gây khó khăn trong việc đo đạc thực nghiệm. Kích thước quá lớn làm tăng chi phí chế tạo hoặc tính toán. Do đó nghiên cứu này chọn 438 mm trong mô phỏng để giảm chi phí tính toán. Ngoài ra chiều dài mặt nước 438 mm và góc 14° cũng được sử dụng trong nhiều nghiên cứu khác [6], [12]. Bốn bộ gồm loại truyền thống trong hình 1a (gọi là 1 bậc) và loại 2, 3, 4 bậc. Như đã trình bày trong phần trước, Keshtkar và cộng sự [9] đã nghiên cứu chiều dài mặt nước 750 mm và số bậc đã khảo sát trong khoảng từ 4 đến 7. Nghiên cứu này có chiều dài mặt nước nhỏ hơn do đó số bậc được khảo sát tối đa là 4 bậc. Cạnh trái và cạnh phải của loại 1 bậc có kích thước lần lượt là 75 mm và 187 mm. Đối với loại nhiều bậc, các cạnh trái và phải được rút ngắn 25 mm để dễ dàng chia bậc. Khi đó cạnh trái và cạnh phải lần lượt là 50 mm và 162 mm. Từ đó phân chia chiều cao các bậc trong các loại 2, 3, và 4 bậc lần lượt là 50 mm, 43,75 mm và

25 mm. Số thứ tự bậc cũng được ghi chú để đánh giá khả năng bay hơi của từng bậc. Năng lượng mặt trời chiếu xuyên qua kính đến bồn nước của bộ chưng cất làm nóng nước. Nước nhận nhiệt bay hơi ở mặt nước và ngưng tụ dưới tấm kính. Do đó lưu chất trong miền tính toán trong hình 1 là không khí ẩm. Không khí ẩm ở kính và mặt nước là không khí ẩm bão hòa (độ ẩm tương đối $\phi = 100\%$). Mô phỏng cho bồn bộ được thực hiện với các giả sử như sau [13]:

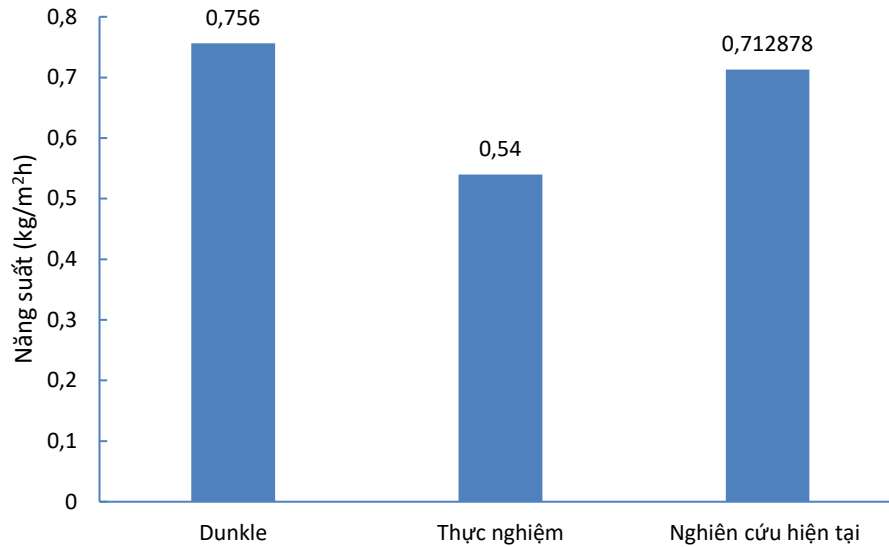
- dòng chảy 2 chiều, chảy tầng, lưu chất không nén được,
- trạng thái ổn định và áp suất hoạt động là áp suất khí quyển,
- bỏ qua ảnh hưởng của bức xạ nhiệt.



Hình 2. Chia lưới trong miền tính toán tiêu biểu



Hình 3. Phân bố các thông số nhiệt vật lý trong loại 1 bậc



Hình 4. So sánh năng suất đạt được từ mô hình toán của Dunkle, thực nghiệm [11] và mô phỏng trong nghiên cứu này cho bộ chưng cất 1 bậc ở nhiệt độ mặt nước 63 °C, nhiệt độ kính 48 °C

Từ các giả sử trên, hệ phương trình vi phân mô tả đối lưu tự nhiên của không khí ẩm trong miền tính toán như sau:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

trong đó u là thành phần vận tốc phương ngang, v là thành phần vận tốc phương đứng, x và y là hệ trục tọa độ Descartes.

Phương trình động lượng của thành phần vận tốc u :

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

trong đó p là áp suất, ρ là khối lượng riêng và ν là độ nhớt động học.

Phương trình động lượng của thành phần vận tốc v :

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_o) + g\beta_s \rho(Y - Y_o) \quad (3)$$

trong đó g là gia tốc trọng trường, β là hệ số giãn nở nhiệt, β_s là hệ số giãn nở cấu tử, Y là thành phần khối lượng hơi nước (không thứ nguyên), T_o và Y_o lần lượt là nhiệt độ và thành phần khối lượng hoạt động.

Phương trình năng lượng:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

trong đó T là nhiệt độ, α là hệ số khuếch tán nhiệt.

Phương trình thành phần khối lượng hơi nước (Y) [14]:

$$u \frac{\partial Y}{\partial x} + v \frac{\partial Y}{\partial y} = D_m \left(\frac{\partial^2 Y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Y}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

Trong đó hệ số khuếch tán khối lượng (D_m) được tính như sau [15], [16]:

$$D_m = 2,6 \times 10^{-5} \left(\frac{101325}{p} \right) \left(\frac{T}{298} \right)^{1.5} \quad (6)$$

Các điều kiện biên kết hợp với các phương trình đạo hàm riêng (1)-(5) được áp dụng như sau:

- mặt nước: $u = v = 0$, $T = 63^\circ\text{C}$, $Y = Y|_{T=63^\circ\text{C}, \varphi=100\%} = 0,1523$,

- kính: $u = v = 0$, $T = 48^\circ\text{C}$, $Y = Y|_{T=48^\circ\text{C}, \varphi=100\%} = 0,07095$,

- các vách khác: $u = v = 0$, $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$, $\frac{\partial Y}{\partial n} = 0$, với n là phương pháp tuyến của bề mặt.

Hình 2 biểu diễn chia lưới trong miền tính toán. Chia lưới dày đặc ở mặt nước và kính để tăng cường dự đoán vật lý dòng chảy ở các bề mặt này. Số phần tử lưới trong các loại 1 đến 4 bậc lần lượt là 65634, 43747, 35611, 38477. Các bộ chung cất được mô phỏng trong phần mềm ANSYS Fluent 19.2. Các thông số nhiệt vật lý của không khí ẩm (khối lượng riêng, độ nhớt, hệ số dẫn nhiệt, và nhiệt dung riêng) thay đổi theo nhiệt độ dựa trên phương trình trạng thái khí lý tưởng và luật hòa trộn của chất khí. Hình 3 trình bày giá trị của các thông số nhiệt vật lý biến thiên trong miền tính toán. Thuật toán SIMPLE được sử dụng để liên kết áp suất và vận tốc trong các phương trình Navier-Stokes. Mô hình truyền cấu tử (Species transport model) trong ANSYS Fluent dùng để mô phỏng thành phần khối lượng hơi nước (đại lượng Y , phương trình (5)). Vì miền tính toán là không khí ẩm nên nghiên cứu này chỉ dùng mô hình một pha. Do có nhiều xoáy dòng trong miền tính toán nhiều bậc như hình 1, để đảm bảo hội tụ lời giải số, hệ số hồi phục (under-relaxation factor) cần giảm rất thấp. Tính lặp sẽ dừng lại khi sai số phương trình năng lượng (Phương trình (4)) là 10^{-6} , còn các phương trình khác (Phương trình (1), (2), (3), và (5)) là 10^{-3} .

Từ kết quả mô phỏng, năng suất sản xuất nước ngọt (\dot{m}) tính cho một mét vuông mặt nước trong một giờ ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) của một bộ chung cất được tính như sau [15], [17]:

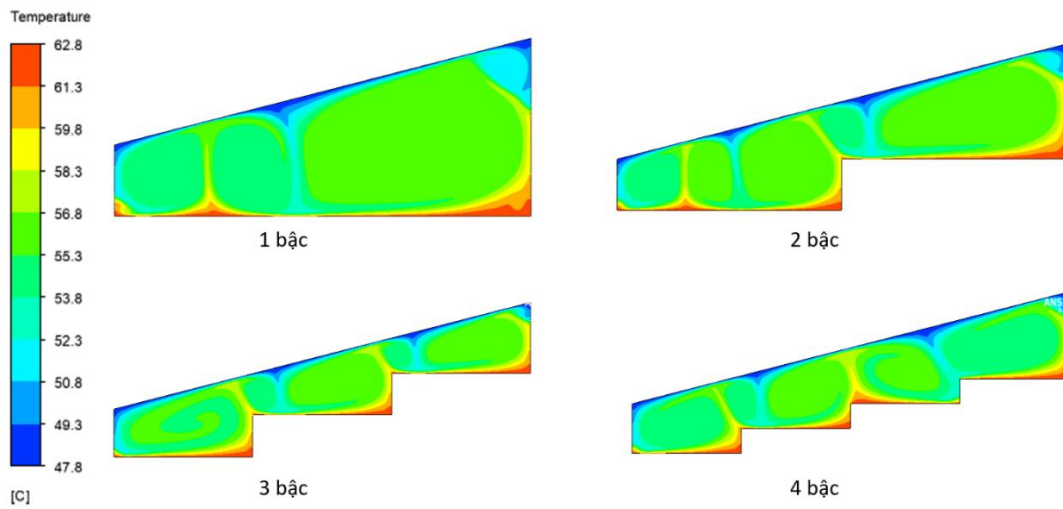
$$\dot{m} = \frac{-3600 D_m \rho}{L} \int_0^L \left. \frac{\partial Y}{\partial y} \right|_{\text{mat nuoc}} dx. \quad (7)$$

với L là chiều dài mặt nước.

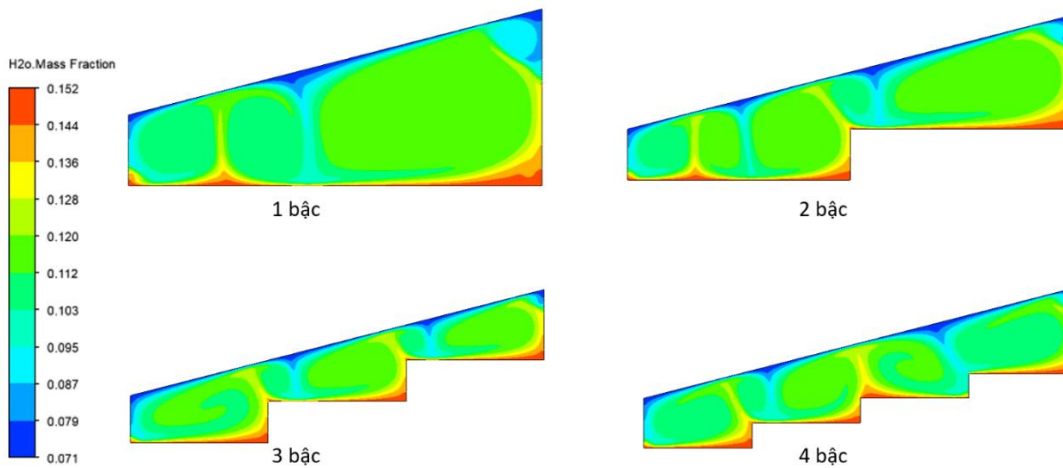
Để đảm bảo mô phỏng đạt độ tin cậy, năng suất của bộ chung cất truyền thống được so với dự đoán của mô hình toán Dunkle và kết quả thực nghiệm đã công bố trong nghiên cứu của Rahbar và Esfahani [11]. Hình 4 trình bày sự so sánh. Có thể thấy kết quả tính toán hiện tại nằm giữa kết quả từ mô hình Dunkle và thực nghiệm. Do đó sự mô phỏng có độ tin cậy và được mở rộng cho các bộ chung cất loại bậc.

3. Kết quả và bàn luận

Phân bố nhiệt độ và thành phần khối lượng hơi nước được trình bày trong các hình 5 và 6. Các giá trị nhiệt độ và thành phần khối lượng ở vùng giữa của các bộ chung cất lần lượt là khoảng $55,5^\circ\text{C}$ và 0,11. Đây là các giá trị trung bình của mặt nước và kính. Điều này cho thấy ít có sự thay đổi nhiệt độ và nồng độ hơi ở giữa bộ chung cất. Tuy nhiên, do hiện tượng ngưng tụ và bay hơi, có sự thay đổi mạnh của nhiệt độ và nồng độ hơi ở mặt nước và kính. Ngoài ra, có 2 chùm nhiệt (thermal plume) và 2 chùm thành phần khối lượng (mass fraction plume) trong bộ chung cất truyền thống (1 bậc). Các bộ chung cất loại bậc có 4 chùm nhiệt và 4 chùm thành phần khối lượng. Các đường đẳng trị vuông góc với các vách đứng do giả sử đoạn nhiệt ở các vách này.



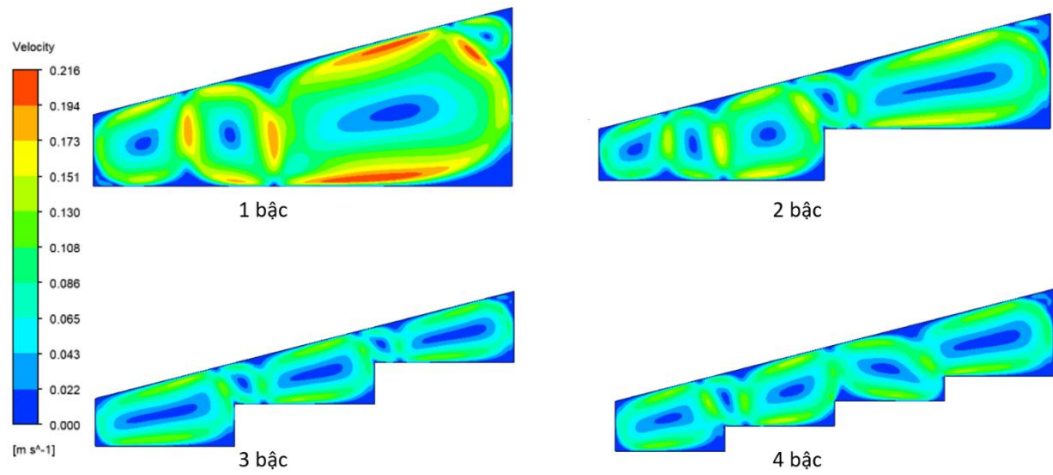
Hình 5. Phân bố nhiệt độ trong buồng bay hơi



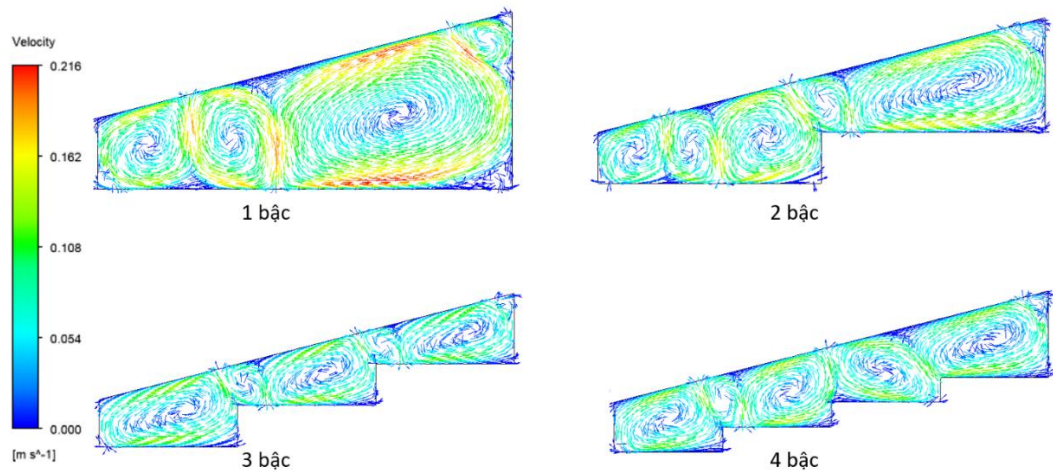
Hình 6. Phân bố thành phần khối lượng hơi nước trong buồng bay hơi

Hình 7 trình bày vận tốc đối lưu tự nhiên trong buồng bay hơi của các bộ chung cất. Vận tốc lớn nhất được quan sát trong bộ truyền thống. Khi tăng số bậc thì vận tốc giảm do giảm không gian. Vận tốc lớn nhất trong bộ truyền thống lên tới 0,22 m/s. Tuy nhiên khi tăng số bậc thì số xoáy sơ cấp (primary vortex) tăng. Ba xoáy trong loại 1 bậc và năm xoáy trong các loại còn lại. Ngoài ra, xoáy thứ cấp (secondary vortex) cường độ lớn xuất hiện ở góc trên bên phải của loại 1 bậc. Đối với loại 2 bậc, bậc 1 có ba xoáy và bậc 2 có hai xoáy. Hai xoáy xuất hiện trong bậc 2 và 3 của loại 3 bậc. Đối với loại 4 bậc, hai xoáy được hình thành trong bậc thứ 2. Số lượng xoáy làm thay đổi đặc tính và nâng cao truyền nhiệt và truyền khối trong bộ chung cất.

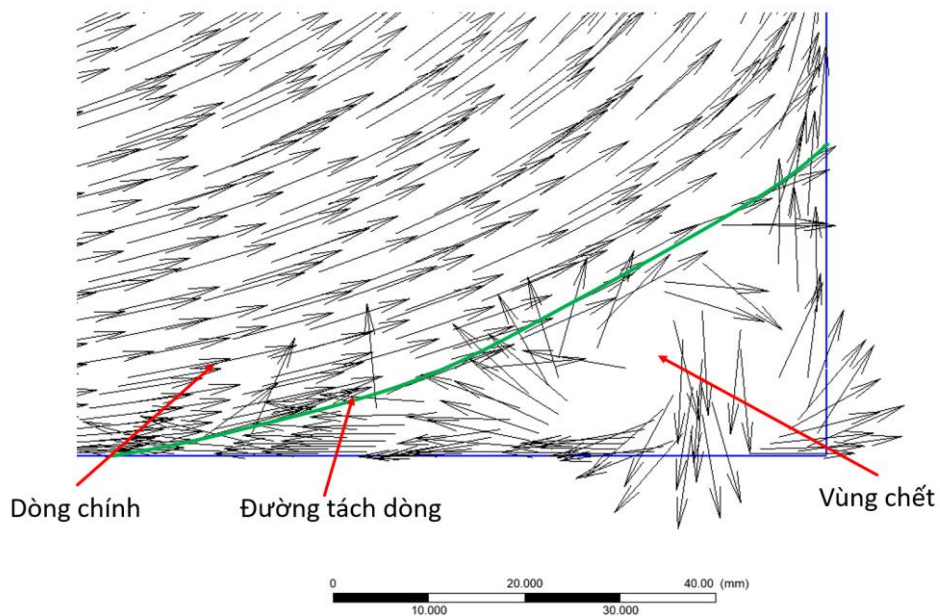
Chiều của các xoáy có thể được xem trong hình 8. Xoáy sơ cấp ngược chiều kim đồng hồ xuất hiện ở vách trái và vách phải của các bộ chung cất. Hai xoáy thứ cấp cùng chiều kim đồng hồ ở vách phải loại 1 bậc có cường độ lớn. Các xoáy này làm giảm diện tích bề mặt bay hơi và ngưng tụ. Hình 9 phóng đại phân bố vận tốc ở góc dưới bên phải của loại 1. Có thể thấy vùng xoáy chết (dead zone) chiếm hơn 40 mm chiều dài mặt nước. Trong vùng này, hơi nước chuyển động rất chậm và không chuyển động ra ngoài.



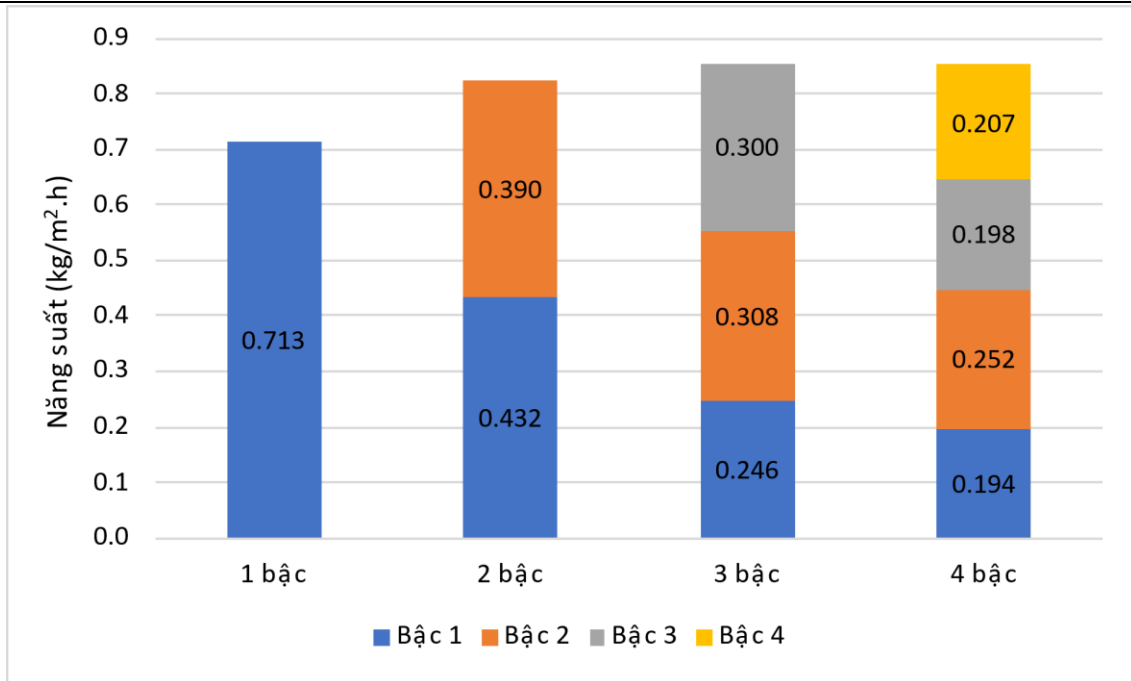
Hình 7. Độ lớn vận tốc đối lưu tự nhiên trong buồng bay hơi



Hình 8. Vector vận tốc đối lưu tự nhiên trong buồng bay hơi



Hình 9. Phóng to góc dưới bên phải của loại 1 bậc



Hình 10. So sánh năng suất của các bộ chưng cất và năng suất của từng bậc trong bộ chưng cất nhiều bậc

Năng suất của các bộ chưng cất được biểu diễn trong hình 10. Năng suất tăng từ 0,713 đến 0,853 kg/m².h khi số bậc tăng từ 1 đến 3 và đạt cực đại ở bộ 3 bậc. Có thể nói năng suất tăng 19,7% ở loại 3 bậc so với loại truyền thống. Sự tăng năng suất của bộ chưng cất dạng bậc cơ bản là do tăng số xoáy từ 3 lên 5. Ở loại 4 bậc, năng suất giảm nhẹ so với loại 3 bậc. Năng suất của loại 4 bậc là 0,852 kg/m².h. Điều này là do khi tăng số bậc thì không gian tự do trong bộ chưng cất giảm làm giảm vận tốc dòng đối lưu. Đóng góp năng suất của từng bậc cũng được thấy trong hình 8. Đối với loại 2 bậc, bậc 1 có năng suất bay hơi cao hơn bậc 2. Điều này là do bậc 1 có ba xoáy và bậc 2 có hai xoáy như chỉ ra trong các hình 6 và 7. Tương tự như vậy, đối loại 3 bậc và 4 bậc, năng suất của các bậc tỷ lệ với số xoáy trong bậc đó. Năng suất bậc 4 cao hơn bậc 3 trong loại 4 bậc là do cường độ xoáy sơ cấp của bậc 4 lớn hơn như thể hiện trong hình 6 và 7.

4. Kết luận

Mô phỏng số hai chiều cho bộ chưng cất dạng bậc được thực hiện trong nghiên cứu này. Kết quả mô phỏng cho bộ chưng cất loại truyền thống được so với các kết quả giải tích và thực nghiệm. Các bộ chưng cất dạng bậc từ 2 đến 4 bậc cùng kích thước với loại truyền thống được mô phỏng và so sánh. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, bộ chưng cất dạng bậc có năm xoáy trong khi loại truyền thống có ba xoáy. Các xoáy chết cường độ lớn ở bề mặt kính và mặt nước (Hình 9) của loại truyền thống làm giảm diện tích truyền nhiệt và truyền khối. Số bậc tối ưu là 3 và năng suất của loại này cao 19,7% so với loại truyền thống. Năng suất bay hơi lớn nhất ở bậc 1 của loại 2 bậc. Năng suất bay hơi lớn nhất ở bậc 2 của loại 3 và 4 bậc. Năng suất bay hơi trong một bậc phụ thuộc số xoáy trong bậc đó.

Lời cảm ơn

Xung đột lợi ích

Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. Q. Vo, C. H. Le, and A. Q. Hoang, "Optimization of mass flow rate ratio of water and air in humidification–dehumidification desalination systems," *Desalination and water treatment*, vol. 246, pp. 82-91, 2022.
- [2] Q. M. Nguyen, S. Jeong, and S. Lee, "Characteristics of membrane foulants at different degrees of SWRO brine concentration by membrane distillation," *Desalination*, vol. 409, pp. 7-20, 2017.
- [3] Q. M. Nguyen and S. Lee, "Fouling analysis and control in a DCMD process for SWRO brine," *Desalination*, vol. 367, pp. 21-27, 2015.

- [4] N. T. Bao, "The mathematical model of basin-type solar distillation systems," *Distillation-Modelling, Simulation and Optimization*, 2019.
- [5] H. Ho, V. Hoang and B. Nguyen, "Thermal analysis of water distillation system using pv/t collector combined single basin still," *VNUHCM Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, no. 4, pp. 1661-1678, 2022.
- [6] S. Ashtiani and F. Hormozi, "Design improvement in a stepped solar still based on entropy generation minimization," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 140, pp. 1095-1106, 2020.
- [7] C. U. Maheswari and R. M. Reddy, "CFD Analysis of different types of single basin solar stills," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 330, no. 1, p. 012097: IOP Publishing.
- [8] S. Rashidi, M. Bovand, N. Rahbar, and J. A. Esfahani, "Steps optimization and productivity enhancement in a nanofluid cascade solar still," *Renewable Energy*, vol. 118, pp. 536-545, 2018.
- [9] M. Keshtkar, M. Eslami, and K. Jafarpur, "Effect of design parameters on performance of passive basin solar stills considering instantaneous ambient conditions: A transient CFD modeling," *Solar Energy*, vol. 201, pp. 884-907, 2020.
- [10] S. S. AlSaleem *et al.*, "Computational Fluid Dynamic Applications for Solar Stills Efficiency Assessment: A Review," *Sustainability*, vol. 14, no. 17, p. 10700, 2022.
- [11] N. Rahbar and J. A. Esfahani, "Productivity estimation of a single-slope solar still: Theoretical and numerical analysis," *Energy*, vol. 49, pp. 289-297, 2013.
- [12] M. Edalatpour, A. Kianifar, and S. Ghiami, "Effect of blade installation on heat transfer and fluid flow within a single slope solar still," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 66, pp. 63-70, 2015.
- [13] N. M. Phu and N. V. Hap, "Numerical Investigation of Natural Convection and Entropy Generation of Water near Density Inversion in a Cavity Having Circular and Elliptical Body," *Computational Overview of Fluid Structure Interaction*, p. 121, 2020.
- [14] S. Chen *et al.*, "A floating solar still inspired by continuous root water intake," *Desalination*, vol. 512, p. 115133, 2021.
- [15] M. Keshtkar, M. Eslami, and K. Jafarpur, "A novel procedure for transient CFD modeling of basin solar stills: Coupling of species and energy equations," *Desalination*, vol. 481, p. 114350, 2020.
- [16] G. Mittal, "An unsteady CFD modelling of a single slope solar still," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 10991-10995, 2021.
- [17] N. Rahbar, A. Asadi, and E. F. Bafghi, "Performance evaluation of two solar stills of different geometries: tubular versus triangular: experimental study, numerical simulation, and second law analysis," *Desalination*, vol. 443, pp. 44-55, 2018.




Huynh Van Nam obtained his B.E. in 2002 from Nha Trang Fisheries University and his M.E. in 2012 from Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam. He is a lecturer at the Ho Chi Minh City University of Food Industry, Vietnam. His research interests include machine manufacturing technology, CNC technology, and CFD. Email: namhv@hufi.edu.vn



Dang Van Hai obtained his B.E. in 2003 from Ho Chi Minh City Polytechnic University and his M.E. in 2012 from Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam. He is a lecturer at the Ho Chi Minh City University of Food Industry, Vietnam. His research interest include machine manufacturing technology, drying technology, design of experiments, and numerical simulation. Email: haidv@hufi.edu.vn



Nguyen Minh Phu is an Associate Professor at the Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam. He obtained his B.E. in 2006 and M.E. in 2009 from Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM, Vietnam, and his Ph.D. in 2012 from the University of Ulsan, Korea. He was an exchange visitor in the Arizona State University at Tempe during the summer of 2014. His research interests include the design of thermal systems, applied renewable energy, and computational fluid dynamics. Email: nguyenminhphu@iuh.edu.vn. ORCID:  <https://orcid.org/0000-0002-7594-1708>