



DOI:10.22144/ctu.jos.2026.229

# KIỂM ĐỊNH SỰ PHÙ HỢP CỦA KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM TRÊN CƠ SỞ MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC TRONG QUÁ TRÌNH SẤY THỊT VỊT BẰNG KHÔNG KHÍ NÓNG

Nguyễn Hồng Xuân<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Xuân Hồng<sup>1</sup> và Nguyễn Trọng Ngử<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Khoa Công nghệ Sinh Hóa - Thực phẩm, Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ, Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Chăn nuôi, Trường Nông Nghiệp, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nhxuan@ctu.edu.vn

## Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 16/11/2025

Sửa bài (Revised): 13/12/2025

Duyệt đăng (Accepted): 23/09/2026

**Title:** Validation of experimental results based on kinetic models in the hot air drying of duck meat

**Author(s):** Nguyen Hong Xuan<sup>1,\*</sup>,  
Nguyen Xuan Hong<sup>1</sup> and Nguyen Trong Ngu<sup>2</sup>

**Affiliation(s):** <sup>1</sup>Faculty of Biochemical and Food Technology, Can Tho University of Technology, Viet Nam;

<sup>2</sup>Faculty of Animal Sciences, College of Agriculture, Can Tho University, Viet Nam

## TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu đánh giá sự phù hợp của các mô hình động học áp dụng đối với quá trình sấy nhiệt thịt vịt ở các mức nhiệt độ 70, 80, 90 và 100°C trong thời gian 1, 2, 3, 4 và 5 giờ, mô hình Lewis, Page, Henderson - Pabis, và Logarit lần lượt được khảo sát trên dữ liệu thực nghiệm. Kết quả cho thấy tỷ lệ ẩm của thịt vịt giảm nhanh trong 1 giờ đầu, sau đó tiến dần đến trạng thái cân bằng sau 4 và 5 giờ sấy ở cả bốn mức nhiệt độ (°C). Mô hình Logarit thể hiện sự phù hợp cao nhất với dữ liệu thực nghiệm, với  $R^2 > 0,999$  và RMSE thấp nhất ( $<0,0008$ ). Các đường hồi quy giữa dữ liệu dự đoán và dữ liệu thực nghiệm gần như trùng khớp, chứng tỏ mô hình Logarit có độ tin cậy cao trong mô phỏng động học sấy thịt vịt và phù hợp nhất với các dữ liệu thực nghiệm trong bốn mô hình thử nghiệm. Điều kiện thích hợp được xác định là 90°C trong 4 giờ, đảm bảo tốc độ sấy nhanh và trạng thái cân bằng ẩm. Kết quả này cung cấp cơ sở khoa học để áp dụng mô hình động học vào tối ưu hóa công nghệ sấy thịt gia cầm.

**Từ khóa:** Kiểm định, mô hình động học, sấy nhiệt, thịt vịt, tỷ lệ ẩm

## ABSTRACT

To evaluate the applicability of kinetic models to the hot-air drying process of duck meat at four temperatures (70, 80, 90, and 100°C) over drying times of 1, 2, 3, 4, and 5 hours, Lewis, Page, Henderson - Pabis, and Logarithmic models were fitted to the experimental data. The results showed that the moisture ratio of duck meat decreased rapidly during the first hour of drying, and subsequently approached equilibrium after 4-5 hours at all temperature levels (°C). Among the tested models, the Logarithmic model provided the best fit to the experimental data, with  $R^2$  values exceeding 0.999 and the lowest RMSE ( $<0.0008$ ). The regression lines between predicted and experimental MR values were nearly superimposed, indicating the high reliability of the Logarithmic model in describing the drying kinetics of duck meat and its superior performance compared to the other three models. The optimal drying condition was identified as 90°C for 4 hours, which ensured a high drying rate and moisture equilibrium. These findings provide a scientific foundation for the application of kinetic models in optimizing poultry meat drying processes.

**Keywords:** Duck meat, hot air drying, kinetic model, moisture ratio, validation

## 1. GIỚI THIỆU

Thịt vịt là nguồn protein được tiêu thụ rộng rãi, đặc biệt tại các quốc gia châu Á như Việt Nam và Trung Quốc, nhờ giá trị dinh dưỡng và hương vị đặc trưng. So với thịt gà, thịt vịt chứa hàm lượng mỡ nội cơ cao hơn, giàu sắt và các acid amin thiết yếu, do đó có giá trị cả về dinh dưỡng lẫn cảm quan (Zhang et al., 2015; FAO, 2021). Tuy nhiên, hàm lượng ẩm và chất béo cao khiến thịt vịt dễ bị hư hỏng vi sinh và oxy hóa trong quá trình bảo quản (Jayasena & Jo, 2013). Để kéo dài thời gian bảo quản đồng thời duy trì cấu trúc và đặc tính cảm quan mong muốn, sấy được xem là một phương pháp bảo quản phù hợp.

Sấy là phương pháp bảo quản thực phẩm lâu đời, hoạt động chủ yếu thông qua cơ chế giảm hoạt tính nước và ức chế vi sinh vật (Fellows, 2009). Mặc dù vậy, quá trình sấy được tiến hành ở nhiệt độ cao, đặc biệt đối với sản phẩm thịt, có thể gây biến đổi cấu trúc, oxy hóa lipid và protein, ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm (Demiray et al., 2025). Do đó, việc xây dựng và kiểm định mô hình động học nhằm dự đoán sự thay đổi tỷ lệ ẩm trong suốt quá trình sấy là cần thiết để tối ưu hóa điều kiện công nghệ.

Các mô hình động học sấy thường được ứng dụng để mô tả mối quan hệ giữa tỷ lệ ẩm và thời gian sấy, trong đó các mô hình phổ biến gồm Lewis, Page, Henderson - Pabis và Logarit (Akpınar, 2010). Các mô hình này đã được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu động học sấy các sản phẩm thực phẩm, đặc biệt là thịt và cá; chẳng hạn, Elshehawey and Mosad (2022) và Demiray et al. (2025) ghi nhận mô hình Logarit cho độ phù hợp cao khi sấy cá và ức gà, trong khi Elmas et al. (2020) cũng cho thấy các mô hình Page và Logarit mô tả hiệu quả quá trình sấy thịt gia cầm. Tuy nhiên, các nghiên cứu về động học sấy đối với thịt vịt còn hạn chế, cho thấy sự cần thiết của nghiên cứu này. Phân tích động học là một công cụ quan trọng nhằm mô tả cơ chế truyền khối xảy ra trong quá trình sấy (Giri & Prasad, 2007). Mô hình động học sấy không chỉ cung cấp cơ sở khoa học cho thiết kế và phát triển thiết bị, mà còn góp phần tối ưu hóa quy trình công nghệ cũng như nâng cao chất lượng sản phẩm cuối cùng (Giri & Prasad, 2007). Các mô hình Lewis và Henderson - Pabis thường được sử dụng như các mô hình nền trong nghiên cứu động học sấy lớp mỏng, trong khi các mô hình Page và Logarit được xem là dạng mở rộng nhằm cải thiện khả năng mô tả giai đoạn giảm tốc của quá trình sấy. Kết quả một số nghiên cứu gần đây ghi nhận mức độ phù hợp cao của các mô hình phi tuyến trong những điều kiện và nguyên liệu cụ thể (Elshehawey & Mosad, 2022; Demiray et al.,

2025). Tuy nhiên, do mỗi mô hình dựa trên những giả định khác nhau, việc lựa chọn mô hình phù hợp cần được thực hiện thông qua so sánh định lượng trên cùng bộ dữ liệu thực nghiệm.

Mục tiêu của nghiên cứu nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian sấy đến sự biến đổi tỷ lệ ẩm của thịt vịt từ dữ liệu thực nghiệm thông qua việc kiểm định và so sánh mức độ phù hợp của các mô hình động học. Qua đó, đề xuất được đưa ra về điều kiện sấy thích hợp nhất đối với thịt vịt.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Chuẩn bị mẫu và bố trí thí nghiệm

Thịt ức vịt được cung cấp từ Công ty Trách nhiệm hữu hạn Thực phẩm Hương vị Việt, Việt Nam. Thịt tươi được trữ mát ở 4°C và sử dụng trong ngày. Thịt ức được rửa sạch và cắt lát dày 15 mm dọc theo thớ thịt rồi phối trộn đều với các loại gia vị (với hàm lượng tính trên khối lượng thịt vịt) gồm có 4% bột tỏi, 0,5% bột tiêu, 1% muối, 0,2% bột ớt, 0,5% bột sả, 0,25% bột ngũ vị hương và 50% nước lọc (Nguyễn et al., 2025). Các loại gia vị được cung cấp bởi Công ty TNHH Oro, Việt Nam (đường); Công ty Visaco, Việt Nam (muối); Công ty Vianco, Việt Nam (bột tỏi, bột tiêu, bột ớt, bột sả, bột ngũ vị hương). Sau đó, hỗn hợp (với tổng khối lượng mỗi lần nấu là 500 g) được gia nhiệt (bằng cách đun trong nồi (có đáy nắp) trên bếp điện từ (Sunhouse - Việt Nam) ở nhiệt độ 120°C trong 30 phút. Thịt vịt sau gia nhiệt được xé sợi có kích thước (dày x dài) là 2 mm x chiều dài của thớ thịt ức vịt (khoảng 3 - 4 cm), lần lượt được sấy ở bốn mức nhiệt độ là 70, 80, 90 và 100°C trong năm mức thời gian 1, 2, 3, 4 và 5 giờ. Loại thiết bị sấy được sử dụng là tủ sấy (MSD100-160, Mactech Việt Nam). Độ ẩm của mẫu được xác định tại các mốc thời gian sấy (mỗi 1 giờ) bằng máy sấy ẩm nhanh để bàn (KERN DBS 60-3, Kern & Sohn GmbH, Balingen-Frommern, Đức). Thí nghiệm được lặp lại ba lần với số liệu trình bày là giá trị trung bình.

### 2.2. Mô hình hóa động học

Tỷ lệ ẩm, MR (moisture ratio) của thịt vịt trong quá trình sấy nhiệt được tính theo công thức (1):

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1) \text{ (Akpınar, 2010)}$$

Với MR là tỷ lệ ẩm (không có đơn vị),  $M_0$  là hàm lượng ẩm ban đầu (kg nước/kg chất khô),  $M_t$  là hàm lượng ẩm tại thời điểm t (kg nước/kg chất khô),  $M_e$  là hàm lượng ẩm khi cân bằng, t là thời gian sấy. Giá trị MR được đơn giản hóa thành công thức (2) vì giá sử hàm lượng ẩm ở bề mặt của sợi thịt tương đương

với hàm lượng ẩm cân bằng bên trong sợi thịt cũng như việc thoát ẩm từ bề mặt thịt xảy ra trong suốt quá trình sấy. Khi đó, giá trị  $M_e$  bằng không.

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (2) \quad (\text{Thakor et al., 1999})$$

Trong quá trình kiểm định nhằm chọn ra mô hình thích hợp nhất để mô tả đường cong sấy nhiệt của các mẫu thịt vịt, các mô hình sấy phổ biến (Bảng 1) đã được áp dụng. Trong đó, hằng số tốc độ sấy và các hệ số của mô hình được xác định bằng phương pháp phân tích hồi quy phi tuyến tính (Thorat et al., 2012). Mô hình mô tả đường cong sấy thích hợp nhất được chọn dựa trên hệ số xác định ( $R^2$ ), bình phương trung bình của độ lệch giữa giá trị thực nghiệm và giá trị tính toán ( $\chi^2$ ), giá trị căn của sai số bình phương trung bình (RMSE). Mức độ phù hợp của các mô hình được đánh giá thông qua hệ số xác định ( $R^2$ ) (công thức 3), giá trị  $\chi^2$  (công thức 4) và RMSE (công thức 5). Trong đó,  $R^2$  được xác định theo định nghĩa thống kê chuẩn của phân tích hồi quy (Montgomery et al., 2012), còn  $\chi^2$  và RMSE được tính theo Gunhan et al. (2005), Akpınar (2010) và Zarein et al. (2015). Mô hình có giá trị  $R^2$  cao và

giá trị  $\chi^2$ , RMSE thấp được xem là phù hợp hơn với dữ liệu thực nghiệm.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - \overline{MR}_{exp})^2} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (4)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Trong các công thức, các kí hiệu sau đây được sử dụng là  $MR_{exp}$  (tỷ lệ ẩm thực nghiệm),  $\overline{MR}_{exp}$  (giá trị trung bình của tỷ lệ ẩm thực nghiệm),  $MR_{pre}$  (tỷ lệ ẩm dự đoán),  $N$  (số điểm dữ liệu thực nghiệm) và  $z$  (số tham số trong mô hình).

### 2.3. Phương pháp phân tích số liệu

Số liệu thu nhận được và các mô hình sấy sử dụng trong kiểm định (Bảng 1) được phân tích thống kê qua phần mềm Minitab 18 (Minitab, USA) để chọn ra mô hình thích hợp nhất mô tả đường cong sấy các mẫu thịt vịt. Mỗi thí nghiệm thực của thí nghiệm được bố trí với số lần lặp lại là ba.

**Bảng 1. Mô hình đường cong sấy**

| Tên mô hình       | Công thức              | Nguồn                      |
|-------------------|------------------------|----------------------------|
| Lewis             | $MR = \exp(-kt)$       | Bruce (1985)               |
| Page              | $MR = \exp(-kt^n)$     | Page (1949)                |
| Henderson - Pabis | $MR = a \exp(-kt)$     | Henderson and Pabis (1961) |
| Logarit           | $MR = a \exp(-kt) + c$ | Toğrul and Pehlivan (2002) |

Ghi chú:  $k$  là hằng số tốc độ sấy;  $n, a, c$  là các hệ số của mô hình.

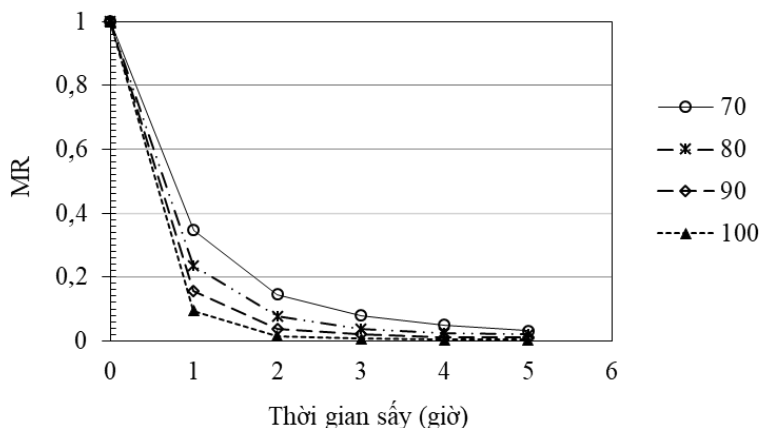
## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian sấy đến sự biến thiên của tỷ lệ ẩm (MR)

Qua kết quả Hình 1, tỷ lệ ẩm của thịt vịt giảm mạnh trong 1 giờ đầu sấy ở tất cả các mức nhiệt độ. Sau đó, tốc độ giảm chậm dần và tiến gần đến trạng thái cân bằng ẩm với giá trị MR là 0,003 sau khoảng 4 - 5 giờ. Đây là đặc trưng của giai đoạn giảm tốc trong quá trình sấy lớp mỏng (Erbay & Icier, 2010). Ở mức nhiệt cao hơn (90 và 100°C), MR giảm nhanh hơn đáng kể so với 70 và 80°C, cho thấy nhiệt độ càng cao thì chênh lệch áp suất hơi giữa bề mặt và khí sấy càng lớn, từ đó làm tăng tốc độ thoát ẩm. Xu hướng này tương đồng với kết quả nghiên cứu của Demiray et al. (2025) trên ức gà, trong đó thời gian đạt trạng thái cân bằng ẩm rút ngắn đáng kể khi nhiệt độ sấy tăng. Trong nghiên cứu này, mẫu sấy ở 70 và 80°C đạt trạng thái cân bằng ẩm ( $MR \approx 0$ ) sau 5 giờ, trong khi ở 90 và 100°C, thời gian này giảm xuống còn 4 giờ, cho thấy sự gia tăng nhiệt độ làm rút ngắn thời

gian đạt độ ẩm cân bằng, nhưng đồng thời tiềm ẩn nguy cơ ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm khi sấy ở nhiệt độ cao. Bên cạnh đó, kết quả nghiên cứu của Muga et al. (2020) trên thịt bò sấy lớp mỏng cũng cho thấy tốc độ sấy tăng nhanh khi nâng nhiệt với mức độ phù hợp cao nhất khi áp dụng mô hình Page và Logarithmic để mô tả dữ liệu MR theo thời gian sấy.

Qua kết quả thí nghiệm, điều kiện sấy ở 100°C giúp rút ngắn đáng kể thời gian để đạt MR thấp. Tuy nhiên, nhằm hạn chế các tác động bất lợi tiềm ẩn của nhiệt độ cao lên chất lượng cảm quan và hóa học của sản phẩm, trong phạm vi đánh giá động học sấy của nghiên cứu này, điều kiện sấy ở 90°C trong 4 giờ được xem là một điều kiện đề xuất có tính định hướng, đáp ứng hiệu quả khử ẩm và khả năng vận hành ổn định. Việc lựa chọn điều kiện sấy tối ưu một cách đầy đủ cần được xem xét thêm thông qua các nghiên cứu tiếp theo, trong đó đánh giá đồng thời ảnh hưởng tương tác giữa nhiệt độ và thời gian sấy đến các chỉ tiêu chất lượng cụ thể của sản phẩm.



Hình 1. Tỷ lệ ẩm theo thời gian sấy thịt vịt ở các nhiệt độ

### 3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian sấy đến sự phù hợp của các mô hình với dữ liệu sấy thực nghiệm

Kết quả Bảng 2 cho thấy hằng số tốc độ sấy  $k$  tăng dần khi nhiệt độ sấy tăng từ 70 đến 100°C ở tất cả các mô hình, phản ánh sự gia tăng tốc độ thoát ẩm và rút ngắn thời gian sấy do chênh lệch áp suất hơi nước lớn hơn giữa bề mặt mẫu và môi trường sấy, phù hợp với cơ chế truyền khối trong quá trình sấy nhiệt (Akpınar, 2010). Bên cạnh đó, các tham số đặc trưng của mô hình cũng thể hiện xu hướng biến thiên nhất quán theo điều kiện sấy. Đối với mô hình Henderson-Pabis và Logarit, hệ số  $a$  tăng dần khi nhiệt độ sấy tăng từ 70 đến 100°C, cho thấy ảnh hưởng của cấu trúc vật liệu đến quá trình truyền ẩm giảm dần khi tốc độ khuếch tán ẩm tăng ở nhiệt độ cao. Xu hướng này phản ánh hiện tượng cấu trúc sợi thịt trở nên xốp hơn do biến tính protein và co rút mô khi gia nhiệt, từ đó làm giảm lực cản khuếch tán ẩm bên trong mẫu. Trong mô hình Page, tham số  $n$  dao động trong khoảng hẹp (0,723366 - 0,775373) và không thay đổi đáng kể theo nhiệt độ, cho thấy hình dạng phi tuyến của đường cong sấy chủ yếu phụ thuộc vào đặc tính vật liệu hơn là điều kiện nhiệt độ, tương tự các kết luận đã được ghi nhận trên thịt gia cầm và cá sấy lớp mỏng (Elmas et al., 2020; Elshehawey & Mosad, 2022). Đối với mô hình Logarit, hệ số  $c$  giảm dần khi nhiệt độ tăng, phản ánh sự suy giảm lượng ẩm dư khi mẫu tiến gần trạng thái cân bằng ở điều kiện sấy ở nhiệt độ cao nhất trong các mức nhiệt độ được khảo sát. Kết quả này phù hợp với cơ chế truyền khối trong giai đoạn giảm tốc của quá trình sấy, khi gradient ẩm giảm nhanh hơn ở nhiệt độ cao (Erbay & Icier, 2010; Akpınar, 2010). Xu hướng biến thiên đồng thời của các tham số  $a$ ,  $n$  và  $c$  theo nhiệt độ cho thấy động học sấy thịt

vịt chịu ảnh hưởng tổng hợp của điều kiện công nghệ và đặc tính cấu trúc của nguyên liệu.

Bốn mô hình Lewis, Page, Henderson - Pabis, và Logarit đều mô tả tốt mối quan hệ giữa tỷ lệ ẩm thực nghiệm và dự đoán trong quá trình sấy thịt vịt ở các mức nhiệt độ từ 70 đến 100°C, với giá trị  $R^2$  đều trên 0,99. Tuy nhiên, khi xem xét cụ thể các chỉ số thống kê trong Bảng 2, mô hình Logarit cho thấy mức độ phù hợp cao nhất với dữ liệu thực nghiệm. Cụ thể, tại các mức nhiệt độ từ 70 đến 100°C, mô hình Logarit có hệ số xác định  $R^2$  cao nhất (0,999221 (70°C) và 0,999807 (100°C)), đồng thời cho giá trị RMSE thấp nhất (0,0104146 (70°C) và 0,0055575 (100°C)) và  $\chi^2$  nhỏ hơn so với các mô hình còn lại. Điều này cho thấy mô hình Logarit mô tả chính xác hơn sự biến đổi tỷ lệ ẩm của thịt vịt trong suốt quá trình sấy. Elmas et al. (2020) cũng đưa ra kết luận rằng các mô hình phi tuyến như Page và Logarit thường cho độ phù hợp cao hơn so với các mô hình tuyến tính đơn giản. Buzrul (2022) cũng nhận định mô hình Logarit có độ phù hợp cao khi được áp dụng trong sấy sản phẩm có cấu trúc phức tạp như thịt hoặc cá. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu trên ức gà của Demiray et al. (2025) cũng chỉ ra rằng mô hình Logarit có giá trị  $R^2$  cao hơn 0,998 và RMSE nhỏ nhất khi so sánh với Page, Newton và Henderson - Pabis.

Vì vậy, kết quả phân tích cho thấy trong bốn mô hình khảo sát, mô hình Logarit là phù hợp nhất để dự đoán tỷ lệ ẩm (MR) trong quá trình sấy thịt vịt trong bốn mức nhiệt 70, 80, 90 và 100°C, vừa đảm bảo độ chính xác dự báo, vừa thuận lợi khi áp dụng vào mô phỏng động học sấy nhằm tối ưu hóa điều kiện công nghệ.

**Bảng 2. Sự phù hợp của mô hình sấy với dữ liệu thực nghiệm**

| Mô hình           | Nhiệt độ sấy (°C) | Các hệ số của mô hình |          |          |           | R <sup>2</sup> | $\chi^2$  | RMSE      |
|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
|                   |                   | a                     | n        | k        | c         |                |           |           |
| Lewis             | 70                | -                     | -        | 0,993104 | -         | 0,995109       | 0,0006007 | 0,0245089 |
|                   | 80                | -                     | -        | 1,40011  | -         | 0,997050       | 0,0003848 | 0,0196159 |
|                   | 90                | -                     | -        | 1,82144  | -         | 0,998935       | 0,000145  | 0,0120432 |
|                   | 100               | -                     | -        | 2,35706  | -         | 0,999696       | 0,0000429 | 0,0065522 |
| Page              | 70                | -                     | 0,774306 | 1,08141  | -         | 0,999338       | 0,0001063 | 0,0103085 |
|                   | 80                | -                     | 0,723366 | 1,47410  | -         | 0,999355       | 0,0001101 | 0,0104909 |
|                   | 90                | -                     | 0,728978 | 1,86535  | -         | 0,999712       | 0,0000512 | 0,0071565 |
|                   | 100               | -                     | 0,775373 | 2,37414  | -         | 0,999951       | 0,0000091 | 0,0030112 |
| Henderson - Pabis | 70                | 0,993635              | -        | 0,987801 | -         | 0,995168       | 0,0006306 | 0,0251115 |
|                   | 80                | 0,997976              | -        | 1,39818  | -         | 0,997056       | 0,0004081 | 0,0202006 |
|                   | 90                | 0,999532              | -        | 1,82098  | -         | 0,998935       | 0,0001541 | 0,0124122 |
|                   | 100               | 0,999936              | -        | 2,35699  | -         | 0,999696       | 0,0000456 | 0,0067538 |
| Logarit           | 70                | 0,960922              | -        | 1,12435  | 0,0380193 | 0,999221       | 0,0001085 | 0,0104146 |
|                   | 80                | 0,974550              | -        | 1,53176  | 0,0250852 | 0,999426       | 0,0000848 | 0,0092085 |
|                   | 90                | 0,986187              | -        | 1,92470  | 0,0137300 | 0,999732       | 0,0000413 | 0,0064266 |
|                   | 100               | 0,995008              | -        | 2,41631  | 0,0049750 | 0,999807       | 0,0000309 | 0,0055575 |

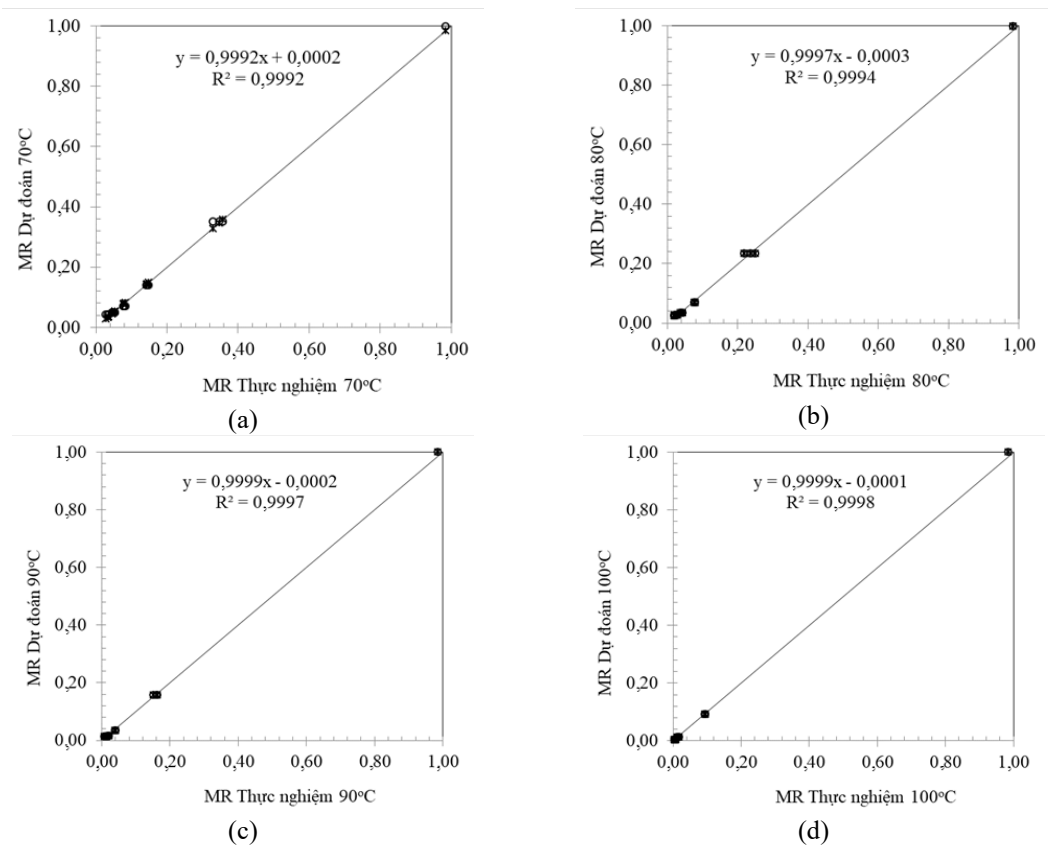
### 3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian sấy đến độ tương thích giữa dữ liệu thực nghiệm và dữ liệu dự đoán

Kết quả Hình 2 cho thấy dữ liệu dự đoán theo mô hình Logarit có mức độ tương thích rất cao với dữ liệu thực nghiệm tại tất cả các mức nhiệt độ khảo sát, thể hiện qua mối quan hệ tuyến tính gần như trùng khớp giữa giá trị dự đoán và giá trị thực nghiệm. Các phương trình hồi quy với hệ số xác định R<sup>2</sup> cao (trình bày trong Bảng 2) cho thấy mô hình Logarit mô tả ổn định quá trình sấy thịt vệt trong khoảng nhiệt độ từ 70 đến 100°C. Điều này chứng tỏ mô hình Logarit có khả năng mô phỏng chính xác quá trình biến đổi ẩm của mẫu trong suốt thời gian sấy từ 1 đến 5 giờ ở các mức nhiệt độ khi R<sup>2</sup> đều vượt trên 0,999, khẳng định tính ổn định và đáng tin cậy của mô hình trong toàn bộ dải nhiệt độ khảo sát.

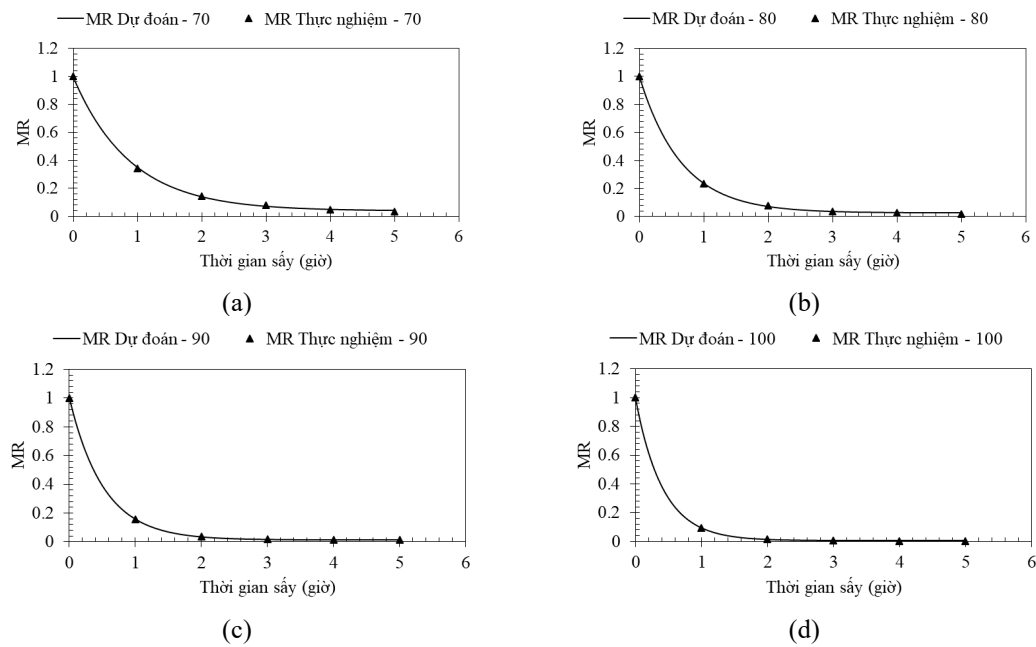
Kết quả nghiên cứu phù hợp với các nghiên cứu gần đây trên nguyên liệu thịt, trong đó các mô hình phi tuyến như Page và Logarit thường cho mức độ phù hợp cao khi mô tả động học sấy các sản phẩm giàu protein và có cấu trúc phức tạp, chẳng hạn như thịt gia cầm hoặc cá (Elshehawy & Mosad, 2022; Demiray et al., 2025). Demiray et al. (2025) khi khảo sát sấy ức gà bằng không khí nóng cũng cho thấy hệ số xác định R<sup>2</sup> trên 0,998 và RMSE nhỏ nhất đối với mô hình Logarit so với các mô hình truyền thống như Newton, Page và Henderson - Pabis.

Ngoài ra, khả năng phỏng đoán độ ẩm của thịt vệt ở các mức nhiệt độ trong thời gian sấy từ 1 đến 5 giờ sấy (Hình 3) còn cho thấy đường cong phỏng đoán của Logarit gần như gần như trùng khớp với dữ liệu thực nghiệm trong toàn bộ quá trình sấy thịt vệt. Điều này chứng minh khả năng dự báo chính xác sự thay đổi tỷ lệ ẩm (MR) theo thời gian sấy. Qua đó, phản ánh tính phù hợp của mô hình Logarit trong việc mô phỏng động học sấy thịt.

Theo Elmas et al. (2020), mô hình Logarit thường thể hiện độ chính xác cao nhất trong việc mô tả giai đoạn giảm tốc của quá trình sấy thực phẩm giàu protein. Tương tự, kết quả nghiên cứu của Ikrang et al. (2014) về sấy thịt cá muối phi lê cũng chỉ ra rằng mô hình Logarit có hệ số xác định R<sup>2</sup> > 0,995, cao hơn các mô hình phổ biến khác như Newton hay Henderson - Pabis. Kết quả của nghiên cứu này một lần nữa củng cố bằng chứng rằng mô hình Logarit là lựa chọn phù hợp để mô phỏng quá trình sấy ở nhiệt độ cao cho sản phẩm thịt vệt. Trong phạm vi đánh giá động học sấy và mức độ phù hợp của mô hình, mặc dù ở 100°C tốc độ giảm MR nhanh hơn, mô hình Logarit vẫn thể hiện độ phù hợp cao tương đương (R<sup>2</sup> > 0,999) tại 90°C trong thời gian 4 giờ. Kết quả này cho thấy mô hình Logarit có khả năng mô phỏng ổn định quá trình sấy thịt vệt trong dải nhiệt độ khảo sát. Do đó, điều kiện sấy 90°C trong 4 giờ được sử dụng như một điều kiện đại diện nhằm minh họa khả năng dự đoán của mô hình.



Hình 2. Mức tương thích giữa dữ liệu thực nghiệm và dữ liệu dự đoán theo mô hình logarit có nhiệt độ sấy là 70, 80, 90 và 100°C



Hình 3. Đồ thị mô phỏng dữ liệu thực nghiệm và dữ liệu dự đoán theo mô hình Logarit có nhiệt độ sấy là (a)-70 °C, (b)-80 °C, (c)-90 °C và (d)-100°C

Do đó, có thể khẳng định rằng mô hình Logarit phù hợp để dự đoán động học sấy thịt vịt ở bốn mức nhiệt độ được nghiên cứu. Điều này góp phần quan trọng trong việc dự báo và tối ưu hóa điều kiện công nghệ sấy nhiệt độ cao cho sản phẩm thịt gia cầm.

#### 4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu thu nhận được cho thấy tỷ lệ ẩm (MR) của thịt vịt giảm nhanh trong giai đoạn đầu và đạt trạng thái cân bằng trong khoảng từ 4 đến 5 giờ sấy. Mô hình Logarit thể hiện sự phù hợp cao nhất trong bốn mô hình khảo sát với dữ liệu thực nghiệm, với  $R^2$  dao động từ 0,9992 đến 0,9998 và RMSE bé hơn 0,0008, vượt trội hơn so với các mô hình Lewis, Page và Henderson - Pabis. Qua phân tích động học sấy, điều kiện sấy ở 90°C trong 4 giờ cho thấy mô hình Logarit đạt độ phù hợp cao và ổn

định, đồng thời mô tả tốt quá trình tiến tới trạng thái cân bằng ẩm. Do đó, điều kiện này được sử dụng như một điều kiện đại diện trong phạm vi nghiên cứu nhằm minh họa khả năng mô phỏng của mô hình động học. Kết quả này không chỉ có ý nghĩa thực tiễn trong việc thiết kế và vận hành công nghệ sấy thịt vịt mà còn góp phần mở rộng cơ sở dữ liệu ứng dụng mô hình Logarit cho các sản phẩm thịt gia cầm nói chung.

#### LỜI CẢM ƠN

Đề tài này được tài trợ bởi Dự án Hợp tác Kỹ thuật của Cơ quan Hợp tác Quốc tế Nhật Bản (JICA). Nghiên cứu này cũng nhận được sự hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ, Việt Nam (Mã số: DTCS 2024-18).

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Akpınar, E. K. (2010). Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: Modelling, performance analyses. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2407-2418. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.05.005>
- Bruce, D. M. (1985). Exposed-layer barley drying: three models fitted to new data up to 150 °C. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(4), 337-348. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90098-8](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90098-8)
- Buzrul, S. (2022). Reassessment of thin-layer drying models for foods: a critical short communication. *Processes*, 10(1), 118. <https://doi.org/10.3390/pr10010118>
- Demiray, E., Özünlü, O., Ergezer, H., & Gökçe, R. (2025). Influence of hot-air drying on drying kinetics and some quality parameters of sliced chicken breast meat. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 150, 13231-13241. <https://doi.org/10.1007/s10973-025-14450-y>
- Elmas, F., Bodruk, A., Köprüalan, Ö., Arıkaya, Ş., Koca, N., Serdaroğlu, F. M., & Koç, M. (2020). Drying kinetics behavior of turkey breast meat in different drying methods. *Journal of Food Process Engineering*, 43(10), e13487. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13487>
- Elshehawy, S. M., & Mosad, G. A. (2022). Mathematical modeling of tilapia fish fillets dried in thin layer. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 13(11), 359-364. <https://doi.org/10.21608/jssae.2022.166673.1108>
- Erbay, Z., & Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 441-464. <https://doi.org/10.1080/10408390802437063>
- FAO. (2021). *Meat market review: Emerging trends and outlook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fellows, P. J. (2009). *Food processing technology: Principles and practice* (3rd ed.). Woodhead Publishing.
- Giri, S. K., & Prasad, S. (2007). Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 78(2), 512-521. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.10.021>
- Gunhan, T., Demir, V., Hancioglu, E., & Hepbasli, A. (2005). Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*, 46(11-12), 1667-1679. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.10.001>
- Henderson, S. M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7, 85-89.
- Ikrang, E. G., Okoko, J. U., Obot, M. S., & Akubuo, C. O. (2014). Modeling of thin layer drying kinetics of salted fish fillets (Tilapia zilli) in a direct passive solar dryer. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8, 16-24. <https://doi.org/10.9790/2402-08141624>
- Jayasena, D. D., & Jo, C. (2013). Duck meat – production, consumption, and utilization. *World's Poultry Science Journal*, 69(4), 763-774. <https://doi.org/10.1017/S0043933913000788>

- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (5th ed.). John Wiley & Sons.  
<https://doi.org/10.1007/s42853-020-00076-5>
- Muga, F. C., Workneh, T. S., & Marennya, M. O. (2020). Modelling the thin-layer drying of beef biltong processed using hot air drying. *Journal of Biosystems Engineering*, 45(4), 362-373.
- Page, G. E. (1949). *Factors influencing the maximum rates of air-drying shelled corn in thin layers* (master's thesis). Purdue University.
- Thakor, N. J., Sokhansanj, S., Sosulski, F. W., & Yannacopoulos, S. (1999). Mass and dimensional changes of single canola kernels during drying. *Journal of Food Engineering*, 40(3), 153-160. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00042-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00042-4)
- Thorat, I. D., Mohapatra, D., Sutar, R. F., Kapdi, S. S., & Jagtap, D. D. (2012). Mathematical modeling and experimental study on thin-layer vacuum drying of ginger (*Zingiber officinale* R.) slices. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), 1379-1383.  
<https://doi.org/10.1007/s11947-010-0429-y>
- Toğrul, İ. T., & Pehlivan, D. (2002). Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers. *Journal of Food Engineering*, 55(3), 209-216.  
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00065-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00065-1)
- Nguyễn, X. H., Nguyễn, D. T. K., Trần, L. B., & Nguyễn, N. T. (2025). Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian sấy bằng phương pháp sấy nhiệt đến chất lượng sản phẩm thịt vịt tẩm gia vị sấy giòn. *Tạp chí Nông nghiệp và Môi trường*, 8, 93-101.
- Zarein, M., Samadi, S. H., & Ghobadian, B. (2015). Investigation of microwave dryer effect on energy efficiency during drying of apple slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 41-47.  
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.06.002>
- Zhang, W., Xiao, S., Samaraweera, H., Lee, E. J., & Ahn, D. U. (2015). Improving functional value of meat products. *Meat Science*, 109, 193-200.  
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.002>