

# NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ THÍCH HỢP CHO CÁ BA SA SẤY DẸO BẰNG BƠM NHIỆT HỖ TRỢ HỒNG NGOẠI RESEARCH TO DETERMINE SUITABLE PARAMETERS FOR DRIED BASA FISH USING INFRARED SUPPORTED HEAT PUMP

**Lê Như Chính, Khổng Trung Thắng**

Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Nha Trang

Tác giả liên hệ: Lê Như Chính; Email: [chinhln@ntu.edu.vn](mailto:chinhln@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 06/05/2025; Ngày phản biện thông qua: 02/06/2025; Ngày duyệt đăng: 06/06/2025

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày các kết quả xác định các thông số sấy tối ưu cho sản phẩm cá ba sa sử dụng hệ thống sấy kết hợp giữa bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại. Quá trình thực nghiệm được bố trí theo phương pháp Taguchi, trong đó các yếu tố khảo sát chính bao gồm: nhiệt độ sấy ( $t$ ), vận tốc tác nhân sấy ( $V$ ), khoảng cách từ nguồn hồng ngoại đến bề mặt sản phẩm ( $H$ ) và công suất đèn hồng ngoại ( $IP$ ). Tối ưu hóa đa mục tiêu đồng thời được thực hiện bằng phương pháp đáp ứng bề mặt, giúp tìm ra thông số sấy phù hợp nhất để đạt chất lượng cá ba sa khô tốt, rút ngắn thời gian sấy và giảm chi phí năng lượng. Các thông số sấy thích hợp được xác định là: nhiệt độ sấy  $55^{\circ}\text{C}$ , công suất hồng ngoại  $1999,83\text{ W}$ , vận tốc không khí sấy  $1,98\text{ m/s}$ , khoảng cách hồng ngoại  $29,45\text{ cm}$ . Ngoài ra, độ ẩm tương đối của tác nhân sấy dao động từ 15 đến 17%, độ ẩm của cá ba sa trước khi sấy là  $77,26\%$  và sau khi sấy dẻo độ ẩm đạt mức  $28 \pm 1\%$ , tương ứng với thời gian sấy là  $261,33$  phút.

**Từ khóa:** Cá ba sa sấy dẻo, sấy cá ba sa bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại, Tối ưu hóa theo phương pháp bề mặt đáp ứng, Khả năng hút nước phục hồi của cá ba sa khô.

## ABSTRACT

The paper presents the results of determining the optimal drying parameters for basa fish products using a drying system combining a heat pump and infrared radiation. The experimental process is arranged according to the Taguchi method, in which the main survey factors include: drying temperature ( $t$ ), drying agent velocity ( $V$ ), distance from the infrared source to the product surface ( $H$ ), and infrared lamp power ( $IP$ ). Multi-objective optimization is simultaneously performed using the response surface method, helping to find the most suitable drying parameters to achieve good quality dried basa fish, shorten drying time, and reduce energy costs. The appropriate drying parameters are determined to be: drying temperature  $55^{\circ}\text{C}$ , infrared power  $1999.83\text{ W}$ , drying air velocity  $1.98\text{ m/s}$ , and infrared distance  $29.45\text{ cm}$ . In addition, the relative humidity of the drying agent ranged from 15 to 17%, the humidity of basa fish before drying was  $77.26\%$ , and after soft drying, the humidity reached  $28 \pm 1\%$ , corresponding to a drying time of  $261.33$  minutes.

**Keywords:** Dried basa fish, infrared-assisted heat pump drying, optimization by response surface methodology, Rehydration ratio of dried basa fish.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thông tin do VASEP công bố trong quý I, năm 2025 cho thấy cá tra và cá ba sa tiếp tục giữ vai trò chủ lực trong ngành thủy sản với kim ngạch xuất khẩu đạt 465 triệu USD, tăng 13% so với cùng kỳ năm trước. Riêng trong tháng 3, kim ngạch xuất khẩu đạt 181 triệu USD, tăng 16,1%, tiếp tục khẳng định vị thế

dẫn đầu của mặt hàng này [15]. Đặc biệt, các sản phẩm cá tra, cá ba sa đông lạnh chiếm tới hơn 90% tổng giá trị xuất khẩu nhóm cá nước ngọt. Tuy nhiên, dòng sản phẩm cá ba sa khô chế biến vẫn còn tồn tại nhiều hạn chế, chủ yếu được sản xuất quy mô nhỏ lẻ tại các địa phương với phương pháp sấy cũ như phơi dưới ánh nắng tự nhiên, khiến chất lượng

thành phẩm không đồng đều và khó kiểm soát. Một số cơ sở hiện nay vẫn sử dụng các dạng lò sấy tự chế sử dụng nhiên liệu rắn như than đá hoặc củi, dẫn đến việc kiểm soát nhiệt độ khó khăn, thời gian sấy kéo dài, đồng thời phát sinh khói bụi làm ảnh hưởng đến màu sắc, hương vị và chất lượng của cá khô [7]. Ngoài ra, các vấn đề liên quan đến vệ sinh an toàn thực phẩm cũng chưa được đảm bảo, tác động đến giá trị thương mại và khả năng cạnh tranh của sản phẩm trên thị trường quốc tế [1, 4, 8]. Trong bối cảnh đó, các công nghệ sấy hiện đại như sấy lạnh bằng bơm nhiệt (HP) và bức xạ hồng ngoại (IR) đang dần được ứng dụng rộng rãi nhờ các ưu điểm nổi bật riêng biệt của HP và IR [1-3, 7]. Do đó, kết hợp công nghệ sấy hồng ngoại và bơm nhiệt trong sấy cá ba sa là một hướng đi tiềm năng, giúp phát huy ưu điểm của từng phương pháp và khắc phục những hạn chế khi áp dụng đơn lẻ, từ đó nâng cao hiệu quả và chất lượng sản phẩm sấy [6, 13].

## II. ĐỐI TƯỢNG, THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 1. Đối tượng nghiên cứu và vật liệu nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là các thông số sấy thích hợp cho cá ba sa bằng IR-HP.

Vật liệu nghiên cứu là cá ba sa (*Pangasius bocourti*), cá ba sa được phi lê với trọng lượng mỗi miếng khoảng 130 ÷ 150 gam, cá vẫn giữ được màu sắc và mùi tanh đặc trưng của cá ba sa tươi. Cá ba sa phi lê được mua tại siêu thị Big C ở Nha Trang, sau đó được vận chuyển về phòng thí nghiệm Trường Đại học Nha Trang bằng thùng cách nhiệt nhằm đảm bảo điều kiện bảo quản. Tại phòng thí nghiệm cá được rửa đông, vệ sinh và đưa vào quy trình sấy trên máy IR-HP với các chế độ sấy đã được xác định theo ma trận thí nghiệm của Taguchi. Quá trình sấy được kết thúc khi độ ẩm của cá ba sa khô đạt  $28 \pm 1\%$  [2–4, 7].

### 2. Thiết bị nghiên cứu

#### 2.1. Tủ sấy bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại IR-HP

Quá trình thí nghiệm được tiến hành trên tủ sấy IR-HP, có sơ đồ nguyên lý được trình bày trên Hình 1. Tủ sấy được lắp đặt tại Phòng thí nghiệm Nhiệt Lạnh, Trường Đại học Nha Trang với năng suất đạt khoảng 2 kg cá ba sa/mẻ. Các thông số kỹ thuật chính của các thiết bị bao gồm: Bơm nhiệt có công suất 0,745 kW, đèn bức xạ hồng ngoại 2 kW và quạt ly tâm 0,1 kW. Thiết bị cho phép điều chỉnh linh hoạt các điều kiện sấy nhằm đáp ứng yêu cầu công nghệ, cụ thể: Công suất đèn hồng ngoại từ 200 đến 2000 W, nhiệt độ sấy trong khoảng  $20 \div 70^{\circ}\text{C}$ , tốc độ dòng khí từ  $0,5 \div 5 \text{ m/s}$  và khoảng cách từ nguồn bức xạ IR đến vật liệu sấy đạt từ 0,2 đến 0,45 m [3].

#### 2.2. Các thiết bị hỗ trợ sử dụng trong nghiên cứu

Trong quá trình thực hiện thí nghiệm, một số thiết bị đo lường được sử dụng nhằm đảm bảo độ chính xác và kiểm soát các thông số kỹ thuật, cụ thể như sau:

Cân phân tích điện tử (Model: XT2200C, xuất xứ Thụy Sĩ) được sử dụng để xác định khối lượng cá ba sa theo từng thời điểm sấy, với độ sai số  $\pm 0,01 \text{ g}$ .

Ấm kế điện tử (Model: Testo 605H1, Đức) dùng để đo độ ẩm tương đối của không khí trong buồng sấy, với sai số  $\pm 3\% \text{ RH}$ .

Lưu tốc kế hiện số (Model: LM81AT, Đài Loan) được sử dụng để đo vận tốc gió tại khu vực sấy, sai số  $\pm 3\%$ .

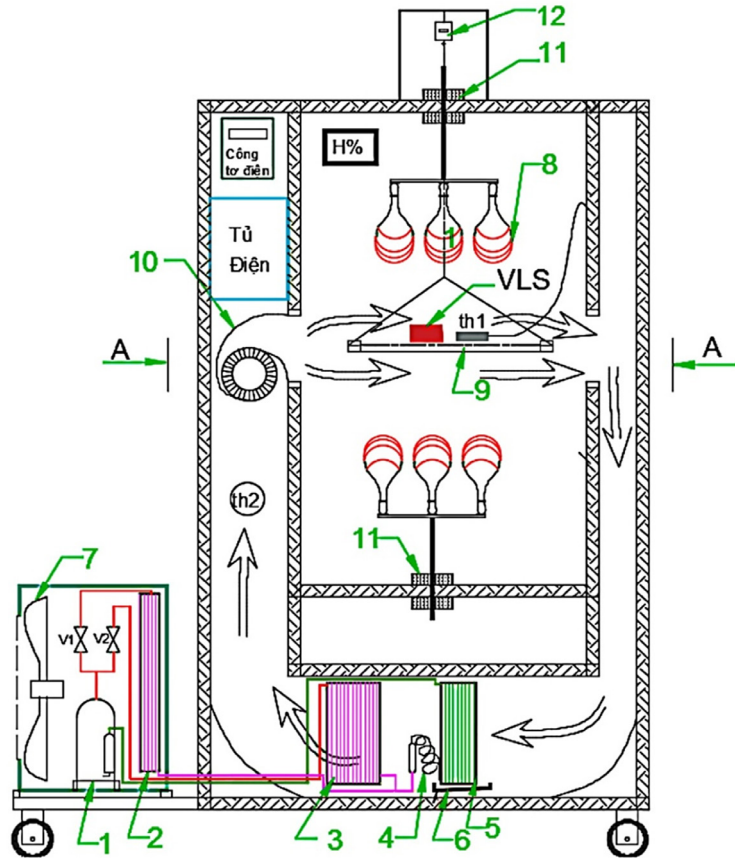
Nhiệt kế điện tử đa kênh (Model: EXTECH TM500, Đài Loan), gồm 12 đầu đo, dùng để ghi nhận nhiệt độ trong buồng sấy với độ chính xác  $\pm (0.4\% \text{ giá trị đọc} + 1^{\circ}\text{C})$ .

Hệ thống đo đếm điện năng điện tử một pha, Model: EMIC CE-38, Việt Nam) dùng để đo điện năng tiêu thụ trong suốt quá trình sấy, hoạt động ở điện áp 220V – 50Hz, cấp chính xác là 1.

Cân phân tích độ ẩm (Model: BM120, hãng OHAUS) được sử dụng để xác định độ ẩm ban đầu của mẫu cá ba sa trước khi đưa vào sấy.

**Trong đó:**

1. Máy nén;
2. Dàn ngưng tụ ngoài;
3. Dàn ngưng tụ trong;
4. Ống mao;
5. Dàn bốc hơi;
6. Máng chứa nước ngưng;
7. Quạt gió dàn ngưng ngoài;
8. Đèn hồng ngoại;
9. Lưới sấy;
10. Quạt gió phòng sấy;
11. Vít điều chỉnh;
12. Cân điện tử dạng móc treo; V1, V2 là van chặn điều chỉnh nhiệt độ sấy; th1 là đầu dò đo nhiệt độ TNS; th2 đầu dò đo nhiệt độ không khí trước khi vào tủ sấy.



**Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của máy sấy bằng IR-HP [3]**

**3. Phương pháp nghiên cứu**

**3.1. Thiết kế thí nghiệm**

Trong nghiên cứu này, toàn bộ thí nghiệm sấy cá ba sa được thiết kế và thực hiện theo phương pháp Taguchi nhằm xác định ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ đến chất lượng sản phẩm và hiệu quả năng lượng của quá trình

sấy cá ba sa [11]. Các thông số đầu vào được lựa chọn có cơ sở từ các nghiên cứu trước đây [1–3, 6–7], được đánh giá là có ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu quả quá trình sấy. Các thông số ảnh hưởng chính cùng với các mức khảo sát tương ứng được trình bày chi tiết trong Bảng 1.

**Bảng 1. Các yếu tố tác động chính và các mức khảo sát trong thiết kế thí nghiệm**

| STT | Thông số đầu vào                               | Mức dưới | Mức cơ sở | Mức trên | Khoảng biến thiên |
|-----|------------------------------------------------|----------|-----------|----------|-------------------|
| 1   | Nhiệt độ không khí sấy, $t$ (°C)               | 45       | 50        | 55       | 15                |
| 2   | Vận tốc gió, $V$ (m/s)                         | 1        | 2         | 3        | 1                 |
| 3   | Khoảng cách từ nguồn IR đến bề mặt cá $H$ (cm) | 24       | 30        | 36       | 6                 |
| 4   | Công suất hồng ngoại, $IP$ (W)                 | 1600     | 1800      | 2000     | 400               |

**3.2. Phương pháp tối ưu hóa (RSM – Response Surface Methodology)**

Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) là một công cụ thống kê toán học được sử dụng để xây

dựng các mô hình hồi quy (MHHQ) từ thực nghiệm, cho phép phân tích và mô tả tương quan giữa các biến đầu vào độc lập và các biến đầu ra phụ thuộc [2–3, 11, 14]. Trong bài viết

này, áp dụng kỹ thuật phân tích hồi quy để thiết lập mô hình toán từ thực nghiệm nhằm dự đoán các mục tiêu: Tỷ lệ hút nước phục hồi ( $R_{DD}$ ), thời gian sấy ( $\tau_{DD}$ ) và suất tiêu hao năng lượng riêng ( $SEC_{DD}$ ). Mối quan hệ giữa các biến đầu vào và các hàm mục tiêu được biểu diễn thông qua MHHQ (2.1) [9–10, 12]:

$$Y = f(t, V, H, IP) \quad (2.1)$$

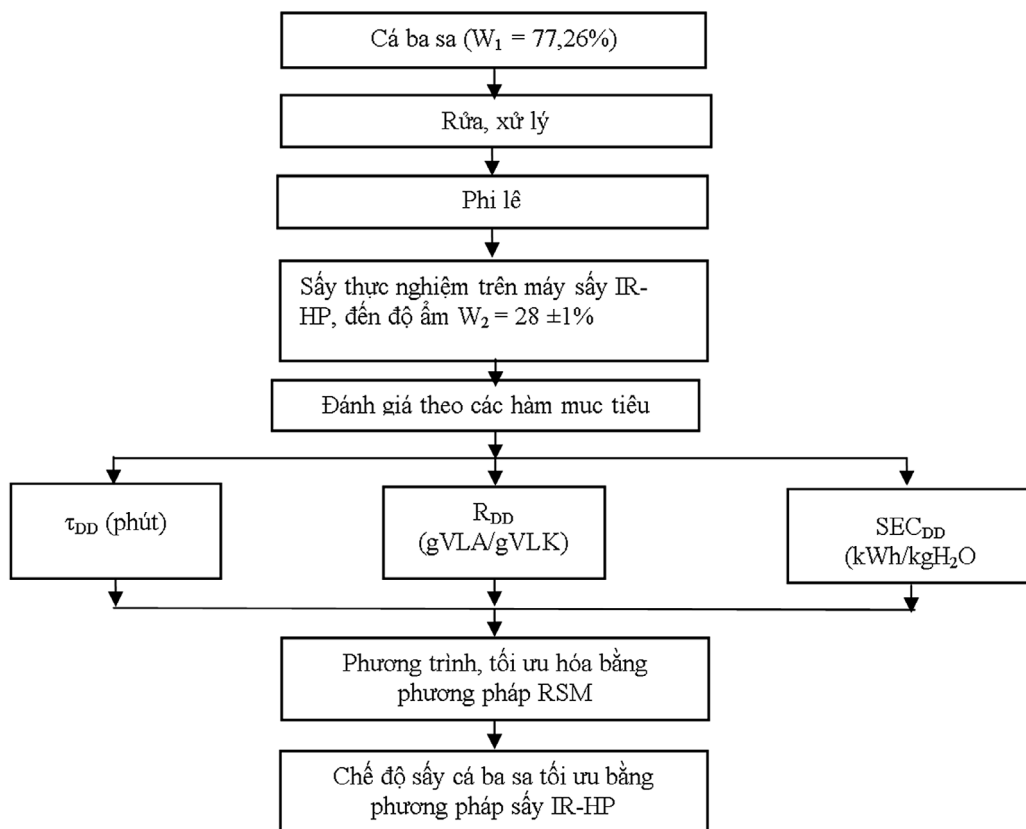
Trong đó, Y là các hàm mục tiêu bao gồm:  $R_{DD}$ : Tỷ lệ hút nước phục hồi (HNPH)

(gVLA/gVLK);  $SEC_{DD}$ : SEC (Specific Energy Consumption) là suất tiêu hao năng lượng riêng (kWh/kgH<sub>2</sub>O);  $\tau_{DD}$ : thời gian sấy (TGS) (phút). Các biến đầu vào gồm: Nhiệt độ sấy  $t$  (°C), vận tốc tác nhân sấy  $V$  (m/s), khoảng cách từ nguồn IR đến vật liệu  $H$  (cm), và công suất bức xạ hồng ngoại  $IP$  (W), với thông tin chi tiết được mô tả trong Bảng 1. MHHQ 2.2 mô tả mối quan hệ giữa các hàm mục tiêu và “k” biến đầu vào dưới dạng mô hình hồi quy bậc hai, thường được sử dụng trong phương pháp RSM, có thể được biểu diễn như sau [5, 9–10, 12, 14]:

$$Y = b_o + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_i b_{ii} X_i^2 \quad (2.2)$$

Trong đó, Y là các hàm mục tiêu;  $b_0$  là hằng số hồi quy;  $b_i$ ,  $b_{ij}$  và  $b_{ii}$  lần lượt là các hệ số hồi quy bậc nhất và bậc hai; còn  $X_i$ ,  $X_j$  là các biến đã được mã hóa đại diện cho các yếu tố công nghệ trong quá trình sấy. Kết quả thí nghiệm

thu được theo thiết kế Taguchi được tổng hợp trong Bảng 2. Trình tự xác định các thông số sấy tối ưu cho cá ba sa khô được trình bày trong lưu đồ Hình 2.



Hình 2. Lưu đồ bố trí thí nghiệm xác định các thông số sấy tối ưu cho cá ba sa

### 3.3. Phương pháp tính toán từ số liệu thực nghiệm

3.3.1. Sự biến đổi độ ẩm của cá ba sa theo thời gian sấy

Hàm lượng ẩm của cá ba sa tại các thời điểm cụ thể được tính toán theo công [1–3]:

$$W_i = 100 - \frac{(100 - W_1)}{G_i} \cdot G_1 \quad (2.3)$$

Trong đó:  $W_i$  là độ ẩm của cá ba sa tại thời điểm thứ  $i$ , (%);  $W_1$  là độ ẩm của cá ba sa trước khi sấy (%);  $G_1$  là khối lượng ban đầu của cá ba sa (g);  $G_i$  là khối lượng của cá ba sa tại thời điểm thứ  $i$ , (g).

3.3.2. Tính tỷ lệ HNPH của cá ba sa sau khi sấy

Khả năng HNPH của cá ba sa sau sấy được xác định thông qua quá trình ngâm mẫu khô trong nước cất, với mực nước phủ kín mẫu và nhiệt độ duy trì trong khoảng 25 đến 30°C. Cứ sau mỗi 30 phút, mẫu được lấy ra, lau khô phần nước bám bên ngoài, rồi tiến hành cân khối lượng. Quá trình này được lặp lại cho đến khi khối lượng mẫu giữa hai lần cân liên tiếp không còn thay đổi. Từ đó, tỷ lệ hút nước ( $R_{TN}$ ) của cá ba sa khô được tính toán theo công thức đã được công bố trong tài liệu [9-10].

$$R_{TN} = \frac{m_w}{m_d} \quad (2.4)$$

Trong đó:  $m_w$  là khối lượng của miếng cá ba sa sau khi ngâm nước, gVLA;  $m_d$  là khối lượng của miếng cá ba sa trước khi ngâm nước, gVLK.

3.3.3. Tính suất tiêu hao năng lượng trong sấy cá ba sa bằng IR-HP

SEC là tiêu hao năng lượng riêng, phản ánh lượng điện năng tiêu tốn để loại bỏ 1 kg nước khỏi vật liệu trong quá trình sấy. Thông số này được tính dựa trên điện năng tiêu thụ trong toàn

bộ chu trình sấy và khối lượng ẩm được tách ra khỏi vật liệu. Công thức tính như sau [1–3]:

$$SEC = \frac{E_p}{\Delta G_w} \quad (2.5)$$

Trong đó:  $E_p$ : là tổng năng lượng tiêu thụ trong quá trình sấy (kWh);  $\Delta G_w$ : là khối lượng ẩm được loại bỏ khỏi mẫu cá ba sa (kg)

3.3.4. Đánh giá độ tin cậy của kết quả dự đoán và thực nghiệm kiểm chứng

Sai số phần trăm trung bình  $E$  [%] được xác định theo công thức [9-10]:

$$E(\%) = \frac{100}{n} \sum \frac{|\hat{Y}_{i,MP} - Y_{i,TN}|}{\hat{Y}_{i,MP}} \quad (2.6)$$

Trong đó: lần lượt là giá trị dự đoán, giá trị thực nghiệm,  $n$  là số lần thí nghiệm.

3.3.5. Đánh giá cảm quan bằng phương pháp cho điểm

Cá ba sa khô được đánh giá cảm quan (CQ) bằng phương pháp cho điểm theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3215 ÷ 79. Cá ba sa khô có độ ẩm  $28 \pm 1\%$ , được tiến hành đánh giá theo các chỉ tiêu và hệ số quan trọng như: Màu sắc, hệ số 1,2; mùi, hệ số 0,8; vị, hệ số 1; trạng thái cơ thịt, hệ số 1 [1, 4].

## III. KẾT QUẢ VÀ BÌNH LUẬN

Trong quá nghiên cứu này, độ ẩm ban đầu của cá ba sa được xác định là  $W_1 = 77,26\%$ . Hàm lượng ẩm của cá trong suốt thời gian sấy được theo dõi định kỳ bằng phương pháp xác định khối lượng, áp dụng công thức (2.3), cho đến khi độ ẩm cuối cùng của cá đạt khoảng  $28 \pm 1\%$ . Mỗi thí nghiệm được tiến hành lặp lại ba lần nhằm đảm bảo tính chính xác và độ tin cậy của dữ liệu. Kết quả thu được từ các thí nghiệm theo ma trận thiết kế Taguchi, được trình bày trong Bảng 2.

**Bảng 2. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm**

| TN | Ma trận thí nghiệm |            |           |           | Kết quả thí nghiệm |                                  |                    |
|----|--------------------|------------|-----------|-----------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
|    | t<br>[°C]          | V<br>[m/s] | H<br>[cm] | IP<br>[W] | $\tau$<br>[phút]   | SEC<br>[kWh/kg H <sub>2</sub> O] | R<br>[g VLA/g VLK] |
| 1  | 45                 | 1          | 24        | 1600      | 600                | 23,711                           | 1,295              |
| 2  | 45                 | 1          | 24        | 1600      | 660                | 24,639                           | 1,272              |
| 3  | 45                 | 1          | 24        | 1600      | 640                | 22,303                           | 1,297              |

| TN | Ma trận thí nghiệm |            |           |           | Kết quả thí nghiệm |                                  |                    |
|----|--------------------|------------|-----------|-----------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
|    | t<br>[°C]          | V<br>[m/s] | H<br>[cm] | IP<br>[W] | $\tau$<br>[phút]   | SEC<br>[kWh/kg H <sub>2</sub> O] | R<br>[g VLA/g VLK] |
| 4  | 45                 | 2          | 30        | 1800      | 450                | 19,017                           | 1,353              |
| 5  | 45                 | 2          | 30        | 1800      | 460                | 20,300                           | 1,363              |
| 6  | 45                 | 2          | 30        | 1800      | 480                | 21,735                           | 1,382              |
| 7  | 45                 | 3          | 36        | 2000      | 560                | 19,368                           | 1,246              |
| 8  | 45                 | 3          | 36        | 2000      | 550                | 18,500                           | 1,280              |
| 9  | 45                 | 3          | 36        | 2000      | 570                | 20,928                           | 1,261              |
| 10 | 50                 | 1          | 30        | 2000      | 510                | 18,453                           | 1,284              |
| 11 | 50                 | 1          | 30        | 2000      | 500                | 17,113                           | 1,285              |
| 12 | 50                 | 1          | 30        | 2000      | 520                | 18,794                           | 1,255              |
| 13 | 50                 | 2          | 36        | 1600      | 520                | 16,907                           | 1,271              |
| 14 | 50                 | 2          | 36        | 1600      | 530                | 19,785                           | 1,274              |
| 15 | 50                 | 2          | 36        | 1600      | 540                | 19,688                           | 1,273              |
| 16 | 50                 | 3          | 24        | 1800      | 750                | 29,126                           | 1,233              |
| 17 | 50                 | 3          | 24        | 1800      | 780                | 30,649                           | 1,233              |
| 18 | 50                 | 3          | 24        | 1800      | 760                | 29,604                           | 1,260              |
| 19 | 55                 | 1          | 36        | 1800      | 440                | 23,958                           | 1,287              |
| 20 | 55                 | 1          | 36        | 1800      | 430                | 22,804                           | 1,293              |
| 21 | 55                 | 1          | 36        | 1800      | 420                | 22,577                           | 1,291              |
| 22 | 55                 | 2          | 24        | 2000      | 320                | 13,433                           | 1,382              |
| 23 | 55                 | 2          | 24        | 2000      | 310                | 12,717                           | 1,380              |
| 24 | 55                 | 2          | 24        | 2000      | 300                | 12,784                           | 1,381              |
| 25 | 55                 | 3          | 30        | 1600      | 580                | 21,979                           | 1,265              |
| 26 | 55                 | 3          | 30        | 1600      | 590                | 22,729                           | 1,259              |
| 27 | 55                 | 3          | 30        | 1600      | 570                | 19,229                           | 1,284              |

### 1. Xây dựng các phương trình hồi quy

Dựa trên dữ liệu thu được từ thực nghiệm được trình bày tại Bảng 2, các phương trình hồi quy đã được thiết lập nhằm dự đoán các mục tiêu trong quá trình sấy dẻo cá ba sa bằng công nghệ IR-HP. Cụ thể, các phương trình được xây

dựng để mô tả mối quan hệ giữa các hàm mục tiêu và các thông số ảnh hưởng chính (phương trình 2.1 ÷ 2.2).

1.1. Thiết lập MHHQ xác định TGS cá ba sa  $\tau_{DD}$ , phút

**Bảng 3. Kết quả phân tích phương sai (ANOVA) theo các hàm mục tiêu**

| Nguồn           | $\tau_{DD}$ (phút) |           | $SEC_{DD}$ (kWh/kgH <sub>2</sub> O) |           | $R_{DD}$ (g VLA/gVLK) |           |
|-----------------|--------------------|-----------|-------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|                 | F- giá trị         | P-giá trị | F- giá trị                          | P-giá trị | F- giá trị            | P-giá trị |
| <b>Hồi quy</b>  | 222,34             | 0,000     | 43,93                               | 0,000     | 42,75                 | 0,000     |
| <b>Bậc nhất</b> | 218,87             | 0,000     | 22,94                               | 0,000     | 17,45                 | 0,000     |
| t               | 255,03             | 0,000     | 12,95                               | 0,002     | 1,88                  | 0,187     |
| V               | 245,03             | 0,000     | 12,21                               | 0,003     | 19,99                 | 0,000     |
| H               | 78,40              | 0,000     | 8,09                                | 0,011     | 23,31                 | 0,000     |
| IP              | 297,03             | 0,000     | 58,53                               | 0,000     | 24,60                 | 0,000     |
| <b>Bậc hai</b>  | 225,81             | 0,000     | 64,91                               | 0,000     | 68,06                 | 0,000     |
| t*t             | 297,68             | 0,000     | 18,18                               | 0,000     | 82,03                 | 0,000     |
| V*V             | 567,68             | 0,000     | 113,39                              | 0,000     | 180,31                | 0,000     |
| H*H             | 10,80              | 0,004     | 7,93                                | 0,011     | 7,41                  | 0,014     |
| IP*IP           | 27,08              | 0,000     | 120,13                              | 0,000     | 2,51                  | 0,131     |
| $R^2(eq)$ (%)   | 99,00              |           | 95,13                               |           | 95,00                 |           |
| $R^2(Adj)$ (%)  | 98,55              |           | 92,96                               |           | 88,75                 |           |
| $R^2(Pred)$ (%) | 97,75              |           | 89,04                               |           | 92,78                 |           |

Trong nghiên cứu này, hệ số xác định  $R^2(eq)$  đạt 99%, giá trị  $R^2$  hiệu chỉnh  $R^2(Adj)$  là 97,75% và giá trị  $R^2$  dự đoán  $R^2(pred)$  đạt 98,55%, cho thấy mô hình có độ phù hợp cao giữa dữ liệu thực nghiệm và dự đoán. Chỉ số F biểu thị tỷ lệ phương sai theo kiểm định Fisher, còn giá trị p thể hiện mức độ ý nghĩa thống kê. Kết quả phân tích phương sai (ANOVA) trình bày tại Bảng 3 chỉ ra rằng mô hình hồi quy bậc hai dùng để dự đoán thời gian sấy  $\tau_{DD}$  (phút) là có ý nghĩa. Cụ thể, tất cả các yếu tố đầu vào như nhiệt độ sấy (t), vận tốc tác nhân (V), khoảng cách đèn hồng ngoại (H), công suất đèn hồng ngoại (IP) cùng với các thành phần bậc hai ( $t^2$ ,  $V^2$ ,  $H^2$ ,  $IP^2$ ) đều có giá trị p nhỏ hơn 0,05, điều này chứng minh chúng có ảnh hưởng đáng kể đến thời gian sấy cá ba sa bằng IR-HP. Bên cạnh đó, kết quả trên Hình 3a và 3b cho thấy việc tăng IP, t sẽ làm giảm thời gian sấy. Bên cạnh đó, khi tăng vận tốc gió V từ (1 ÷ 2) m/s, thời gian sấy giảm. Do

$$\tau_{DD} = -10321,1 + 408,78.t - 525.V - 38,52.H + 2,55.IP - 4,20.t^2 + 145.V^2 + 0,56.H^2 - 0,00079.IP^2 \quad (3.1)$$

### 1.2. Thiết lập MHHQ dự đoán $SEC_{DD}$ , kWh/kgH<sub>2</sub>O

Tương tự, kết quả phân tích phương sai đối với suất tiêu hao năng lượng SEC được trình bày trong Bảng 3 đã cho thấy giá trị P của MHHQ nhỏ hơn rất nhiều so với giá trị 0,05, chứng tỏ các thông số sấy như nhiệt độ sấy (t), vận tốc

gió (V), khoảng cách đèn hồng ngoại (H), công suất đèn (IP) cũng như các thành phần bậc hai ( $t^2$ ,  $V^2$ ,  $H^2$ ,  $IP^2$ ) đều có tác động đáng kể đến suất tiêu hao năng lượng. Bên cạnh đó, kết quả minh họa ở Hình 3c và 3d cũng cho thấy khi là, trong khoảng 1 ÷ 2m/s, bề mặt cá không bị tạo màng, quá trình khuếch tán nội phù hợp với khuếch tán ngoại, rút ngắn thời gian sấy. Tuy nhiên, nếu tăng vận tốc gió trên 2m/s, thời gian sấy sẽ tăng. Điều này là do tăng V, sẽ tăng cường trao đổi nhiệt đối lưu, tăng cường khuếch tán ngoại, bề mặt lát cá dễ tạo màng, kéo dài TGS. Tương tự H = (29 ÷ 30) cm, sẽ có TGS ngắn, tăng hay giảm H khỏi khoảng này, TGS tăng. Hơn nữa, hệ số xác định  $R^2$  cao, với 0,99, gần bằng 1,0. Độ lệch chuẩn thấp ở mức 14,90 so với các mô hình khác [10, 12]. Hệ số xác định của giá trị dự đoán  $R^2(Pred)$  bằng 0,9855 và giá trị điều chỉnh  $R^2(Adj)$  bằng 0,9775 đều rất cao, gần bằng 1 (Bảng 3). Kết quả trên chứng minh rằng mô hình hồi quy thiết lập là phù hợp với thực nghiệm và ý nghĩa thống kê và phù hợp với các nghiên cứu trước [9-10]. Theo đó, (MHHQ) (3.1) là thích hợp để xác định TGS cá ba sa sấy bằng IR-HP.

gió (V), khoảng cách đèn hồng ngoại (H), công suất đèn (IP) cũng như các thành phần bậc hai ( $t^2$ ,  $V^2$ ,  $H^2$ ,  $IP^2$ ) đều có tác động đáng kể đến suất tiêu hao năng lượng. Bên cạnh đó, kết quả minh họa ở Hình 3c và 3d cũng cho thấy khi

tăng nhiệt độ sấy  $t$  hoặc tăng công suất đèn IP, giá trị SEC có giảm và ngược lại, khi giảm  $t$  và IP, SEC tăng. Do là, khi giảm giá trị của  $t$  và IP, TGS dài; tăng giá trị của  $t$  và IP, bề mặt cá bị tạo màng, kéo dài TGS nên tăng SEC. Tương tự, khi  $V$  đạt khoảng 2m/s,  $H$  đạt khoảng 30cm cho SEC đạt thấp nhất, nếu tăng hay giảm  $V$  và  $H$  khỏi khoảng giá trị trên đều làm tăng SEC. Do là khi tăng  $V$  sẽ tăng quá trình trao đổi nhiệt đối lưu, tăng cường độ khuếch tán ngoại, gây tạo màng bề mặt cá, tương tự giảm  $H$ , bề mặt

của lát cá lại gần bề mặt IR, nên cá dễ bị chín, tạo màng bề mặt cá, kéo dài TGS, tăng mức tiêu thụ năng lượng SEC. Hơn nữa, các chỉ số đánh giá độ phù hợp của mô hình gồm  $R^2 = 0,951$ ,  $R^2(\text{Pred}) = 0,929$  và  $R^2(\text{Adj}) = 0,89$ , tất cả đều tiến sát giá trị 1, cho thấy mô hình hồi quy đề xuất là phù hợp và ý nghĩa thống kê tốt. Do vậy, MHHQ (3.2) hoàn toàn đáng tin cậy để dự đoán SEC trong sấy dẻo cá ba sa bằng phương pháp kết hợp hồng ngoại và bơm nhiệt

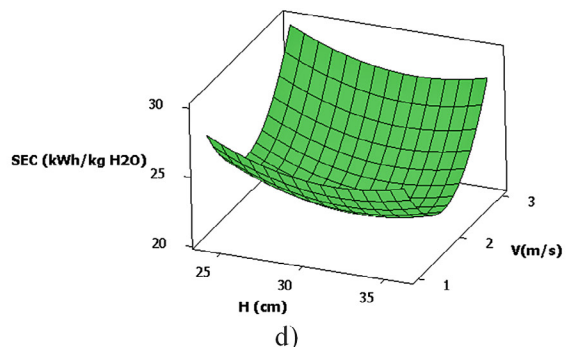
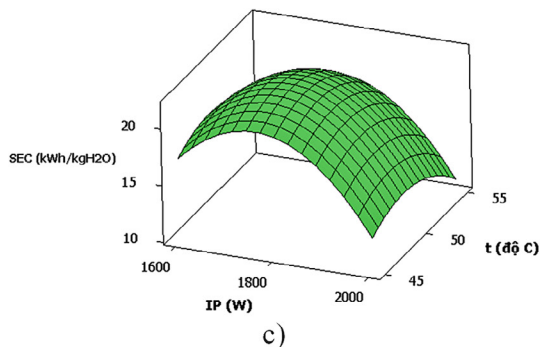
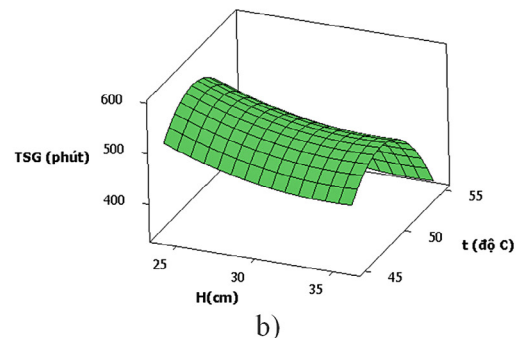
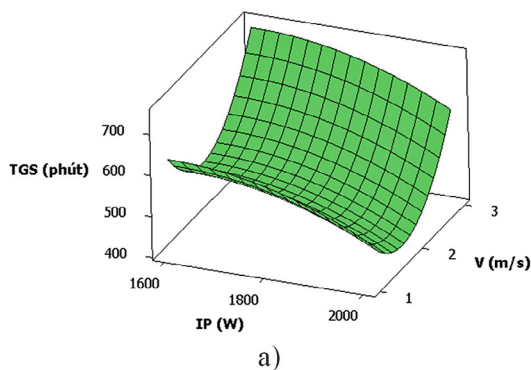
$$SEC_{DD} = -534,33 + 8,14.t - 19,85.V - 2,43.H + 0,47.IP - 0,083.t^2 + 5,21.V^2 + 0,038.H^2 - 0,000134.IP^2 \quad (3.2)$$

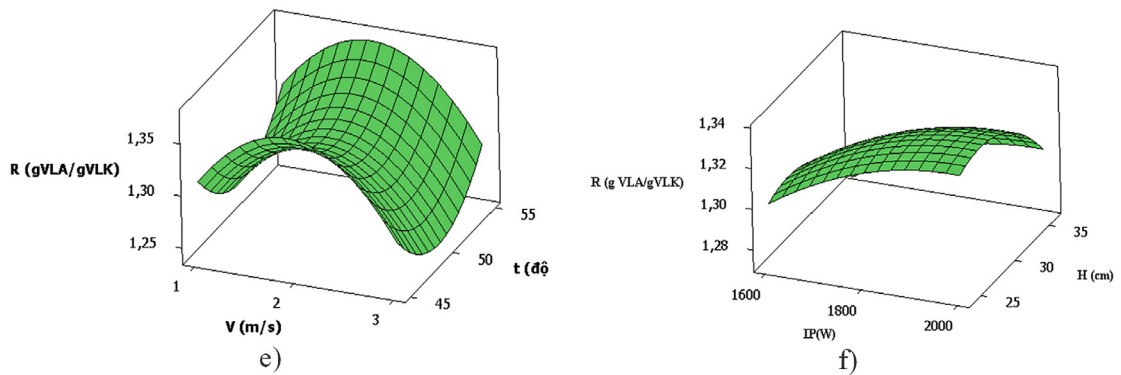
### 1.3. Thiết lập MHHQ dự đoán tỷ lệ HNPH của cá ba sa khô $R_{DD}$ , gVLA/gVLK

Kết quả phân tích phương sai đối với MHHQ bậc hai dự đoán tỷ lệ HNPH ( $R_{DD}$ ) của cá ba sa (Bảng 3) cho thấy rằng các biến  $t$  (nhiệt độ sấy) và  $IP^2$  (công suất đèn hồng ngoại) có giá trị  $P$  lần lượt là 0,187 và 0,131, đều lớn hơn 0,05. Điều này chứng tỏ rằng hai biến này không ảnh hưởng nhiều đến MHHQ (3.3). Ngược lại, các biến còn lại như  $V$ ,  $H$ ,  $IP$ ,  $t^2$ ,  $V^2$  và  $H^2$  có giá trị  $P$  nhỏ hơn 0,05, phản ánh sự tác động đáng kể

đến khả năng dự đoán của mô hình. Kết quả thể hiện ở Hình 3e và 3f cũng cho thấy rằng sự thay đổi của các thông số sấy như IP,  $t$ ,  $H$  và  $V$ , đều tác động rõ rệt đến tỷ lệ HNPH của cá ba sa khô. Thêm vào đó, các hệ số xác định gồm  $R^2 = 0,95$ ,  $R^2(\text{Pred}) = 0,88$  và  $R^2(\text{Adj}) = 0,928$ , tất cả đều gần bằng 1, cho thấy mô hình hồi quy có độ tin cậy cao, phù hợp và có ý nghĩa về mặt thống kê. Vì vậy, có thể khẳng định rằng MHHQ (3.3) là có thể sử dụng để dự đoán tỷ lệ HNPH của cá ba sa khô trong quá trình sấy bằng IR-HP.

$$R_{DD} = 4,607 - 0,184.t + 0,262.V + 0,0290.H + 0,00080.IP + 0,0186.t^2 - 0,0688.V^2 - 3,837.10^{-4}.H^2 - 2.10^{-7}.IP^2 \quad (3.3)$$





Hình 3. Mối quan hệ của các thông số sấy dầu vào đến các hàm mục tiêu ( $\tau_{DD}$ , SECDD, RDD)

## 2. Xác định chế độ sấy cá ba sa bằng phương pháp tối ưu hóa đa mục tiêu

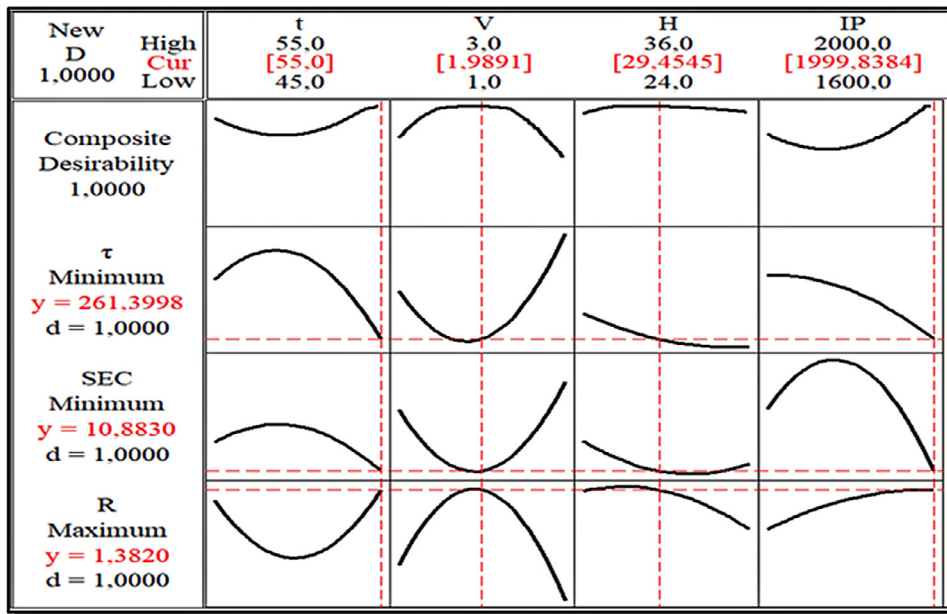
### 2.1. Kết quả xác định chế độ sấy tối ưu cho cá ba sa sấy bằng IR-HP

Nhằm xác định được chế độ sấy tối ưu đáp ứng đồng thời các mục tiêu gồm: Rút ngắn thời

gian sấy, đảm bảo chất lượng sản phẩm cá ba sa khô và giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng, nghiên cứu đã áp dụng phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) để thực hiện tối ưu hóa đa mục tiêu. Các biến đầu vào, giới hạn ràng buộc cũng như mục tiêu tối ưu hóa mô tả trong Bảng 4.

Bảng 4. Các hàm mục tiêu tối ưu và trọng số ưu tiên

| STT | Hàm mục tiêu đầu ra                         | Mục tiêu       | Mức dưới | Giá trị mục tiêu | Mức trên | Hệ số quan trọng |
|-----|---------------------------------------------|----------------|----------|------------------|----------|------------------|
| 1   | $\tau_{DD}$ [phút]                          | Nhỏ nhất (Min) | 300      | 300              | 780      | 1                |
| 2   | $R_{DD}$ [gVLA/gVLK]                        | Lớn nhất (Max) | 1,23     | 1,381            | 1,381    | 1                |
| 3   | SEC <sub>DD</sub> [kWh/kg H <sub>2</sub> O] | Nhỏ nhất (Min) | 11,72    | 11,86            | 31,64    | 2                |



Hình 4. Kết quả tối ưu hóa

Kết quả từ quá trình tối ưu hóa đa mục tiêu, được thể hiện trong Hình 4, cho thấy giá trị kỳ vọng của các hàm mục tiêu đạt 0,98792, gần sát với 1. Điều này chứng tỏ rằng kết quả tối ưu cho các mục tiêu: thời gian sấy, tỷ lệ phục hồi nước và suất tiêu hao năng lượng, hợp lý [7-9]. Cụ thể, các thông số sấy tối ưu cho cá ba sa bằng IR-HP được xác định: Nhiệt độ sấy  $t = 55^{\circ}\text{C}$ , công suất hồng ngoại  $\text{IP} = 1999,83 \text{ W}$ , vận tốc tác nhân sấy  $V = 1,98 \text{ m/s}$  và khoảng cách từ bề mặt đèn hồng ngoại đến vật liệu sấy  $H = 29,45 \text{ cm}$ . Với các thông số này, TGS đạt ngắn nhất là 261,39 phút, tỷ lệ HNPH R đạt tối đa là 1,38 gVLA/gVLK và suất tiêu hao năng lượng SEC đạt thấp nhất là 10,83 kWh/kgH<sub>2</sub>O.

**Bảng 5. Kết quả đánh giá sự phù hợp cao giữa kết quả dự đoán và thực nghiệm**

| Stt | Hàm mục tiêu                                                        | Kết quả xác định từ MHHQ (3.1 ÷ 3.3) | Kết quả thực nghiệm kiểm chứng | Độ sai lệch (%) |
|-----|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 1   | TGS $\tau_{DD}$ (Phút)                                              | 261,39                               | 240                            | 8,18            |
| 2   | Tỷ lệ HNPH của cá ba sa khô $R_{DD}$ (gVLA/gVLK)                    | 1,38                                 | 1,28                           | 7,24            |
| 3   | Suất tiêu hao năng lượng $\text{SEC}_{TN}$ (kWh/kgH <sub>2</sub> O) | 10,83                                | 11,74                          | 7,75            |

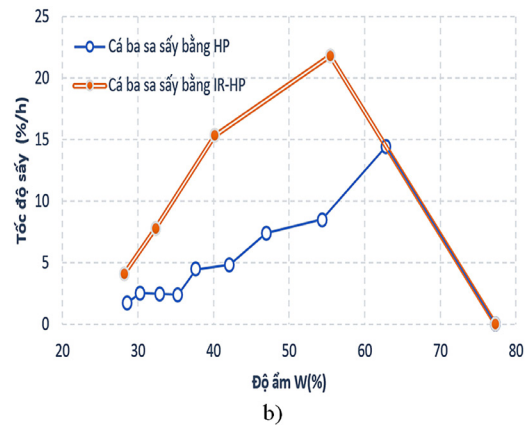
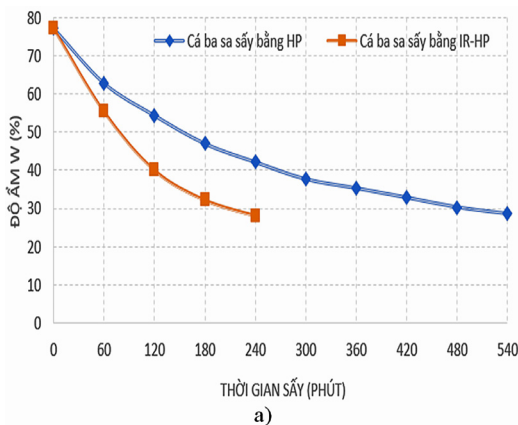
### 3. Xây dựng đường cong sấy và tốc độ sấy ở chế độ tối ưu so với các phương pháp sấy khác

Kết quả trên hình 5a và 5b thấy rằng cá ba sa sấy bằng phương pháp sấy IR-HP có độ giảm ẩm nhanh hơn và đạt tốc độ sấy cao hơn so với sấy bằng bơm nhiệt HP. Đặc biệt là, sau 240 phút, mẫu cá sấy bằng IR-HP đã giảm độ ẩm xuống còn khoảng 28,23%, trong khi mẫu cá sấy bằng

### 2.2. Đánh giá sự phù hợp cao giữa kết quả dự đoán và thực nghiệm

Bảng 5 chỉ ra rằng sai số giữa các giá trị dự đoán ( $\tau_{DD}$ ,  $R_{DD}$ ,  $\text{SEC}_{DD}$ ) từ các phương trình (3.1 ÷ 3.3) và các giá trị thực nghiệm ( $\tau_{TN}$ ,  $R_{TN}$ ,  $\text{SEC}_{TN}$ ) tại chế độ sấy tối ưu rất nhỏ, dao động trong khoảng từ 7,24% đến 8,18%. Điều này chứng tỏ sai số giữa giá trị dự đoán và giá trị thực nghiệm nhỏ, cho thấy sự phù hợp cao giữa kết quả dự đoán và thực nghiệm [9-10]. Vì vậy, các phương trình (3.1 ÷ 3.3) là đáng tin cậy và có thể được sử dụng để dự đoán các mục tiêu như  $\tau_{DD}$ ,  $R_{DD}$ ,  $\text{SEC}_{DD}$  trong nghiên cứu tính toán và thiết kế tủ sấy cá sử dụng công nghệ IR-HP.

HP vẫn trên 42,11%. Tốc độ sấy của IR-HP đạt đỉnh gần 21,82%/h, cao gần gấp đôi so với HP. Điều này cho thấy bức xạ hồng ngoại giúp gia nhiệt nhanh, tạo chênh lệch áp suất hơi giữa tâm và bề mặt cá lớn, từ đó tăng cường khuếch tán nội. Như vậy, IR-HP là phương pháp rút ngắn TGS, tiết kiệm năng lượng và có tiềm năng nâng cao chất lượng sản phẩm.



**Hình 5. Đường cong sấy và tốc độ sấy**

#### 4. Đánh giá chất lượng và an toàn thực phẩm của cá ba sa sấy ở chế độ tối ưu

##### 4.1. Đánh giá chất lượng CQ và tỷ lệ HNPH của cá ba sa theo phương pháp sấy

**Bảng 6. Kết quả đánh giá CQ của cá ba sa**

| STT | Các phương pháp sấy            | Điểm chất lượng cảm quan (điểm) | Tỷ lệ hút nước phục hồi của cá $R_{TN}$ (gVLA/gVLK) |
|-----|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1   | Cá ba sa sấy bằng IR-HP        | 18,28                           | 1,28                                                |
| 2   | Cá ba sa sấy bằng bơm nhiệt HP | 18,10                           | 1,30                                                |



a) Mẫu cá ba sa sau khi sấy bằng IR-HP



b) Mẫu cá ba sa trước khi sấy

**Hình 6. Hình ảnh cá ba sa trước và sau khi sấy**

Bảng 6 và Hình 6a cho thấy lát cá ba sa sấy dẻo bằng IR-HP vẫn giữ được màu sắc tự nhiên như cá tươi trước khi sấy, với điểm CQ cao nhất đạt 18,28, xếp loại tốt. Tiếp theo là cá ba sa sấy bằng HP với điểm CQ đạt 18,10 đạt loại tốt (Bảng 6). Hơn nữa, Bảng 6 còn cho thấy cá ba sa khô sấy bằng IR-HP có khả năng hút nước phục hồi HNPH đạt 1,28, tương đương với mẫu cá sấy bằng HP. Điều này có thể giải thích rằng quá trình truyền nhiệt và khuếch tán ẩm trong sấy cá ba sa bằng IR-HP ở chế độ tối ưu rất hiệu quả, giúp bề mặt cá không bị cháy, chín nên cấu trúc bên trong lát cá vẫn giữ được độ xốp. Quá trình khuếch tán ẩm diễn ra tốt và TGS được rút ngắn còn khoảng 240 phút (Bảng 5), giúp cải thiện điểm

CQ và tăng HNPH của cá ba sa khô. Theo đó, cá ba sa sấy ở chế độ tối ưu là tốt, đáp ứng yêu cầu chất lượng.

##### 4.2. Đánh giá độ an toàn thực phẩm của sản phẩm cá ba sa khô sấy bằng IR-HP

Cá ba sa khô được phân tích vi sinh và trình bày trên Bảng 7 cho thấy rằng các chỉ tiêu vi sinh nguy hại trên cá ba sa sấy dẻo, như E.coli và Salmonella, không được phát hiện. Các chỉ số vi sinh khác đều nằm dưới mức giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn về vi sinh trong nhóm thực phẩm khô [13]. Kết quả này cho thấy cá ba sa sấy bằng IR-HP có thể kiểm soát sự nhiễm vi sinh. Như vậy, cá ba sa sấy dẻo bằng IR-HP đáp ứng đầy đủ các yêu cầu an toàn thực phẩm [8].

**Bảng 7. Kết quả kiểm nghiệm vi sinh của mẫu cá ba sa sấy dẻo theo phương pháp sấy**

| Stt | Mẫu cá ba sa                           | Coliform, PMN/g | Tổng vi sinh vật hiếu khí, CFU/g | E. coli, CFU/g  | Tổng số bào tử nấm men- nấm mốc, CFU/g | Salmonella, CFU/g |
|-----|----------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|----------------------------------------|-------------------|
| 1   | Cá ba sa sấy bằng bơm nhiệt hồng ngoại | < 3             | 1,20.10 <sup>3</sup>             | Không phát hiện | Không phát hiện                        | Không phát hiện   |
| 2   | Cá ba sa sấy bằng bơm nhiệt            | < 3             | 2,34.10 <sup>3</sup>             | Không phát hiện | Không phát hiện                        | Không phát hiện   |

## IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết luận

Kết quả nghiên cứu sấy cá ba sa bằng phương pháp IR-HP đã xác định các thông số sấy thích hợp nhất, bao gồm: nhiệt độ sấy 55°C, công suất hồng ngoại 1999,83 W, vận tốc tác nhân sấy 1,98 m/s, và khoảng cách hồng ngoại 29,45 cm. Độ ẩm tương đối của tác nhân sấy dao động từ 15 đến 17%, trong khi độ ẩm ban đầu của cá ba sa tươi là 77,26% và độ ẩm cuối cùng của cá ba sa sấy dẻo đạt mức  $28 \pm 1\%$ . Thời gian sấy tối ưu là 261,39 phút, với tỷ lệ hút nước phục hồi R tối đa đạt 1,38 gVLA/gVLK và suất tiêu hao năng lượng SEC thấp nhất là 10,83 kWh/kgH<sub>2</sub>O.

Các thông số này, kết hợp với các mô hình

toán học đã được xây dựng ( $3.1 \div 3.3$ ), cung cấp cơ sở vững chắc để dự đoán các mục tiêu quan trọng như thời gian sấy, mức tiêu thụ năng lượng riêng và khả năng HNPH của cá ba sa sau khi sấy. Kết quả này có thể được vận dụng trong tính toán, thiết kế hệ thống sấy cá ba sa bằng IR-HP cho quy mô lớn, góp phần vào việc sản xuất cá ba sa khô có chất lượng, bảo đảm an toàn thực phẩm và tiết kiệm năng lượng.

### 2. Kiến nghị

Nghiên cứu thiết kế chế tạo tủ sấy cá ba sa bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại, nghiên cứu động học sấy cá ba sa bằng IR-HP, khảo sát nhiệt độ sấy và nhiệt độ tâm của cá ba sa khi sấy bằng IR-HP trong những nghiên cứu tiếp theo.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Lê Như Chính (2022), “Nghiên cứu thực nghiệm xác định thông số sấy tối ưu cho tôm thẻ chân trắng bằng bơm nhiệt kết hợp với bức xạ hồng ngoại”. Tạp chí Khoa học- Công nghệ Thủy sản; ISSN: 1859-2252, số 3/2022, pp13 -23.
- Lê Như Chính, Khổng Trung Thắng, Nguyễn Công Tạo (2022), “Nghiên cứu tối ưu hóa quá trình sấy bơ sáp bằng bơm nhiệt kết hợp với bức xạ hồng ngoại”, Tạp chí Công nghiệp nông thôn- số 46, pp 45-54.
- Lê Như Chính, Nguyễn Văn Phúc, Huỳnh Văn Thọ, Nguyễn nguyên An (2021), “Nghiên cứu chế tạo máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại để sấy nông sản và thủy sản”, Tạp chí KHCN thủy sản, số 1/2021, pp 19-25.
- Mai Tuyết Nga, Nguyễn Thuần Anh, Trần Thị Mỹ Hạnh (2021). “Đánh giá và dự đoán chất lượng thủy sản bằng phương pháp cảm quan”, NXB Nông Nghiệp Hà Nội.
- Đỗ Anh Tuấn, Nguyễn Hữu Thật, (2107), “Tối ưu hóa độ nhám bề mặt và bóc tách vật liệu trong phay thép SKD61 đã tôi bằng phương pháp Taguchi và mặt đáp ứng”, Tạp chí Khoa học & Công nghệ - Số 14/ Tháng 6, pp 22-26.
- Phạm Anh Tuấn, Vũ Thị Nga, Tạ Phương Thảo, Vũ Ngọc Dũng (2021), “Tối ưu hóa quá trình sấy ớt bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại”. Tạp chí Công nghiệp nông thôn, số 40/2021.
- Trần Đại Tiến, Lê Như Chính, Nguyễn Văn Hoàng (2022) “Kỹ Thuật sấy thủy sản”, NXB Khoa học và kỹ thuật.

8. Quyết định Số: 46/2007/QĐ-BYT (2007) “Quy định giới hạn tối đa ô nhiễm sinh học và hóa học trong thực phẩm” của Bộ Y Tế Việt Nam.
9. Le, N.-C., & Tran, T.-B.-T. (2023). “Optimization of microwave-assisted heat pump drying parameters of Vietnamese black tiger shrimp using the response surface methodology”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1278(1), 012012. doi:10.1088/1755-1315/1278/1/012012
10. Nhu-Chinh Le, Thi-Bao-Tien Tran, Van-Hop Le (2024) “Heat-pump-assisted microwaves drying of white-leg shrimp: Parameter optimization and quality assessment”. *Braz. J. Food Technol.*
11. Minitab, Inc. (2000), “MINITAB User's Guide 2: Data Analysis and Quality TooTo”, Printed in the USA, ISBN 0-925636-44-4.
12. R. Chakraborty, P. Mukhopadhyay, M. Bera a & S. Suman., (2011), “Infrared-Assisted Freeze Drying of Tiger Prawn”: Parameter Optimization and Quality Assessment. *Drying Technology*, Vol 29, pp 508–519.
13. Song Xiaoyong (2013). “Banana Chip Drying Using Far Infrared-Assisted Heat Pump”. *The Philippine Agricultural Scientist*” Vol. 96 No. 3, pp 275-281.
14. Ebrahim Taghinezhad , Mohammad Kaveh and Antoni Szumny (2021) “Optimization and Prediction of the Drying and Quality of Turnip Slices by Convective-Infrared Dryer under Various Pretreatments by RSM and ANFIS Methods”, *Foods* 2021, 10, 284. <https://doi.org/10.3390/foods10020284>
15. <https://vasep.com.vn/san-pham-xuat-khau/tin-tong-hop/xuat-nhap-khau/quy-i-2025-xuat-khau-thuy-san-but-pha-2-45-ty-usd-nhung-doi-mat-nhieu-thach-thuc-33138.html> (Quý I/2025: Xuất khẩu thủy sản bút phá 2,45 tỷ USD, nhưng đối mặt nhiều thách thức), Truy cập ngày 8/4/2025.