



THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ SẤY GỖ CẨM XE (*Xylia xylocarpa*) TRÊN MÁY SẤY CHÂN KHÔNG HỒNG NGOẠI

Bùi Thị Thiên Kim, Hoàng Thị Thanh Hương, Lê Anh Đức*

Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh, KP6, Linh Trung, Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: Lê Anh Đức <leanhduc@hcmuaf.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 28-7-2022; Ngày chấp nhận đăng: 14-9-2022)

Tóm tắt. Mục đích của nghiên cứu là xây dựng chế độ sấy cho gỗ Cẩm xe bằng phương pháp sấy chân không hồng ngoại. Ma trận thí nghiệm được lập theo phương án bất biến quay bậc hai của Box và Hunter, tối ưu hóa đa mục tiêu theo phương pháp đáp ứng bề mặt để xác định các thông số công nghệ: nhiệt độ sấy, cường độ bức xạ hồng ngoại trong quá trình sấy. Kết quả cho thấy khi sấy gỗ Cẩm xe kích thước 20 × 50 × 500 mm, nhiệt độ sấy 58,9 °C và cường độ bức xạ hồng ngoại 634,21 W/m² giúp rút ngắn thời gian sấy và hạn chế tỷ lệ khuyết tật cho gỗ. Với thời gian sấy 27 h thì tỷ lệ khuyết tật của gỗ sau sấy là 11,67% và độ ẩm là 10 ± 1%, đáp ứng yêu cầu về độ ẩm trong gia công và chế biến gỗ.

Từ khoá: *Xylia xylocarpa*, gỗ Cẩm xe, nhiệt độ sấy, cường độ bức xạ hồng ngoại, thời gian sấy, tỷ lệ khuyết tật, sấy chân không hồng ngoại

Experimental determination of technological parameters for Pyinkado (*Xylia xylocarpa*) drying in infrared vacuum drier

Bui Thi Thien Kim, Hoang Thi Thanh Huong, Le Anh Duc*

Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Quarter 6, Linh Trung Ward Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam

* Correspondence to Le Anh Duc <leanhduc@hcmuaf.edu.vn>

(Submitted: July 4, 2022; Accepted: September 21, 2022)

Abstract. The study intended to determine the schedule drying for Pyinkado by infrared vacuum drying method. The experimental matrix was set up according to Box and Hunter's quadratic rotational invariant multi-objective response surface optimization method to determine the technological parameters: drying temperature and infrared radiation intensity during drying. The results show that when drying Pyinkado wood sized 20 × 50 × 500 mm, the temperature of 58.9 °C and infrared radiation intensity of 634.21 W/m² are

suitable for shortening drying time and reducing wood defect. After 27 h of drying, the wood defect rate is 11.67%, with a moisture content of $10 \pm 1\%$, which is very suitable for wood processing and manufacturing.

Keywords: *Xylia xylocarpa*, Pyinkado, drying temperature, infrared radiation intensity, drying time, wood defect rate, infrared vacuum drying

1 Đặt vấn đề

Hiện nay công nghệ sấy chân không với ưu điểm là hạ thấp điểm sôi của nước, sấy nhiệt độ thấp, không làm thay đổi tính chất và thành phần hoá học vật liệu sấy và mang lại hiệu quả, đang được sử dụng nhiều lĩnh vực như sấy thực phẩm như lúa, gạo và ngũ cốc; sản phẩm nông nghiệp như cà phê, hạt điều và trà; trong sản xuất dược liệu như linh chi, nhân sâm, cây thuốc và rất nhiều sản phẩm khác phục vụ nhu cầu đời sống xã hội. Trong sản xuất chế biến gỗ, công nghệ sấy chân không cũng được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm. Stanish và cs. [1] nghiên cứu mô hình sấy các vật liệu dạng xốp; Koumoutsakos [2] và Koumoutsakos và cs. [3] nghiên cứu sấy chân không bằng sóng tần số hai loại gỗ lá kim: Tuyết tùng (Cedar) và Độc cần (Hemlock) để kiểm tra sự phân bố ẩm theo phương dọc và phương ngang theo thời gian và lượng ẩm di chuyển khi sấy gỗ chân không. Các yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến quá trình sấy bao gồm tốc độ sấy, áp suất hơi bên trong gỗ và nhiệt độ sấy. Jung và cs. [4] nghiên cứu so sánh đặc điểm của gỗ Thông đỏ khi tiến hành sấy chân không với các phương thức gia nhiệt khác nhau; các thông số công nghệ phụ thuộc vào quá trình thực hiện chế độ sấy thông qua các thông số nhiệt độ, áp suất và cường độ gia nhiệt. Kutovoy và cs. [5] nghiên cứu lý thuyết sấy chân không với ưu điểm sấy nhiệt độ thấp không ảnh hưởng đến thành phần bên trong vật liệu. Turner và Perre [6] đã nghiên cứu mô hình mô tả động lực của quá trình sấy, truyền nhiệt và ẩm ứng dụng kết hợp chân không và bức xạ nhiệt cho gỗ. Nghiên cứu được thực hiện trên gỗ giác và gỗ lõi của gỗ Dẻ gai, Linh sam và Vân sam. Kết quả cho thấy sự khác biệt không quá lớn giữa gỗ giác và gỗ lõi Dẻ gai, nhưng gỗ giác của loài này khô nhanh hơn, với nhiệt độ cao gần với nhiệt độ sôi và hoá hơi của nước trong gỗ. Dilek [7] nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sấy đến tính chất vật lý và cơ học của gỗ. Fu và cs. [8] và Guler và Dilek [9] nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số công nghệ sấy chân không sóng tần số đến tính chất vật lý và cơ học của gỗ Sồi. Scott và cs. [10] nghiên cứu các thông số công nghệ sấy ảnh hưởng đến màu sắc gỗ khi sấy chân không bức xạ nhiệt. Kết quả của các nghiên cứu cho thấy sấy chân không cho phép thúc đẩy rất mạnh quá trình thoát ẩm trong vật liệu sấy và giúp rút ngắn đáng kể thời gian sấy do tận dụng được triệt để động lực sấy: dòng ẩm, dòng nhiệt. Những ưu điểm của công nghệ sấy gỗ chân không được khai thác triệt để và góp phần nâng cao chất lượng nguyên liệu gỗ sấy và rút ngắn thời gian sấy. Kết quả nghiên cứu của các nhà khoa học trên thế giới đã chứng minh công nghệ sấy gỗ chân không là công nghệ mang đến nhiều hiệu quả cao trong công nghiệp sấy gỗ ôn đới.

Việc khẳng định những hiệu quả trên cho loại gỗ nhiệt đới, đặc biệt là những loại gỗ khó sấy, khô chậm, nhiều dầu nhựa như gỗ Cẩm xe, là vấn đề cần thiết quan tâm nghiên cứu. Cẩm xe là loại gỗ được sử dụng khá phổ biến trong các sản phẩm trang trí nội ngoại thất và các công trình xây dựng như khung bao, cửa đi, cửa sổ, cầu thang, ván sàn và các sản phẩm nội thất khác. Đồng thời, kết quả nghiên cứu là những giải pháp về quy trình góp phần nâng cao chất lượng gỗ sấy, qua đó sẽ tạo động lực cho các doanh nghiệp chế biến gỗ áp dụng công nghệ sấy gỗ chân không vào thực tế sản xuất, nhằm thúc đẩy sự phát triển công nghiệp sấy nói riêng và công nghiệp chế biến gỗ nói chung.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu

Cẩm xe có tên khoa học là *Xylia xylocarpa*, tên đồng nghĩa là *X. Dolabriformis* Benth, thuộc họ Trinh nữ (Mimosaceae). Gỗ có khối lượng riêng $877\text{--}1140\text{ kg/m}^3$ tùy thuộc vào độ ẩm của gỗ. Hệ số co rút thể tích là 0,58. Giới hạn bền khi nén dọc thớ trung bình là 867 kg/cm^2 . Giới hạn bền khi uốn tĩnh cao (1866 kg/cm^2). Sức chống tách trung bình là 19 kg/cm^2 . Hệ số uốn va đập nhỏ (0,42) [13, 14]. Gỗ dùng để thí nghiệm được nhập từ Campuchia; độ tuổi trung bình là 25–30 tuổi; gỗ tròn đường có kính 60–70 cm và chiều dài 3–7 m. Gỗ không khuyết tật, không bị sâu, nấm, mối, mọt. Nguyên liệu sau đó được mang đi cưa xẻ và cắt gia công thành kích thước $20 \times 50 \times 500$ mm (Hình 1). Đây là dạng kích thước thường dùng trong sản xuất khung tranh, tay vịn, khung bao, ván sàn và một số chi tiết trong sản phẩm gỗ nội thất.

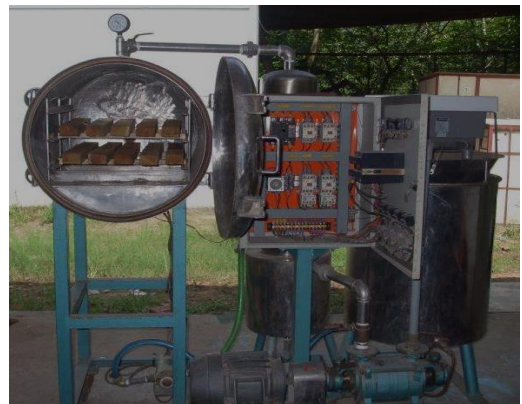
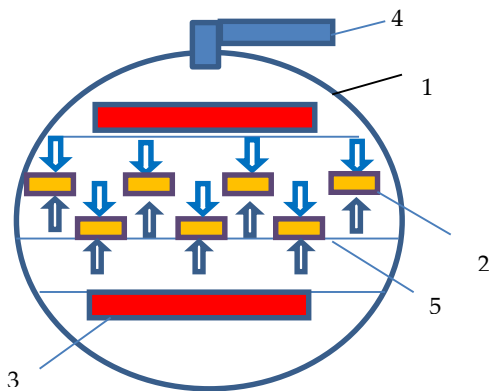


Hình 1. Gỗ Cẩm xe thí nghiệm

2.2 Phương pháp

Bảng 1. Dụng cụ và thiết bị thí nghiệm

Stt	Tên	Thông số kỹ thuật	Công dụng	Ghi chú
1	Cân điện tử	Bel Engineering, thang đo (0–3000) g; sai số ±0,01g.	Xác định khối lượng	Trước khi sấy
2	Tủ sấy thí nghiệm	Memmert, Nhiệt độ hoạt động: 5–300 °C; sai số ±1 °C	Sấy mẫu gỗ thí nghiệm	Xác định khối lượng gỗ
3	Cảm biến nhiệt độ	ASIT Gsensor, thang đo –20 °C đến 750 °C; sai số ±0,1 °C	Đo nhiệt độ	Đặt trong buồng sấy và vị trí tiếp xúc với gỗ
4	Cảm biến áp suất	Danfoss, thang đo 0–35 kg/cm ² và 0–760 mmHg; sai số ±0,05 kg/cm ² và ±0,0005 mmHg	Đo áp suất buồng sấy	Đặt trong buồng sấy, điều khiển bom chân không
5	Máy đo độ ẩm sử dụng kim	Vogel, thang đo: 2–70%; độ chính xác: 0,5–1%	Đo độ ẩm gỗ trong quá trình sấy	Máy đặt ngoài buồng sấy, kết nối dây dẫn đưa vào trong buồng, kim đo đặt vào lỗ khoan sâu đến tâm thanh gỗ
6	Máy đo độ ẩm gỗ cầm tay	Prometer - EPM-828, thang đo: 8–28%; Độ chính xác: ±0,5–1%	Đo độ ẩm gỗ sau khi sấy	Dùng máy ghim đầu kim vào thanh gỗ
7	Thiết bị đo cường độ bức xạ	TENMARS TM - 206 – Đài Loan, thang đo: 0–2000 W/m ² , 634 BTU/(ft ² xh); Đơn vị: W/m ² ; BTU	Đo cường độ bức xạ hồng ngoại	Dùng xác định cường độ bức xạ hồng ngoại



Hình 2. Máy sấy gỗ Cầm xe bằng phương pháp sấy chân không

Chú thích: 1. Buồng sấy, 2. Gỗ Cầm xe; 3. Đèn hồng ngoại; 4. Ống dẫn hút chân không; 5. Thanh kê (thanh đỡ)

Kích thước máy sấy: 700 × 1500 × 1450 mm (Hình 2)

Kích thước buồng sấy: chiều dài 600 mm, đường kính 500 mm

Công suất bơm chân không: 1,5 HP; bơm được điều khiển thông qua cảm biến

Nhiệt độ TNS: 40–70 °C, điều chỉnh đến 0,1 °C

Điện áp sử dụng: 3 pha 380 V/50 Hz

Đèn sấy hồng ngoại

- Công suất hồng ngoại: 1000 W (gồm hai thanh đèn)
- Chiều dài: 300 mm
- Đường kính: 15 mm
- Hồng ngoại bước sóng: 2–10 um
- Nhiệt độ màu: 800–1500 K

Bộ điều khiển: các thông số vận hành máy được cài đặt, hiển thị và giám sát tự động; cụ thể là nhiệt độ, áp suất, cường độ bức xạ... trong buồng sấy.

Thí nghiệm được thực hiện trên máy sấy chân không hồng ngoại (Hình 2) có thể cài đặt, hiển thị và giám sát các thông số của quá trình sấy bao gồm nhiệt độ sấy, cường độ bức xạ hồng ngoại, áp suất chân không, nhiệt độ và độ ẩm vật liệu sấy.

Xác định độ ẩm ban đầu

Xác định độ ẩm ban đầu của gỗ theo TCVN 8048–1:2009 [13]: các mẫu gỗ được cắt với kích thước 10 × 10 × 10 mm từ hai đầu tấm nguyên liệu gỗ và đặt tên là mẫu A và mẫu B (Hình 3).

Xác định độ ẩm của mẫu A và mẫu B bằng phương pháp cân sấy như sau:

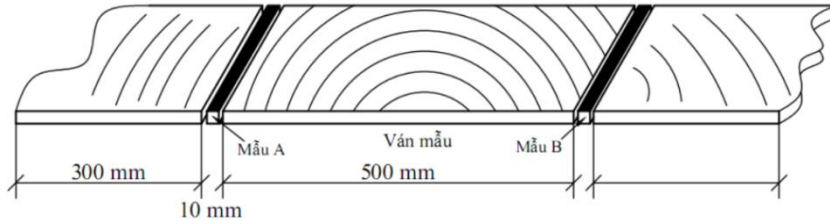
– Cân để xác định khối lượng của mẫu A và mẫu B sau đó đưa vào tủ sấy và tiến hành sấy ở 100 ± 3 °C cho đến khi khô kiệt.

– Xác định khối lượng mẫu ở độ ẩm này. Độ ẩm của mẫu A được xác định theo công thức:

$$W_A = \frac{m_A - m_{0A}}{m_A} \times 100\% \quad (1)$$

Độ ẩm của mẫu B được xác định theo công thức sau:

$$W_B = \frac{m_B - m_{0B}}{m_B} \times 100\% \quad (2)$$



Hình 3. Phương pháp cắt mẫu xác định độ ẩm ban đầu gỗ

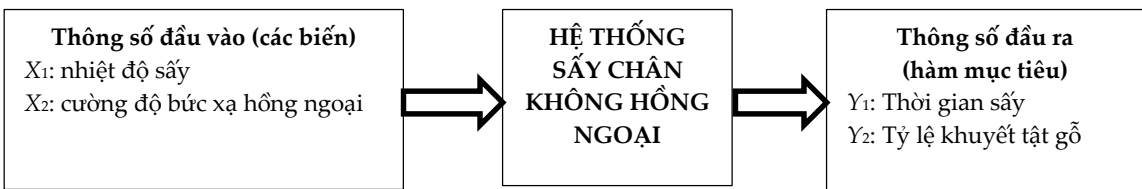
Độ ẩm của gỗ là độ ẩm trung bình của mẫu A và mẫu B

$$W_{w0IN} = \frac{W_A + W_B}{2} \tag{3}$$

trong đó m_A là khối lượng ban đầu của mẫu A (g); m_{0A} khối lượng khô kiệt của mẫu A (g); m_B là khối lượng ban đầu của mẫu B (g); m_{0B} là khối lượng khô kiệt của mẫu B (g); W_A là độ ẩm của mẫu A (%); W_B là độ ẩm của mẫu B (%); W_{w0IN} độ ẩm ban đầu của gỗ (%).

Quy hoạch thực nghiệm

Trên cơ sở lý thuyết quy hoạch thực nghiệm [12], chúng tôi áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Box-Hunter để xác định ảnh hưởng của hai yếu tố đầu vào: nhiệt độ sấy và cường độ bức xạ hồng ngoại đến thời gian sấy và tỷ lệ khuyết tật gỗ sau sấy. Mô hình bài toán hộp đen được trình bày trên Hình 3. Kế hoạch thực nghiệm bậc II được thực hiện ở các mức: mức trên (+1); mức dưới (-1); mức cơ sở (0); các mức sao mở rộng (+α) và (-α) (Bảng 2). Tiến hành sấy thực nghiệm ở 45–59 °C, áp suất chân không trong buồng sấy được điều chỉnh theo nhiệt độ sấy (0,12–0,217 bar), thực nghiệm với 13 nghiệm thức và ba lần lặp lại. Thí nghiệm được thực hiện theo ma trận ở Bảng 3.



Hình 4. Mô hình bài toán “hộp đen”

Bảng 2. Mức và khoảng biến thiên của các yếu tố nghiên cứu

Các thông số	Nhiệt độ sấy (°C)	Cường độ bức xạ hồng ngoại (W/m ²)
	X ₁	X ₂
Mức sao trên + α (+1,414)	59	741
Mức trên +1	57	700
Mức cơ sở 0	52	600
Mức dưới -1	47	500
Mức sao dưới - α (-1,414)	45	459
Khoảng biến thiên Δ	5	100

Bảng 3. Ma trận thí nghiệm sấy gỗ chân không

Stt	Dạng mã hoá		Dạng thực	
	X ₁	X ₂	Nhiệt độ sấy	Cường độ BXHN
1	-1	1	47	700
2	1	1	57	700
3	0	-1,414	52	459
4	-1	-1	47	500
5	-1,414	0	45	600
6	1	-1	57	500
7	0	0	52	600
8	1,414	0	59	600
9	0	0	52	600
10	0	1,414	52	741
11	0	0	52	600
12	0	0	52	600
13	0	0	52	600

Xác định thông số công nghệ

– Xác định thời gian sấy: đo thời gian từ khi bắt đầu sấy đến khi kết thúc quá trình sấy gỗ đạt độ ẩm $10 \pm 2\%$.

– Tiến hành đánh giá chất lượng gỗ dựa vào tiêu chuẩn EDG [11] với những tiêu chí:

- Độ ẩm trên thanh gỗ sấy
- Khuyết tật nứt, tách trên bề mặt

- Khuyết tật nứt trong
- Khuyết tật nứt đầu
- Khuyết tật mo móp, biến màu gỗ

Công thức tính phần trăm số thanh không đạt về độ ẩm như sau:

$$Y_{2'} = \frac{N_{tkd}}{N_{say}} \times 100\% \quad (4)$$

trong đó N_{tkd} là số thanh độ ẩm không đạt; N_{say} là tổng số thanh gỗ sấy; $Y_{2'}$ là tỷ lệ phần trăm không đạt độ ẩm.

Công thức tính phần trăm gỗ khuyết tật sau sấy như sau:

$$Y_{2''} = \frac{V_{kt}}{V_{say}} \times 100\% \quad (5)$$

trong đó V_{kt} là thể tích gỗ khuyết tật; V_{say} là thể tích gỗ sấy; $Y_{2''}$ là tỷ lệ phần trăm gỗ khuyết tật.

Công thức tính phần trăm tổng gỗ khuyết tật như sau:

$$Y_2 = Y_{2'} + Y_{2''} \quad (6)$$

trong đó Y_2 là tổng tỷ lệ phần trăm gỗ khuyết tật.

3 Kết quả và thảo luận

Tiến hành phương pháp cân sấy [13], chúng tôi xác định được giá trị độ ẩm ban đầu của gỗ Cẩm xe là 39–41% trước khi đưa vào thực nghiệm sấy.

Tiến hành thực nghiệm sấy gỗ chân không hồng ngoại với 13 nghiệm thức. Các thí nghiệm đa yếu tố được thực hiện để đánh giá ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến quá trình sấy và chất lượng gỗ sau khi sấy. Các thí nghiệm được tiến hành dựa trên ma trận thí nghiệm xây dựng theo quy hoạch thực nghiệm bậc II bất biến quay Box-Hunter. Kết quả thực nghiệm được trình bày trong Bảng 4.

Từ kết quả thí nghiệm, chúng tôi tiến hành kiểm tra mức ý nghĩa của các hệ số theo chuẩn *student*; các giá trị thực nghiệm được kiểm định theo chuẩn Fisher. Từ đó, chúng tôi xác định phương trình hồi quy cho Y_{25tg} và Y_{25kt} , đặc trưng cho thời gian sấy và tỷ lệ khuyết tật sau sấy.

Bảng 4. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

Stt	X_1	X_2	Y_{25tg}	Y_{25kt}
1	-1	1	41	3,28
2	1	1	27	11,94
3	0	-1,414	66	2,96
4	-1	-1	70	2,24
5	-1,414	0	68	2,76
6	1	-1	33	4,45
7	0	0	43	3,73
8	1,414	0	30	10,81
9	0	0	35	3,76
10	0	1,414	31	9,91
11	0	0	40	4,33
12	0	0	36	4,47
13	0	0	36	4,78

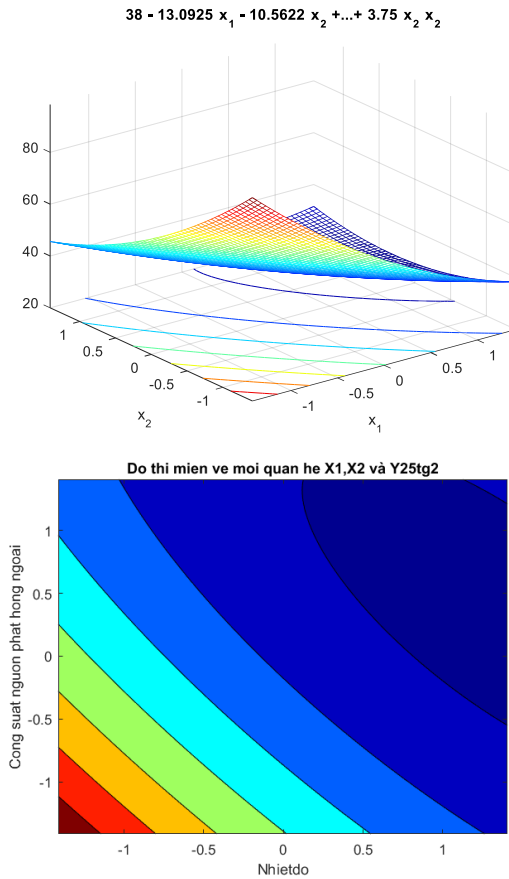
3.1 Thời gian sấy

Dựa vào phương pháp quy hoạch thực nghiệm theo phương án thực nghiệm bất biến quay bậc II của Box-Hunter trên 13 nghiệm thức, chúng tôi thu được kết quả cho thấy mối quan hệ giữa nhiệt độ sấy (X_1) và cường độ bức xạ hồng ngoại (X_2) với thời gian sấy (Y_{25tg}), thể hiện qua phương trình tương quan.

Dựa trên kết quả thực nghiệm và phân tích hồi quy đa yếu tố, sau khi loại trừ các hệ số có mức ý nghĩa $p > 0,05$, chúng tôi thu được phương trình hồi quy mô tả mối quan hệ giữa các thông số công nghệ (X_1, X_2) đến thời gian sấy (Y_{25tg}) như sau:

$$Y_{25tg} = 38 - 13,0925 \times X_1 - 10,5622 \times X_2 + 5,75 \times X_1 \times X_2 + 4 \times X_1^2 + 3,75 \times X_2^2 \quad (7)$$

Để kiểm định sự tương thích của phương trình tương quan trên với thực nghiệm, cần tiến hành kiểm định theo tiêu chuẩn Fisher với $\alpha = 0,05$ và $F_t = 2,88 < F_{1-p} = 6,5914$ và kết quả này thể hiện mô hình đảm bảo tương thích. Trên cơ sở đó, chúng tôi lập đồ thị biểu diễn chi tiết các vùng giá trị biến thiên từ thấp đến cao, trong đó giá trị cao nhất (max) thuộc vùng $[-1,414 : -1]$; giá trị thấp nhất (min) thuộc vùng $[1 : 1,414]$. Trong quá trình thực nghiệm tại các cấp nhiệt độ sấy và cường độ bức xạ hồng ngoại thay đổi, giá trị thời gian sấy có sự thay đổi theo, thể hiện rõ mức độ ảnh hưởng thông qua đồ thị trên Hình 5.



Hình 5. Đồ thị 3D và miền 2D thể hiện mối quan hệ X_1 , X_2 và Y_{25tg}

Đồ thị 3D và miền 2D biểu diễn mối tương quan giữa các thông số X_1 (nhiệt độ sấy), X_2 (cường độ bức xạ hồng ngoại) và Y_{25tg} (thời gian sấy) bằng miền lưới trong không gian và đồ thị miền thể hiện trên mặt phẳng 2D. Theo đồ thị mối quan hệ phân chia các giá trị qua các vùng khác nhau và với mong muốn đạt giá trị thời gian sấy ngắn thì vùng tối ưu thuộc khoảng [1: 1,414]. Để xác định giá trị chính xác đạt được, chúng tôi sử dụng chương trình Matlab để giải phương trình tương quan (2); kết quả được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Giá trị tối ưu – hàm thời gian Y_{25tg}

STT	Thông số đầu vào	Giá trị mã hoá	Giá trị thực	Thông số đầu ra	Giá trị tối ưu
1	X_1	1,39	58,9 °C	Y_{25tg}	27 h
2	X_2	0,3421	634,2 W/m ²		

Bảng 5 cho thấy thời gian sấy Y_{25tg} đạt giá trị thấp nhất (min) là 27 h với $X_1 = 1,39$ ($T_s = 58,9$ °C) và $X_2 = 0,3421$ ($P_{hm} = 634,21$ W/m²). Kết quả tối ưu đạt được cho thấy nhiệt độ sấy và cường độ bức xạ hồng ngoại phù hợp sẽ mang lại hiệu quả về thời gian sấy gỗ Cầm xe với kích thước $20 \times 50 \times 500$ mm. Các giá trị thông số công nghệ phù hợp là cơ sở cần thiết để lựa chọn các thông số công nghệ thiết kế lập chế độ sấy, góp phần rút ngắn thời gian sấy và mang lại hiệu quả trong quá trình sản xuất.

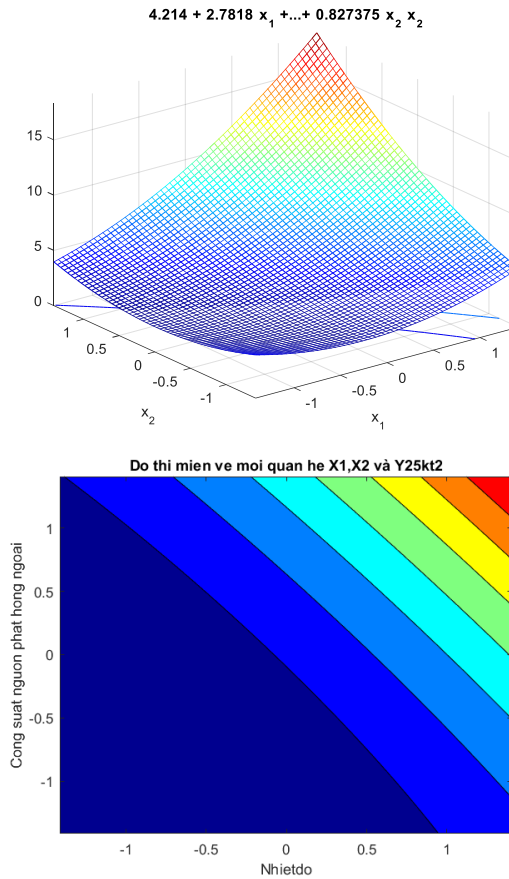
3.2 Tỷ lệ khuyết tật gỗ sau sấy

Dựa vào phương pháp quy hoạch thực nghiệm theo phương án thực nghiệm bất biến quay bậc II của Box-Hunter trên 13 nghiệm thức, chúng tôi thu được kết quả cho thấy mối quan hệ giữa các thông số công nghệ sấy và tỷ lệ khuyết tật gỗ sau sấy, thể hiện qua phương trình tương quan.

Dựa trên kết quả thực nghiệm và phân tích hồi quy đa yếu tố, sau khi loại trừ các hệ số có mức ý nghĩa $p > 0,05$, chúng tôi thu được phương trình hồi quy mô tả mối quan hệ giữa các thông số công nghệ (X_1, X_2) đến tỷ lệ khuyết tật gỗ (Y_{25kt}) như sau:

$$Y_{25kt} = 4,214 + 2,7818 \times X_1 + 2,2948 \times X_2 + 1,6125 \times X_1 \times X_2 + 1,0024 \times X_1^2 - 0,8274 \times X_2^2 \quad (8)$$

Để kiểm định sự tương thích của phương trình tương quan trên với thực nghiệm, cần tiến hành kiểm định theo tiêu chuẩn Fisher với $\alpha = 0,05$ và $F_t = 4,46 < F_{1-p} = 6,59$ và kết quả này thể hiện mô hình đảm bảo tương thích. Trên cơ sở đó, chúng tôi lập đồ thị biểu diễn chi tiết các vùng giá trị biến thiên từ thấp đến cao, trong đó giá trị cao nhất (max) thuộc vùng [1 : 1,414]; giá trị thấp nhất (min) thuộc vùng [-1,414 : -1]. Trong quá trình thực nghiệm tại các cấp nhiệt độ sấy và cường độ bức xạ hồng ngoại thay đổi, giá trị tỷ lệ khuyết tật gỗ có sự thay đổi theo, thể hiện rõ mức độ ảnh hưởng thông qua đồ thị trên Hình 6.



Hình 6. Đồ thị 3D và miền 2D thể hiện mối quan hệ X_1 , X_2 và Y_{25kt}

Đồ thị 3D biểu diễn mối tương quan giữa các thông số X_1 (nhiệt độ sấy), X_2 (cường độ bức xạ hồng ngoại) và Y_{25kt} (khuyết tật gỗ) bằng miền lưới trong không gian và đồ thị miền thể hiện trên mặt phẳng 2D. Theo đồ thị mối quan hệ phân chia các giá trị qua các vùng khác nhau và với mong muốn đạt giá trị khuyết tật gỗ càng nhỏ thì vùng tối ưu thuộc khoảng $[-1,414 : -1]$. Để xác định giá trị chính xác đạt được, chúng tôi sử dụng chương trình Matlab để giải phương trình tương quan (3); kết quả được trình bày trong Bảng 6.

Bảng 6. Giá trị tối ưu – hàm khuyết tật gỗ sau sấy Y_{25kt} (%)

STT	Thông số đầu vào	Giá trị mã hoá	Giá trị thực	Thông số đầu ra	Giá trị tối ưu
1	X_1	-1,2587	45,7 °C	Y_{25kt}	2,28 (%)
2	X_2	-0,1603	583,97 W/m ²		

Bảng 6 cho thấy tỷ lệ khuyết tật gỗ Y_{25kt} (%) đạt giá trị thấp nhất là 2,28% với $X_1 = -1,2587$ ($T_s = 45,7$ °C) và $X_2 = -0,1603$ ($P_{hn} = 583,97$ W/m²). Kết quả tối ưu đạt được cho thấy nhiệt độ sấy và cường độ bức xạ hồng ngoại ảnh hưởng đến tỷ lệ khuyết tật gỗ sau sấy. Vì vậy, cần thiết phải lựa chọn các thông số công nghệ trong vùng phù hợp để góp phần giảm tỷ lệ khuyết tật gỗ trong quá trình sấy. Với gỗ Cẩm xe kích thước 20 × 50 × 500 mm, nhiệt độ sấy 45,7 °C và cường độ bức xạ hồng ngoại 583,9 W/m² cho kết quả khuyết tật thấp nhất (2,28%).

Mục đích của bài toán tối ưu hoá là xác định giá trị của các thông số công nghệ sao cho các hàm mục tiêu có giá trị tối ưu. Đối với bài toán tối ưu hoá đa mục tiêu, trong quá trình sấy chân không hồng ngoại gỗ Cẩm xe, giá trị tối ưu của các biến X_1, X_2 được xác định sao cho giá trị các hàm mục tiêu Y_{25tg} và Y_{25kt} cùng nhỏ nhất trong phạm vi $-1,414 \leq X_1, X_2 \leq 1,414$. Phương pháp đáp ứng bề mặt (Response Surface Method – RSM) được sử dụng trong để xác định các thông số công nghệ phù hợp cho quá trình sấy.

Sử dụng chức năng Multiple Response Optimization trong phần mềm Statgraphics, version 15.1.02, chúng tôi thực hiện việc tính toán tối ưu hoá các thông số công nghệ trong quá trình sấy gỗ với sự hỗ trợ của phần mềm Matlab. Chúng tôi đã xác định được giá trị của các biến và trình bày trong Bảng 7.

Kết quả cho thấy để thời gian sấy ngắn nhất (27,09 h) và tỷ lệ khuyết tật gỗ thấp nhất (11%) thì thông số công nghệ phù hợp nhất để sấy gỗ Cẩm xe là nhiệt độ sấy $T_s = 58,9$ °C và cường độ bức xạ hồng ngoại là $P_{hn} = 634,21$ W/m². Kết quả đạt được là cơ sở khoa học cho việc xây dựng chế độ sấy trên máy sấy chân không hồng ngoại cho gỗ Cẩm xe kích thước 20 × 50 × 500 mm.

Bảng 7. Giá trị tối ưu hàm đa mục tiêu Y_{sum25}

STT	Thông số đầu vào	Giá trị mã hoá	Giá trị thực	Thông số đầu ra	Giá trị tối ưu
1	X_1	1,3907	58,9 °C	Y_{25tg}	27,09 (giờ)
2	X_2	0,3421	634,21 W/m ²	Y_{25kt}	11,67 (%)

4 Kết luận

Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm và phân tích số liệu đa yếu tố cho thấy máy sấy chân không hồng ngoại phù hợp để sấy các loại vật liệu tự nhiên dạng thanh rời, cấu trúc xốp như gỗ kích thước 20 × 50 × 500 mm. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình sấy gỗ trên máy sấy là nhiệt độ sấy và cường độ bức xạ hồng ngoại. Các phương trình hồi quy bậc II đã được xây dựng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các thông số công nghệ đến các hàm mục tiêu gồm thời gian sấy và tỷ lệ khuyết tật gỗ sau sấy. Các thông số công nghệ phù hợp cho quá trình sấy gỗ là nhiệt độ sấy 58,9 °C và cường độ bức xạ hồng ngoại 634,21 W/m². Ở chế độ sấy này, thời gian sấy kỳ vọng

là 27 h và tỷ lệ khuyết tật gỗ Cầm xe kỳ vọng sau khi sấy là 11,67%. Các thông số trên là cơ sở khoa học cho việc ứng dụng vào thực tiễn sản xuất cho các doanh nghiệp chế biến gỗ.

Tài liệu tham khảo

1. Stanish, M. A., Schajer, G. S., Kayihan, F. A. (1986), Mathematical model of drying for hygroscopic porous media, *AIChE Journal*, 32(8), 1301–1311.
2. Koumoutsakos, A. (2001), Modelling radio frequency vacuum drying of wood, Doctor of Philosophy, University of British Columbia.
3. Koumoutsakos, A., Avramidis, S., Hatzikiriakos Savvas, G. (2001), Radio frequency vacuum drying of wood. I, *Mathematical model, drying technology*, 19(1), 65–84.
4. Jung, H. S., Kang, W., Eom, C. D., So, B. J. (2003), Comparison of vacuum drying characteristics of red pine square timber using different heating methods, 8th International IUFRO Wood Drying Conference.
5. Kutovoy, L. Nikolaichuk and Slyesov, V. (2004), Theory of vacuum drying, Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004) São Paulo, Brazil, A, 266–271.
6. Turner I. W., Perre P. (2004), Vacuum Drying of Wood with Radiative Heating: I. Experimental procedure, *AIChE Journal*, 50(1), 108–118.
7. Dilek, B. (2019), *Some Physical and Mechanical Properties of Dried Lumber in Vacuum with High Frequency Heating*, Master's Thesis, Duzce University, Duzce, Turkey.
8. Fu, Z., Avramidis, S., Weng, X., Cai, Y., and Zhou, Y. (2019), Influence mechanism of radio frequency heating on moisture transfer and drying stress in larch boxed-heartsquare timber, *Drying Technology*, 37(13), 1625–1632.
9. Guler, C., and Dilek, B. (2020), Investigation of high-frequency vacuum drying on physical and mechanical properties of common oak (*Quercus robur*) and common walnut (*Juglans regia*) lumber, *BioRes.*, 15(4), 7861–7871.
10. Scott Lyon, Scott Bowe, Michael Wiemann (2021), *Comparing Vacuum Drying and Conventional Drying Effects on the Coloration of Hard Maple Lumber*, Research Paper FPL-RP-708, Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
11. Welling, J., Aleon, D., Cont, S., Bemett, G., Esping, B., Forsen, H., Tronstad, S., Gard, W., Militz, H., Alvarez Noves, H., Sorensen, C. B., Boye, Chr., Ressel, J. (1994), *The EDG Recommendation on Assessment of drying quality of Timber*, 30p.
12. Nguyễn Cảnh (1993), *Quy hoạch thực nghiệm*, Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh.
13. Lê Xuân Tình (1998), *Khoa học gỗ*, Nxb. Nông nghiệp, Hà Nội.

14. Nguyễn Đình Hưng, Lê Thu Hiền, Đỗ Văn Bản (2008), *Át – lát cấu tạo, tính chất gỗ và tre Việt Nam*, 1, Nxb. Nông Nghiệp, Hà Nội.