

ẢNH HƯỞNG CÁC THÔNG SỐ THIẾT KẾ ĐẾN ĐỘ BỀN CƠ CẤU THU HOẠCH HÀNH TÍM

EFFECTS OF DESIGN PARAMETERS ON THE DURABILITY OF A SHALLOT-HARVESTING MECHANISM

NGUYỄN HỮU NGHĨA^{1,a}, TRẦN HỮU DANH²,
NGUYỄN THUẬN HẢI ĐĂNG²

¹Trường Cao đẳng nghề Vĩnh Long,

²Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

^aTác giả liên hệ: Huu Nghia15t@gmail.com

Phản biện (Reviewed): 20/2/2026; Chấp nhận (Accepted): 16/3/2026

TÓM TẮT

Bài báo xây dựng mô hình cơ cấu thu hoạch hành tím với ba biên dạng (dạng dao xúc, dạng hình thang, dạng tam giác) và phân tích trên phần mềm Ansys Workbench. Dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, cơ cấu thu hoạch được mô phỏng tải làm việc thực tế để tìm ra ứng suất tương đương và tần số riêng đáp ứng điều hòa và biên độ rung của lưỡi. Trên nền dữ liệu mô phỏng, ma trận Taguchi L27 được thiết kế cho bốn thông số gồm bề dày lưỡi t , bán kính mũi R , khoảng cách lưỡi s và biên dạng p . Nghiên cứu đã xây dựng được mô hình RSM bậc hai, kiểm định ANOVA và R^2 , vẽ biểu đồ Contour 3D trực quan giúp nhận diện xu thế ảnh hưởng của các tham số. Bên cạnh đó việc tối ưu đa mục tiêu bằng hàm desirability nhằm giảm ứng suất và biên độ, tăng tần số riêng. Kết quả của nghiên cứu đã tìm ra được bộ thông số thiết kế tối ưu giúp nâng cao độ bền, giảm rung và cải thiện ổn định làm việc của cơ cấu thu hoạch hành tím.

Từ khóa: Cơ cấu thu hoạch, Lưỡi thu hoạch hành tím, Tối ưu thiết kế, Bề mặt đáp ứng.

ABSTRACT

A model of the shallot harvesting mechanism with three blade profiles (scoop-type, trapezoidal, and triangular) was built in Autodesk Inventor and imported into ANSYS Workbench. Using the finite element method, realistic operating loads were simulated to analyze equivalent (von Mises) stress, natural frequencies and harmonic response, and the blade's vibration amplitude. Based on the simulation/experimental dataset, a Taguchi L27 design was created for four design variables-blade thickness t , tip radius R , blade spacing s , and profile P . Second-order response surface (RSM) models were developed and validated with ANOVA and R^2 , and 3D contour plots were generated to visualize parameter effects. Multi-objective optimization with a desirability function was performed to reduce stress and vibration amplitude while increasing natural frequency. An optimal set of design parameters was identified, improving durability, reducing vibration, and enhancing the operational stability of the shallot harvesting mechanism.

Keywords: Harvesting mechanism, Shallot harvester blade, Design optimization, Response surface.

1. GIỚI THIỆU

Hành tím (*Allium ascalonicum*) là cây trồng chủ lực tại địa phương và nhiều vùng chuyên canh, đòi hỏi nghiêm ngặt về chất lượng đất và kỹ thuật thu hoạch. Thực tiễn cho thấy phần lớn các công đoạn từ thu hoạch đến tiêu thụ vẫn được thực hiện thủ công. Tỷ lệ tổn thất sau thu hoạch ghi nhận là 20,48% đối với hành tím bó tiêu thụ nội địa là 28,73% đối với hành tím bó phục vụ xuất khẩu và 30,26% đối với hành tím đã tía lá cho xuất khẩu. Hao hụt lớn và lao động nặng nhọc, số liệu định lượng về tổn thất sau thu hoạch ở Philippines từ 20–30% [1]. Các cơ cấu thu hoạch hiện còn gây tổn thất củ, tiêu hao nhiên liệu cao, mài mòn nhanh và phát sinh thời gian dừng máy.

Về phương diện học thuật và kỹ thuật, phần lớn công bố hiện nay chỉ chủ yếu tập trung vào tối ưu tham số vận hành như theo nhóm nghiên cứu dẫn đầu bởi Narender và cộng sự đã nghiên cứu hiệu suất của máy đào hành tím hành vận hành bằng máy kéo [2], hay Omar và cộng sự đã thiết kế một máy gặt ngọn và nâng củ hành tím với khuyến nghị vận hành máy thu hoạch hành tím ở độ sâu thu hoạch 10 cm và tốc độ máy là 0,720 km/h [3]. Bên cạnh đó, Nour và cộng sự phát triển một máy thu hoạch hành tím tại địa phương chỉ ra rằng để có công suất tối ưu, sử dụng năng lượng và tổng chi phí thấp thì tốc độ máy lý tưởng và độ ẩm đất lần lượt là 3,1 km/h và 15,8% (db) [4]. Ngoài ra, Gautam và cộng sự đã phát triển một máy đào hành tím nhằm mục đích nâng giảm thiểu thiệt hại củ và tăng năng suất tổng thể, kết quả tốt nhất đạt được với góc đặt lưỡi 20° ở tốc độ tiến của máy là 2,0 km/h [5]. Trong khi đó lại thiếu một khung thiết kế định lượng, việc lựa chọn kích thước và hình dạng cơ cấu làm việc của máy nông nghiệp thường phải dựa nhiều vào kinh nghiệm và hệ số an

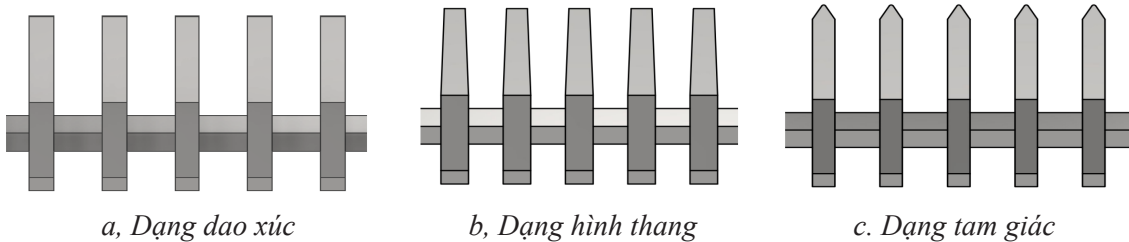
toàn lớn, dẫn tới xu hướng thiết kế dư bền với kết cấu nặng và tốn vật liệu, hoặc thiếu bền với nguy cơ phá hỏng đột ngột dưới tải thực tế [6], [7], vì vậy cần có phương pháp suy ngược tải từ dữ liệu làm việc thực tế để hiệu chỉnh hệ số dự trữ bền trong thiết kế [8]. Đối với các cơ cấu dạng lưỡi làm việc trong đất, nhiều công trình sử dụng FEA hoặc DEM đều khẳng định rằng hình học và thông số kết cấu của lưỡi có ảnh hưởng quyết định đến ứng suất, biến dạng và đặc tính động lực học, từ đó chi phối cả tuổi thọ và hiệu quả làm việc của lưỡi [7], [9], [10]. Ding và cộng sự tối ưu cấu trúc lưỡi trộn đất, rom dựa trên mô hình DEM, cho thấy các góc cấu tạo và bán kính cong của lưỡi ảnh hưởng mạnh đến trạng thái làm việc và tuổi thọ lưỡi [9]. Prasetiyo và cộng sự dụng FEA trên nhiều phương án lưỡi làm cỏ khác nhau để so sánh ứng suất, biến dạng và chọn ra biên dạng phù hợp [10]. Ngoài ra, Shinde và Kajale phân tích ứng suất Von Mises và hệ số an toàn cho các chi tiết của cụm lưỡi làm đất nhằm tối ưu thiết kế và nâng cao độ tin cậy [6]. Hiện nay, có thể thấy rằng các phương pháp tối ưu kết cấu dựa trên CAE/FEA đã được áp dụng khá rộng rãi cho lưỡi làm đất, lưỡi trộn, lưỡi làm cỏ [6]-[10], nhưng đến nay chưa có công trình nào xây dựng mô hình định lượng liên hệ trực tiếp giữa các biến thiết kế chủ đạo của cơ cấu thu hoạch hành tím điều này tạo ra khoảng trống nghiên cứu mà đề tài hướng tới.

Từ khoảng trống nêu trên, nghiên cứu này tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số thiết kế đến độ bền cơ cấu thu hoạch hành tím, xây dựng cơ sở lý thuyết và bộ tiêu chí đo lường chuyên biệt cho cơ cấu thu hoạch hành tím, đồng thời chuẩn hóa cách xác định ba chỉ tiêu trọng yếu gồm ứng suất cực trị V (Mpa), biên độ dao động điều hòa A (mm) và tần số riêng f

(Hz). Cách tiếp cận được đề xuất gồm xây dựng mô hình CAD/CAE để dựng mô hình tham số, quy hoạch thí nghiệm với 3 mức cho các yếu tố bề dày lưỡi t (mm), bán kính mũi R (mm), khoảng cách các lưỡi s (mm), biên dạng lưỡi P xây dựng mô hình bề mặt đáp ứng RSM bậc hai và ANOVA để suy ra phương trình dự báo đã kiểm chứng độ tin cậy bằng các chỉ số R^2 . Hình thành đồ thị Contour 3D cho thấy ảnh hưởng của các tham số theo t, R, s cho từng biên dạng P . Cuối cùng, tối ưu đa mục tiêu bằng hàm desirability, thiết lập mục tiêu, ràng buộc và mức ưu tiên cho V, A, f , qua đó chuẩn hóa quy trình thiết kế và lựa chọn bộ tham số tối ưu cho cơ cấu thu hoạch hành tím theo hướng nâng cao độ bền, giảm rung, cải thiện ổn định làm việc, đồng thời tiết kiệm năng lượng, vật tư và giảm thời gian dừng máy.

2. NỘI DUNG

2.1. Mô hình 3D và thiết kế thí nghiệm

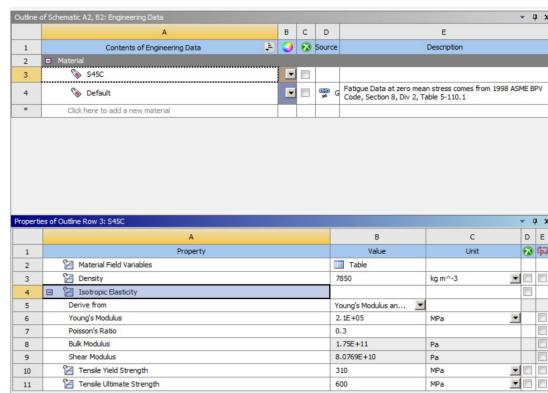


Hình 1. Các dạng lưỡi thu hoạch hành tím

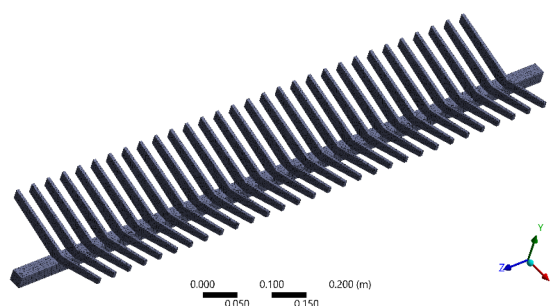
Vật liệu chế tạo lưỡi thu hoạch được lựa chọn là thép C45, một loại thép cacbon trung bình thông dụng trong chế tạo chi tiết chịu tải uốn và va đập. Trong ANSYS Workbench, vật liệu được khai báo trong mục Engineering Data với các tham số chính: môđun đàn hồi $E = 2,1 \times 10^5$ MPa, hệ số Poisson $\nu = 0,30$, khối lượng riêng $\rho = 7850$ kg/m³ giới hạn chảy kéo $\sigma_y \approx 310$ Mpa và giới hạn bền kéo $\sigma_u \approx 600$ MPa. Các thông số này được gán cho toàn bộ body lưỡi trong mô hình phần tử hữu hạn, làm cơ sở để phân tích trạng thái ứng suất,

Đối với cơ cấu thu hoạch hành tím, bề dày lưỡi, bán kính mũi, khoảng cách lưỡi và biên dạng hình học là các kích thước then chốt chi phối lắp ráp và điều kiện làm việc. Vì vậy, trong nghiên cứu này bề dày t (mm), bán kính mũi R (mm), khoảng cách lưỡi s (mm) và biên dạng P (dạng dao xức, hình thang, tam giác) được chọn làm thông số đầu vào để tối ưu vì dễ điều chỉnh mà không ảnh hưởng trực tiếp đến lắp ráp. Dữ liệu đáp ứng đầu ra của cơ cấu thu hoạch hành tím được trích xuất trực tiếp từ phần mềm mô phỏng phần tử hữu hạn ANSYS Workbench. Cụ thể, hệ thống đơn vị và phương pháp trích xuất được quy định như sau: Ứng suất tương đương Von-Mises lớn nhất (MPa) và Biên độ dao động cực đại (mm) được xác định thông qua phân tích đáp ứng điều hòa (Harmonic Response). Tần số dao động (Hz) được trích xuất từ phân tích dạng phương thức (Modal Analysis).

dao động và tần số của cơ cấu thu hoạch hành tím.

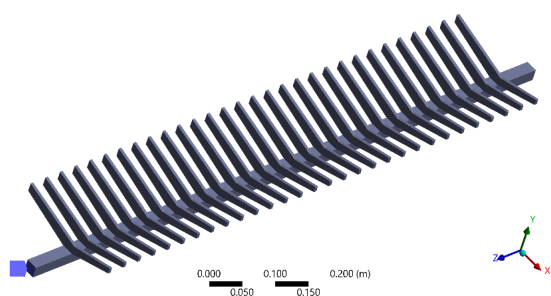


Hình 2. Khai báo vật liệu trong ANSYS Workbench



Hình 3. Chia lưới cụm cơ cấu thu hoạch hành tím trên phần mềm ANSYS Workbench

Số lần lặp cho mỗi thí nghiệm trong ma trận được thiết lập là 1 ($n=1$). Để loại trừ sai số hệ thống do rời rạc hóa hình học và đảm bảo độ tin cậy tuyệt đối của dữ liệu trích xuất, nghiên cứu đã tiến hành kiểm tra tính độc lập của lưới (Mesh independence test). Kích thước phần tử lưới được tinh chỉnh tuần tự cho đến khi sai số đáp ứng giữa hai cấu hình lưới liên tiếp đạt mức hội tụ (nhỏ hơn 5%). Mô hình lưới tối ưu này sau đó được áp dụng đồng nhất cho toàn bộ 27 thí nghiệm, đảm bảo dữ liệu đầu vào chuẩn xác cho mô hình hồi quy thống kê.



Hình 4. Thiết lập điều kiện biên (vị trí ngàm liên kết) cho cụm cơ cấu trên phần mềm ANSYS Workbench.

Đối với cơ cấu thu hoạch hành tím đang xét, cụm lưỡi được lắp trên một thanh đỡ và đầu thanh được bắt cứng vào khung máy. Trong mô hình FEM, vùng 2 đầu thanh này được gán điều kiện ngàm cố định (Fixed Support), khóa toàn bộ dịch chuyển và quay của các nút tại đây, trong khi phần thanh còn lại và các lưỡi được để tự do biến dạng phù hợp với điều kiện liên kết thực tế của cơ cấu làm việc. Tải trọng tác dụng lên lưỡi là phản lực tiếp xúc đất – lưỡi trong quá trình thu hoạch. Từ đó ta dựa vào công thức ước lượng lực cản đất theo lý thuyết nông cụ:

$$F = k.b.d = 50,000.0,01.0,1 = 50N/\text{Lưỡi} \quad (1)$$

Trong đó:

F : Lực cản đất (N)

b : Bề rộng làm việc của lưỡi (m)

d : Độ sâu cày (m)

k : Hệ số lực cản đất (N/m^2), phụ thuộc loại đất:

+ Đất cát khô: 30,000–50,000 N/m^2

+ Đất thịt: 50,000–100,000 N/m^2

+ Đất sét ướt: 100,000–150,000 N/m^2

Ba hàm mục tiêu gồm: ứng suất V (MPa), biên độ dao động A (mm) và tần số riêng f (Hz). Phân tích Taguchi được thực hiện trên trung bình và chỉ số S/N: Smaller-the-Better cho V và A , Larger-the-Better cho f , kèm ANOVA để định lượng mức ảnh hưởng và mức ý nghĩa của từng yếu tố.

Bảng 1. Giá trị mã hóa và các thông số thực nghiệm

STT	Thông số	Mức 1	Mức 2	Mức 3
		1	2	3
1	Biên dạng lưỡi (P)	Lưỡi dao xúc	Lưỡi hình thang	Lưỡi tam giác
2	Bề dày lưỡi (t)	5	10	15
3	Bán kính mũi lưỡi (R)	1	1.5	2
4	Khoảng cách các lưỡi (S)	20	25	30

2.2. Kết quả phân tích FEA và S/N

Phân tích FEA được thực hiện cho 27 mô hình cơ cấu thu hoạch hành tím với các

tổ hợp thông số t , R , S và biên dạng P , các đáp ứng gồm V , f , A . Kết quả chi tiết của 27 thí nghiệm được tổng hợp trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phân tích FEA và S/N

STT	Biến mã hóa				V (Mpa)	A (mm)	f (Hz)	S/N V	S/N A	S/N f
	X1	X2	X3	X4						
1	1	1	1	1	202.89	3.71	176.5	-46.15	-11.39	44.93
2	1	1	1	2	600.86	10.51	181.5	-55.58	-20.43	45.18
3	1	1	1	3	809.4	14.02	189	-58.16	-22.93	45.53
4	1	2	2	1	259.22	4.48	140.2	-48.27	-13.03	42.93
5	1	2	2	2	282.42	4.68	137.6	-49.02	-13.40	42.77
6	1	2	2	3	235.43	4.2	158.5	-47.44	-12.46	44.00
7	1	3	3	1	615.14	10.01	119.4	-55.78	-20.01	41.54
8	1	3	3	2	371.37	5.85	125	-51.40	-15.34	41.94
9	1	3	3	3	337.46	5.32	130.8	-50.56	-14.52	42.33
10	2	1	2	1	333.08	3.37	125.8	-50.45	-10.55	41.99
11	2	1	2	2	244.94	2.92	134.2	-47.78	-9.31	42.56
12	2	1	2	3	154.77	2.95	163.5	-43.79	-9.40	44.27
13	2	2	3	1	871.91	3.37	114.2	-58.81	-10.55	41.15
14	2	2	3	2	490.57	8.2	131.5	-53.81	-18.28	42.38
15	2	2	3	3	227.78	3.21	127.6	-47.15	-10.13	42.12
16	2	3	1	1	310.5	4.55	109	-49.84	-13.16	40.75
17	2	3	1	2	281.93	4.16	114.2	-49.00	-12.38	41.15
18	2	3	1	3	259.69	3.96	119.4	-48.29	-11.95	41.54
19	3	1	3	1	302.59	4.86	175.6	-49.62	-13.73	44.89
20	3	1	3	2	721.15	13.35	188	-57.16	-22.51	45.48
21	3	1	3	3	498.23	8.47	190.5	-53.95	-18.56	45.60
22	3	2	1	1	300.4	5.15	130.2	-49.55	-14.24	42.29
23	3	2	1	2	259.85	4.49	138	-48.29	-13.04	42.80
24	3	2	1	3	244.51	4.21	145.4	-47.77	-12.49	43.25
25	3	3	2	1	510.3	8.64	118.6	-54.16	-18.73	41.48
26	3	3	2	2	419.14	7.19	124.6	-52.45	-17.13	41.91
27	3	3	2	3	372.41	6.23	130.2	-51.42	-15.89	42.29

2.3. Mô hình RSM

Phương pháp RSM được áp dụng để xây dựng các mô hình dự đoán cho ba đáp ứng quan trọng của cơ cấu thu hoạch hành tím là V, f và A [11]. Trên cơ sở ma trận Taguchi L27, bốn biến thiết kế được mã hoá dạng $x_1=t$, $x_2=R$, $x_3=s$ và $x_4=p$.

Trong đó các biến định lượng (Continuous variables - t, R, S) và biến định tính (Categorical variable - Biên dạng lưỡi P) được áp dụng phân tích hồi quy bề mặt đáp ứng (Response Surface Regression) kết hợp kỹ thuật biến giả (Dummy Variables) tích hợp trong phần mềm Minitab.

Phương trình hồi quy ứng suất:

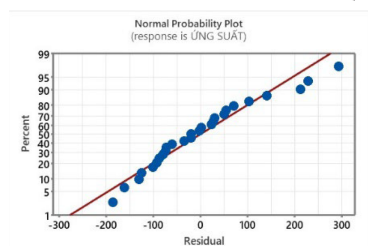
$$\begin{cases} V_{DX} = 34.9t + 118.4R + 7.94S - 1.473t \cdot S \\ V_{HT} = -28.5 + 34.9t + 118.4R + 7.94S - 1.473t \cdot S \\ V_{TG} = 42.0 + 34.9t + 118.4R + 7.94S - 1.473t \cdot S \\ R^2 = 0.9077 \end{cases} \quad (2)$$

Phương trình hồi quy biên độ:

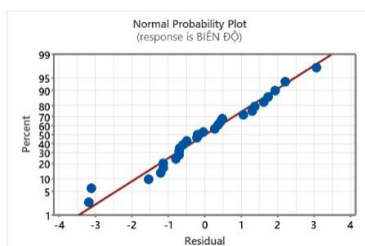
$$\begin{cases} A_{DX} = 0.238t - 4.89R + 0.771S + 0.0903t^2 - 0.0715t \cdot S \\ A_{HT} = -18.42 + 0.238t + 5.81R + 0.771S + 0.0903t^2 - 0.0715t \cdot S \\ A_{TG} = -10.03 + 0.238t + 1.35R + 0.771S + 0.0903t^2 - 0.0715t \cdot S \\ R^2 = 0.9489 \end{cases} \quad (3)$$

Phương trình hồi quy tần số:

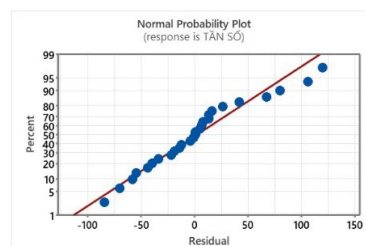
$$\begin{cases} f_{DX} = 0.16t + 52.8R + 4.06S \\ f_{HT} = -43.5 + 0.16t + 52.8R + 4.06S \\ f_{TG} = -18.8 + 0.16t + 52.8R + 4.06S \\ R^2 = 0.9197 \end{cases} \quad (4)$$



a, Xác suất chuẩn ứng suất



b, Xác suất chuẩn biên độ



c, Xác suất chuẩn tần số

Biểu đồ cho thấy các điểm trên biểu đồ xác suất chuẩn đều phân bố khá sát đường thẳng chuẩn, chỉ lệch nhẹ ở vùng đuôi.

Bảng 3. Phân tích ANOVA cho mô hình hồi quy của ứng suất

Nguồn	Bậc tự do (DF)	Tổng các bình phương (SS)	Đóng góp	Tổng bình phương điều chỉnh (SS)	Trung bình điều chỉnh (MS)	Giá trị F	Giá trị P
Mô hình	6	3646784	90.77%	3646784	607797	34.43	0.000
t	1	2965250	73.81%	75099	75099	4.25	0.052

Nguồn	Bậc tự do (DF)	Tổng các bình phương (SS)	Đóng góp	Tổng bình phương điều chỉnh (SS)	Trung bình điều chỉnh (MS)	Giá trị F	Giá trị P
R	1	567586	14.13%	66214	66214	3.75	0.066
S	1	10342	0.26%	51358	51358	2.91	0.103
P	2	26269	0.65%	22617	11308	0.64	0.537
t*S	1	77337	1.93%	77337	77337	4.38	0.049
Sai số thuần	21	370673	9.23%	370673	17651		
Tổng	27	4017457	100.00%				

Bảng 4. Phân tích ANOVA cho mô hình hồi quy của biên độ

Nguồn	Bậc tự do (DF)	Tổng các bình phương (SS)	Đóng góp	Tổng bình phương điều chỉnh (SS)	Trung bình điều chỉnh (MS)	Giá trị F	Giá trị P
Mô hình	9	1079.40	94.89%	1079.40	119.933	37.17	0.000
t	1	809.76	71.19%	0.51	0.513	0.16	0.695
R	1	117.73	10.35%	23.60	23.604	7.32	0.015
S	1	29.08	2.56%	106.62	106.624	33.05	0.000
P	2	23.35	2.05%	64.30	32.150	9.97	0.001
t*t	1	0.00	0.00%	20.24	20.240	6.27	0.022
t*S	1	49.11	4.32%	85.27	85.272	26.43	0.000
R*P	2	50.37	4.43%	50.37	25.185	7.81	0.004
Sai số thuần	18	58.07	5.11%	58.07	3.226		
Tổng	27	1137.47	100.00%				

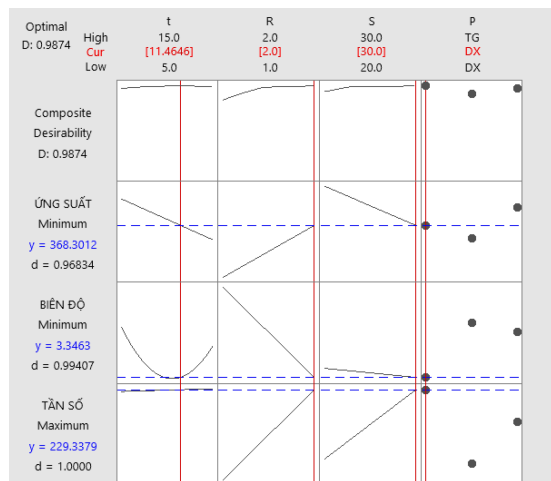
Bảng 5. Phân tích ANOVA cho mô hình hồi quy của tần số

Nguồn	Bậc tự do (DF)	Tổng các bình phương (SS)	Đóng góp	Tổng bình phương điều chỉnh (SS)	Trung bình điều chỉnh (MS)	Giá trị F	Giá trị P
Mô hình	5	733950	91.97%	733950	146790	50.42	0.000
t	1	606639	76.02%	13	13	0.00	0.947
R	1	102727	12.87%	16196	16196	5.56	0.028
S	1	15825	1.98%	19802	19802	6.80	0.016
P	2	8758	1.10%	8758	4379	1.50	0.244
Sai số thuần	22	64055	8.03%	64055	2912		
Tổng	27	798005	100.00%				

Phân tích phương sai (ANOVA) đã được thực hiện với mức ý nghĩa $\alpha = 0.05$ (độ tin cậy 95%). Trong phân tích này, các yếu tố có giá trị P-Value < 0.05 được coi là có ý nghĩa thống kê. Các mô hình hồi quy mô hình đã qua bước loại bỏ các yếu tố nhiễu không có ý nghĩa nhằm tăng độ chính xác dự đoán.

2.5. Tối ưu hóa đa mục tiêu

Trong bài toán thiết kế lưỡi, ba đáp ứng cần tối ưu đồng thời. Do các mục tiêu có xu hướng xung đột (conflicting objectives), phương pháp tối ưu đơn mục tiêu không còn phù hợp. Vì vậy, để chọn cấu hình cơ cấu thu hoạch hành tím cân bằng giữa độ bền, rung, ổn định, nghiên cứu tiến hành tối ưu đa mục tiêu dựa trên hàm desirability (D). Mục tiêu tối ưu giảm ứng suất, giảm biên độ rung, tăng tần số riêng.



Hình 5. Đồ thị tối ưu hóa đa mục tiêu bằng RSM

Bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu bằng hàm Desirability đã xác định được không gian nghiệm thiết kế tối ưu. Đối với biến định tính, thuật toán đã đánh giá toàn diện không gian khảo sát và chỉ ra rằng biên dạng dao xúc ($p = DX$) mang lại mức độ đáp ứng đa mục tiêu cao nhất. Kết hợp với các thông số định lượng, bộ cấu hình tối ưu được xác lập tại bề dày lưỡi $t = 11.5$ mm, bán kính mũi $R = 2$ mm, khoảng cách lưỡi

$s = 30$ mm. Tại tọa độ tối ưu này, các hàm mục tiêu đạt được những giá trị ứng suất tương đương cực tiểu $V = 368.30$ MPa, tần số riêng tự nhiên cực đại $f = 229.34$ Hz, và biên độ dao động cực tiểu $A = 3.35$ mm. Giá trị hàm Desirability $D = 0.9874$ (tiệm cận mức tuyệt đối 1.0) cung cấp luận cứ thống kê có độ tin cậy cao, chứng minh hệ thống đã đạt được trạng thái cân bằng tối ưu giữa độ bền kết cấu và đáp ứng động lực học.

3. KẾT LUẬN

Thông qua việc giải quyết bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu bằng hàm Desirability Function dựa trên mô hình bề mặt đáp ứng (RSM), nghiên cứu đã xác lập thành công bộ thông số thiết kế hình học và công nghệ lý tưởng nhất cho cụm cơ cấu thu hoạch hành tím. Cụ thể, cấu hình tối ưu được xác định tại bề dày lưỡi $t = 11.5$ mm, bán kính mũi $R = 2$ mm, khoảng cách lưỡi $s = 30$ mm kết hợp cùng biên dạng dao xúc $p = DX$. Ứng suất tương đương cực đại tại cấu hình tối ưu duy trì ở mức an toàn, thấp hơn nhiều so với giới hạn chảy của thép C45. Kết quả này bảo đảm hệ số dự trữ độ bền cao cho thấy sự hợp lý giữa yêu cầu độ bền và sự ổn định trong quá trình làm việc của cơ cấu thu hoạch hành tím. Đồng thời, giá trị tần số riêng đạt 229.34 Hz đặt hệ kết cấu ra khỏi dải tần kích thích làm việc thông thường của máy, giúp giảm khả năng xảy ra cộng hưởng và các dạng rung động nguy hiểm. Biên độ dao động khoảng 3.35 mm ở nghiệm tối ưu cũng ở mức chấp nhận được, góp phần duy trì chuyển động tương đối ổn định của cơ cấu, hạn chế va đập lên củ hành. Như vậy, bộ thông số tối ưu vừa nâng cao độ bền, vừa cải thiện ổn định dao động của cơ cấu, qua đó hỗ trợ giảm thời gian dừng máy và nâng cao chất lượng thu hoạch hành tím.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- [1] G. B. Calica and M. M. N. Dulay, “Assessment of the postharvest systems and losses of shallots in Ilocos, Philippines,” *Asian J. Postharv. Mechan*, vol. 1, no. 1, pp. 101–115, 2018.
- [2] V. Rani, A. Kumar, S. Mukesh, and A. Singh, “Performance evaluation of tractor operated root-crop digger for sandy loam soils of Haryana,” *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 53, no. 1, pp. 9–15, 2016.
- [3] O. A. Omar, S. G. Abdel Hamid, and G. A. El-Termzy, “Development of an onion-crop harvester,” *Misr Journal of Agricultural Engineering*, vol. 35, no. 1, pp. 39–56, 2018.
- [4] M. A. Nour, M. S. El Shal, M. A. El Shazly, and M. M. Ali, “Development and performance evaluation of a local harvesting machine for onion crop,” *Plant Arch*, vol. 20, no. 1, pp. 1409–1414, 2020.
- [5] A. Gautam, P. Diwan, S. V. Jogdand, and R. K. Naik, “Development and Evaluation of Tractor Operated Onion Digger,” *Int. J. Plant Soil Sci*, vol. 35, no. 19, pp. 229–239, 2023.
- [6] G. U. Shinde and S. R. Kajale, “Computer aided engineering analysis and design optimization of rotary tillage tool components,” *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 1–6, 2011.
- [7] M. Topakci, A. R. Rennie, H. K. Celik, M. Canakci, and D. Karayel, “Technology Structural Optimisation of a Subsoiler: Structural Optimisation of a Subsoiler,” *Biological Sciences-PJSIR*, vol. 53, no. 5, pp. 281–287, 2010.
- [8] O. Alfyorov *et al.*, “Agricultural equipment design optimization based on the inversion method,” *Agriculture*, vol. 12, no. 9, p. 1410, 2022.
- [9] H. Ding *et al.*, “Optimizing the Design of Soil-Mixing Blade Structure Parameters Based on the Discrete Element Method,” *Agriculture*, vol. 15, no. 14, p. 1558, 2025.
- [10] A. B. Prasetyo *et al.*, “Finite Element Analysis (FEA) of blade weed design using Ansys workbench,” *Sinergi*, vol. 26, no. 3, pp. 371–378, 2022.
- [11] R. H. Myers, D. C. Montgomery, and C. M. Anderson-Cook, *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons, 2016.