

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THÔNG SỐ LÀM VIỆC ĐẾN CÔNG SUẤT VÀ KHÍ THẢI NO_x CỦA ĐỘNG CƠ DIESEL COMMON RAIL

ASSESS THE IMPACT OF OPERATING PARAMETERS ON THE POWER AND NO_x EMISSIONS OF A COMMON RAIL DIESEL ENGINE

Phạm Minh Hiếu*, Nguyễn Mạnh Dũng, Lê Đức Hiếu

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu một thuật toán mới để đánh giá tác động của các nhân tố khác nhau đến công suất và khí thải NO_x của động cơ diesel common rail. Tác động của tám thông số (tốc độ, mô men, áp suất chỉ thị trung bình (IMEP), áp suất cực đại trong xilanh, tỷ lệ không khí - nhiên liệu, thời điểm bắt đầu phun, thời gian phun và suất tiêu hao nhiên liệu có ích (BSFC)) đối với công suất và khí thải NO_x của động cơ được đánh giá bằng cách phân hạng mối quan hệ mờ (FGRA) giữa các thông số. Kết quả cho thấy thứ hạng ảnh hưởng đến công suất động cơ lần lượt là BSFC, mô men, IMEP, tốc độ, thời gian phun, áp suất cực đại trong xilanh, thời điểm bắt đầu phun và tỷ lệ không khí - nhiên liệu. Ngoài ra, thứ tự ảnh hưởng đối với khí thải NO_x là BSFC, tốc độ động cơ, IMEP, mô men, áp suất cực đại, thời gian phun, thời điểm bắt đầu phun, và tỉ lệ không khí - nhiên liệu. Nghiên cứu này rất có ích cho việc tối ưu hóa đặc tính công suất và khí thải của động cơ diesel dựa trên các thông số làm việc.

Từ khóa: Phân tích mối quan hệ mờ; động cơ diesel; thông số làm việc; công suất; khí thải NO_x .

ABSTRACT

In this work, a new algorithm for evaluating the effects of various factors on the engine power and NO_x emissions of a common rail diesel engine is introduced. The impacts of eight factors (speed, torque, IMEP, the highest explosion pressure, air-fuel equivalence ratio, the start of injection, duration of injection, and BSFC) on engine power and NO_x emissions are evaluated by fuzzy grey membership grades. The result showed that the affect rank on the engine power is the BSFC, torque, IMEP, speed, duration of injection, the highest explosion pressure, the start of injection and air-fuel equivalence ratio. Moreover, the affect rank on the NO_x emissions is the BSFC, speed, IMEP, torque, the highest explosion pressure, duration of injection, the start of injection and air-fuel equivalence. This work is very useful for optimizing the performance and emissions characteristics base on operating parameters of diesel engines.

Keywords: Fuzzy grey relational analysis; diesel engine; operating parameters; power; NO_x emissions.

Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: hieupm@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/01/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/6/2020

Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2021

CHỮ VIẾT TẮT

IMEP	Indicating Mean Effective Pressure
BSFC	Brake Specific Fuel Consumption
CO	Carbon Monoxide
UHC	Unburn Hydrocarbon
PM	Particulate Matter
HC	Hydrocarbon
GRA	Grey Relational Analysis
FGRA	Fuzzy Grey Relational Analysis
CEB	Combustion Emission Bench
NDIR	Non Dispersive Infrared
FID	Flame Ionization Detector
CLD	Chemiluminescence Detector

1. GIỚI THIỆU

Hầu hết động cơ đốt trong bao gồm cả động cơ diesel đang sử dụng nhiên liệu hóa thạch như nguồn năng lượng. Tuy nhiên, sự cạn kiệt của nhiên liệu hóa thạch là một vấn đề lớn trong tương lai gần [1, 2]. Động cơ diesel có hiệu suất nhiệt và công suất cao, nhưng khí thải có chứa một số thành phần độc hại, đặc biệt là khí thải NO_x , nó đòi hỏi các công nghệ phức tạp để loại bỏ [3-6]. Những vấn đề này sẽ tiếp tục làm cho ô nhiễm môi trường càng trở nên nghiêm trọng [7-11]. Kết quả là, họ phải tìm ra giải pháp tốt nhất để thích nghi cả việc sử dụng động cơ diesel và phòng ngừa ô nhiễm

Qua nhiều nghiên cứu, các nhà khoa học đã chỉ ra được mối quan hệ giữa những thông số vận hành với công suất và khí thải của động cơ là rất quan trọng [12-16]. Trong số họ, Behera và Murugan [16] đã tiến hành các thí nghiệm để tìm ra sức ảnh hưởng của áp suất phun nhiên liệu (từ 200 đến 250bar với độ tăng áp là 10bar) trên động cơ diesel 1 xilanh, 4 kì và làm

mát bằng không khí tại tốc độ không đổi 2200 vòng/phút. Kết quả cho thấy khi áp suất phun đạt 230bar, hiệu suất nhiệt có ích giảm khoảng 8,92% so với mức 200bar. Họ cũng phát hiện thấy UHC, CO và độ khói đã giảm tương ứng 43,3%, 60% và 8,92% trong khi khí thải NOx tăng 29,7% ở 230bar so với động cơ khi ở áp suất phun 200 bar.

Theo một hướng khác, Belagur và Chitimini [17] đã nghiên cứu các đặc tính hiệu suất, quá trình đốt cháy và khí thải bằng cách sử dụng dầu Honge metyl este ở tải khác nhau (25%, 50%, 75% và 100%), thời gian phun (23°, 25°, 27° và 28° trước điểm chết trên) ở động cơ diesel, 4 kì, xilanh đơn. Họ nhận thấy rằng hiệu suất nhiệt có ích được cải thiện, suất tiêu hao nhiên liệu có ích giảm với việc cải thiện thời gian phun. Các thành phần khí thải như CO, UHC và độ khói tăng với việc cải thiện thời gian phun cũng được báo cáo.

Theo kết quả nghiên cứu, áp suất phun gây ra những ảnh hưởng khác nhau đến hiệu suất và lượng khí thải, phụ thuộc vào trạng thái hoạt động của động cơ. Mức tiêu thụ nhiên liệu của động cơ diesel giảm đi khi áp suất phun thấp, trong khi việc tăng áp suất còn dẫn đến lượng khí thải giảm đi. Gomes và các đồng nghiệp đã sử dụng phương pháp thử nghiệm để phân tích ảnh hưởng của tải trọng, tốc độ, thời gian phun và tỉ lệ xoáy lốc đối với khí thải động cơ như PM, NO_x và HC [18].

Bằng cách phân tích dữ liệu đo được, các nhà khoa học đã chỉ ra những tác động của quá trình hòa trộn không khí, đặc tính của ngọn lửa và nhiệt độ buồng cháy với việc sinh ra các hạt của động cơ diesel. Mặc dù, phương pháp thử nghiệm là chính xác và đáng tin cậy hơn, nhưng chi phí để thực hiện vô cùng tốn kém và mất nhiều thời gian. Vì vậy, giới hạn của phương pháp phân tích này là tính khả thi khi áp dụng trong thử nghiệm, tức là chỉ có một hoặc hai tham số thường được xem xét trong quá trình thử nghiệm.

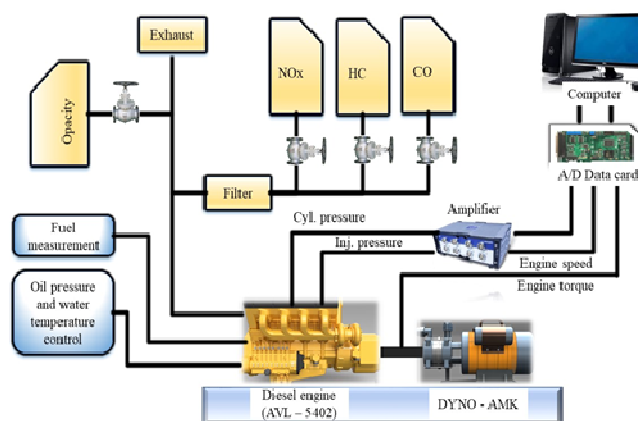
Khác với các nghiên cứu trước, mục tiêu của nghiên cứu này là tìm ra nhân tố chính ảnh hưởng đến công suất và khí thải. Tuy nhiên, các nhân tố ảnh hưởng đến công suất và khí thải là quá nhiều để nghiên cứu tỉ mỉ một cách toàn diện [19-24]. Lúc này, việc phân tích quan hệ mờ (GRA) là giải pháp hữu ích để đánh giá những tác động từ các tác nhân khác nhau, cho dù không nắm rõ được mối quan hệ toán học giữa các nhân tố nghiên cứu đến công suất và khí thải. Bài báo này đã sử dụng phương pháp phân tích quan hệ mờ (FGRA) để nghiên cứu sự tác động đến công suất và khí thải bởi các nhân tố khác nhau như tốc độ, mô men, IMEP, áp suất cực đại, tỷ lệ giữa nhiên liệu - không khí, thời điểm bắt đầu phun, thời gian phun và suất tiêu hao nhiên liệu có ích. Bằng cách này, nó đã góp phần giảm số lượng thử nghiệm, tiết kiệm thời gian tính toán và cung cấp cho chúng ta một phương pháp rất có giá trị tham khảo để cải thiện hơn nữa hiệu suất làm việc của động cơ diesel.

2. THỰC NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1. Thiết lập thực nghiệm

Hình 1 cho thấy sơ đồ bố trí các thiết bị thực nghiệm. Quá trình thực nghiệm được tiến hành trên một động cơ

diesel nghiên cứu AVL5402. Động cơ sử dụng hệ thống hút khí tự nhiên, 1 xilanh và trang bị hệ thống phun nhiên liệu Common rail. Bảng 1 được cung cấp theo manual đi kèm với động cơ. Tại mỗi tốc độ của động cơ, áp suất xi lanh được thay đổi nhằm đánh giá ảnh hưởng khác nhau của nó đến các thông số còn lại của động cơ. Khi áp suất xilanh tăng lên thì thời gian phun thường kéo dài hơn nhằm đảm bảo lượng nhiên liệu cung cấp cho chế độ tải trọng là không đổi. Động cơ được kết nối với một bảng thử điện để tạo tải và các thiết bị điều khiển. Suất tiêu hao nhiên liệu được đo bằng thiết bị cân bằng nhiên liệu của AVL. Nhiệt độ nước làm mát và nhiệt độ dầu và áp suất, nhiệt độ của khí nạp và thải đều được giám sát qua các cảm biến. Để phân tích khí thải, thiết bị phân tích khí thải CEB II của AVL được lắp đặt và lấy mẫu khí thải từ đường xả. CEB II chứa tất cả các máy phân tích để đo HC, CO và NO_x. Khí thải CO, HC và NO_x được phân tích bằng cách sử dụng máy phân tích hồng ngoại (NDIR), máy đo tính ion hóa (FID) và máy phát hiện phát quang hóa học (CLD). Mỗi máy phân tích có bốn dải đo, chúng có thể điều chỉnh tự động theo các giá trị đo được nhằm tăng độ chính xác.



Hình 1. Sơ đồ bố trí thiết bị thử nghiệm

Bảng 1. Số liệu khảo sát

STT	Tốc độ (vg/ph)	Áp suất cực đại trong xilanh (bar)	Tỉ lệ không khí-nhiên liệu (-)	Thời điểm bắt đầu phun (°CA)	Thời gian phun (ms)	Suất tiêu hao nhiên liệu (g/kWh)	Phát thải NO _x (ppm)	Công suất (kW)
1	1000	30	2,9	-5,0	0,61	103,3	763	0,89
2	1000	36	1,4	-4,5	0,81	272,4	1011	2,35
3	1500	30	3,1	-7,5	0,55	62,6	798	1,10
4	1500	33	0,8	-4,0	1,70	263	1113	4,61
5	2000	27	3,0	-4,5	0,5	58,9	896	1,48
6	2000	28	1,6	-4,5	0,80	174	1128	4,83
7	2500	34	3,40	-12,0	0,47	51	998	1,38
8	2500	27	1,6	-6,0	0,73	190,6	1149	5,18
9	3000	35	3,20	-15,0	0,48	70,2	1005	1,61
10	3000	35	1,7	-15,0	0,73	247	1167	6,11

11	3500	34	2,5	-18,5	0,55	99	1027	2,44
12	3500	34	1,3	-18,5	0,90	301,8	1226	8,11
13	4000	28	2,20	-20,5	0,60	120	1064	2,65
14	4000	30	0,9	-20,5	1,2	331	1267	8,67

2.2. Phương pháp phân tích mối quan hệ mờ

Lý thuyết mờ được phát triển bởi giáo sư Deng và được áp dụng một cách rộng rãi trong nhiều lĩnh vực sau đó [25]. Phân tích quan hệ mờ (GRA) là một phương pháp thống kê hiệu quả cho các bài toán có nhiều nhân tố tác động [26-28]. Nó có thể xác định sự phù hợp của cấu trúc hệ thống theo hướng định lượng, từ đó tìm ra mức độ phù hợp của từng phương án với sơ đồ mẫu [3]. Trong nghiên cứu này, phương pháp này được cải tiến và áp dụng để đánh giá tác động của các nhân tố khác nhau đến công suất động cơ và khí thải NO_x của động cơ diesel phun nhiên liệu trực tiếp, 1 xilanh, hút khí tự nhiên, có tên AVL-5402. Phương pháp phân tích quan hệ mờ được thực hiện qua các bước như sau:

Bước 1: Đánh giá ma trận tham chiếu và ma trận so sánh.

Ma trận tham chiếu được trình bày như sau:

$$Y_t = [y_t(1) \ y_t(2) \ \dots \ y_t(n)] \tag{1}$$

Trong đó, Y_t là ma trận tham chiếu của nhóm t - các nhân tố ảnh hưởng của công suất và phát thải NO_x (t = 1, 2, ..., n) và y_t(1), y_t(2), y_t(n) là các nhân tố ảnh hưởng đến công suất trong Y_t.

Ma trận so sánh là chuỗi dữ liệu của các nhân tố ảnh hưởng đến công suất động cơ và khí thải NO_x. Nó được giả thiết rằng có m nhân tố được điều tra về công suất động cơ, khí thải NO_x và có n điều kiện khác nhau, do đó ma trận so sánh được trình bày như sau:

$$X_t = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & \dots & x_2(n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_m(1) & x_m(2) & \dots & x_m(n) \end{bmatrix} \tag{2}$$

Trong đó, X_t là ma trận so sánh. Trong mô hình phân tích quan hệ mờ này, có m các vectơ ảnh hưởng đến công suất và khí thải NO_x. Trong m các nhân tố ảnh hưởng, có n điều kiện làm việc.

Bước 2: Tạo chuỗi các đại lượng không thứ nguyên.

Trong quá trình phân tích, các nhân tố được nghiên cứu và biến tham chiếu có các thứ nguyên khác nhau. Do đó, chúng phải là các đại lượng không thứ nguyên trước khi thực hiện các phép tính để giảm sai số theo phương trình sau:

$$X_i(k)' = \frac{x_i(k) - \min x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \tag{3}$$

Trong đó: k = 1, 2, 3, ..., n.

Bước 3: Tính giá trị cosin của các đại lượng mờ.

Để giảm ảnh hưởng của quan hệ tuyến tính của dữ liệu với các kết quả, phương pháp cosin được áp dụng. Sự giống nhau của hai nhân tố được xác định bởi góc cosin của hai tham số. Biểu thức như sau:

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n y_{tk} x_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n y_{tk}^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n x_{jk}^2}} \tag{4}$$

Bước 4: Tính toán chỉ số quan hệ mờ.

Trong các nhân tố ảnh hưởng đến công suất và khí thải NO_x, sự khác nhau giữa ma trận tham chiếu và ma trận so sánh cần được tính toán. Hệ số phân giải mờ được tính như sau:

$$\xi_{ij} = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{ij}(k) + \rho \Delta_{\max}} \tag{5}$$

Trong đó, ξ_{ij} là hệ số phân giải của hai điểm tương ứng trong hai chuỗi (j = 1, 2, ..., m; k = 1, 2, 3, ..., n); Δ_{min} là giá trị tuyệt đối nhỏ nhất giữa chuỗi tham chiếu và chuỗi so sánh; Δ_{max} là giá trị tuyệt đối lớn nhất giữa hai chuỗi; Δ_{ij}(k) là giá trị chênh lệch tuyệt đối giữa hai chuỗi tại điểm k; ρ là hệ số phân giải.

Phương pháp xác định hệ số phân giải được thể hiện như sau:

$$\Delta_{\min} = \min_{1 \leq j \leq m} \min_{1 \leq k \leq n} |y_t(k) - x_{ij}(k)| \tag{6}$$

$$\Delta_{\max} = \max_{1 \leq j \leq m} \max_{1 \leq k \leq n} |y_t(k) - x_{ij}(k)| \tag{7}$$

Giá trị chênh lệch tuyệt đối Δ_{ij} của ma trận tham chiếu và ma trận so sánh tại điểm k được xác định như sau:

$$\Delta_{ij} = |Y_t(k) - X_{ij}(k)| \tag{8}$$

Bản chất của hệ số phân giải chính là trọng số của độ chênh lệch tuyệt đối lớn nhất. Các yêu cầu cho việc quyết định hệ số phân giải là phải thỏa mãn tính độc lập và chống nhiễu của mức quan hệ để do hệ số phân giải lớn hay nhỏ không thể phản ánh một cách chính xác mối quan hệ của các nhân tố được khảo sát.

Nói chung, trình tự được xác thực theo các bước sau:

+ Tính giá trị trung bình của tất cả các độ chênh lệch tuyệt đối Δ̄:

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n.m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n |y_t(k) - x_{ij}(k)| \tag{9}$$

+ Dựa vào tỷ lệ E_Δ = Δ̄ / Δ_{max}, hệ số phân giải được xác định như sau:

$$\rho \in \begin{cases} [E_{\Delta}, 1,5E_{\Delta}] : E_{\Delta} < 1/3 \\ [1,5E_{\Delta}, 2E_{\Delta}] : E_{\Delta} \geq 1/3 \end{cases} \tag{10}$$

Khi E_Δ ≤ 1/3 nó cho thấy có các giá trị bất thường trong hai chuỗi trong mô hình phân tích tương quan. Mặt khác, dữ liệu của hai chuỗi trong mô hình là bình thường.

Bước 5: Tính chỉ số quan hệ mờ Euclide.

Để cải thiện độ chính xác đánh giá, khoảng cách Euclide trong Toán học mờ được áp dụng để hiển thị ra sự khác biệt giữa ma trận tham chiếu và ma trận so sánh. Vì vậy,

vectơ trọng số của các nhân tố khác nhau trong ma trận tham chiếu được xác định như sau:

$$r'_{ij} = \frac{1}{n} \omega_j \sum_{k=1}^n \xi_{ij}(k) \quad (11)$$

Bước 6: Tính chỉ số quan hệ mờ.

Dựa trên hệ số các nhân tố và các chỉ số quan hệ European trong quan hệ mờ, các chỉ số quan hệ mờ của các nhân tố được tính theo công thức sau:

$$R_{ij} = \frac{(r_{ij} + r'_{ij})}{2} = \frac{\frac{\sum_{k=1}^n y_{tk} x_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n y_{tk}^2}} + \frac{1}{n} \omega_j \sum_{k=1}^n \xi_{ij}(k)}{2} \quad (12)$$

Đối với Y_1 :

Y_1	0,89	2,35	1,1	4,61	1,48	4,83	1,38	5,18	1,61	6,11	2,44	8,11	2,65	8,67
X	1000	1000	1500	1500	2000	2000	2500	2500	3000	3000	3500	3500	4000	4000
	8,5	22,4	7	29,4	7,1	21	5,3	19,8	5,1	19,4	6,6	22,2	6,3	20,7
	2,04	4,03	2,02	5,2	2,14	4,35	2,09	3,92	2,16	4,04	1,83	4,05	1,97	3,89
	30	36	30	33	27	28	34	27	35	35	34	34	28	30
	2,9	1,4	3,1	0,8	3	1,6	3,4	1,6	3,2	1,7	2,5	1,3	2,2	0,9
	-5	-4,5	-7,5	-4	-4,5	-4,5	-12	-6	-15	-15	-18,5	-18,5	-20,5	-20,5
	0,61	0,81	0,55	1,7	0,5	0,8	0,47	0,73	0,48	0,73	0,55	0,9	0,6	1,2
	103,3	272,4	62,6	263	58,9	174	51	190,6	70,2	247	99	301,8	120	331

Đối với Y_2 :

Y_2	763	1011	798	1113	896	1128	998	1149	1005	1167	1027	1226	1064	1267
X	1000	1000	1500	1500	2000	2000	2500	2500	3000	3000	3500	3500	4000	4000
	8,5	22,4	7	29,4	7,1	21	5,3	19,8	5,1	19,4	6,6	22,2	6,3	20,7
	2,04	4,03	2,02	5,2	2,14	4,35	2,09	3,92	2,16	4,04	1,83	4,05	1,97	3,89
	30	36	30	33	27	28	34	27	35	35	34	34	28	30
	2,9	1,4	3,1	0,8	3	1,6	3,4	1,6	3,2	1,7	2,5	1,3	2,2	0,9
	-5	-4,5	-7,5	-4	-4,5	-4,5	-12	-6	-15	-15	-18,5	-18,5	-20,5	-20,5
	0,61	0,81	0,55	1,7	0,5	0,8	0,47	0,73	0,48	0,73	0,55	0,9	0,6	1,2
	103,3	272,4	62,6	263	58,9	174	51	190,6	70,2	247	99	301,8	120	331

Ma trận thu được như sau:

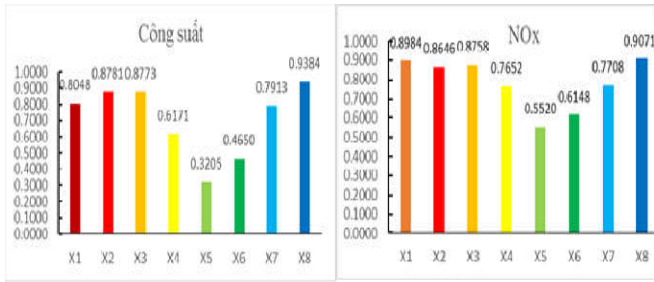
Đối với Y_1 :

$Y_1(k)$	0	0,1877	0,0270	0,4781	0,0758	0,5064	0,0630	0,5514	0,0925	0,6710	0,1992	0,9280	0,2262	1,0000
$X_1(k)$	0	0	0,1667	0,1667	0,3333	0,3333	0,5000	0,5000	0,6667	0,6667	0,8333	0,8333	1,000	1,0000
$X_2(k)$	0,1399	0,7119	0,0782	1,0000	0,0823	0,6543	0,0082	0,6049	0	0,5885	0,0167	0,7037	0,0494	0,6420
$X_3(k)$	0,0623	0,6528	0,0564	1,0000	0,0920	0,7478	0,0772	0,06202	0,0979	0,6558	0	0,6588	0,0415	0,6113
$X_4(k)$	0,3333	1,0000	0,3333	0,6667	0	0,1111	0,7778	0	0,8889	0,8889	0,7778	0,7778	0,1111	0,3333
$X_5(k)$	0,8077	0,9697	0,7879	0	0,8462	0,3077	1,0000	0,3077	0,9231	0,3462	0,6538	0,1923	0,5385	0,0385
$X_6(k)$	0,9394	0,9697	0,7879	1,0000	0,9697	0,9697	0,5152	0,8788	0,3333	0,3333	0,1212	0,1212	0	0
$X_7(k)$	0,1138	0,2764	0,0650	1,0000	0,0244	0,2683	0	0,2114	0,0081	0,2114	0,0650	0,3496	0,1057	0,5935
$X_8(k)$	0,1868	0,7907	0,0414	0,7571	0,0282	0,4393	0	0,4986	0,0686	0,7000	0,1714	0,8957	0,2464	1,0000

Đối với Y_2 :

$Y_2(k)$	0	0,4921	0,0694	0,6944	0,2639	0,7242	0,4663	0,7659	0,4802	0,8016	0,5238	0,9187	0,5972	1,0000
$X_1(k)$	0	0	0,1667	0,1667	0,3333	0,3333	0,5000	0,5000	0,6667	0,6667	0,8333	0,8333	1,000	1,0000
$X_2(k)$	0,1399	0,7119	0,0782	1,0000	0,0823	0,6543	0,0082	0,6049	0	0,5885	0,0167	0,7037	0,0494	0,6420
$X_3(k)$	0,0623	0,6528	0,0564	1,0000	0,0920	0,7478	0,0772	0,06202	0,0979	0,6558	0	0,6588	0,0415	0,6113
$X_4(k)$	0,3333	1,0000	0,3333	0,6667	0	0,1111	0,7778	0	0,8889	0,8889	0,7778	0,7778	0,1111	0,3333
$X_5(k)$	0,8077	0,9697	0,7879	0	0,8462	0,3077	1,0000	0,3077	0,9231	0,3462	0,6538	0,1923	0,5385	0,0385
$X_6(k)$	0,9394	0,9697	0,7879	1,0000	0,9697	0,9697	0,5152	0,8788	0,3333	0,3333	0,1212	0,1212	0	0
$X_7(k)$	0,1138	0,2764	0,0650	1,0000	0,0244	0,2683	0	0,2114	0,0081	0,2114	0,0650	0,3496	0,1057	0,5935
$X_8(k)$	0,1868	0,7907	0,0414	0,7571	0,0282	0,4393	0	0,4986	0,0686	0,7000	0,1714	0,8957	0,2464	1,0000

Giá trị cosin của các nhân tố mờ được tính theo phương trình (4). Hình 2 chỉ ra các chỉ số của của tám nhân tố mờ đối với công suất động cơ.



Hình 2. Chỉ số các nhân tố mờ

Đối với Y_1 :

$\Delta_1(k)$	0	0,1877	0,1397	0,3115	0,2575	0,1731	0,4370	0,0514	0,5741	0,0043	0,6341	0,0947	0,7738	0
$\Delta_2(k)$	0,1399	0,5243	0,0512	0,5219	0,0065	0,1476	0,0548	0,0535	0,0925	0,0825	0,1375	0,2243	0,1768	0,3580
$\Delta_3(k)$	0,0623	0,4652	0,0294	0,5219	0,0162	0,2413	0,0142	0,0688	0,0054	0,0152	0,1992	0,2693	0,1847	0,3887
$\Delta_4(k)$	0,3333	0,8123	0,3063	0,1885	0,0758	0,3953	0,7148	0,5514	0,7963	0,2179	0,5785	0,1502	0,1151	0,6667
$\Delta_5(k)$	0,8077	0,0431	0,8576	0,4781	0,7703	0,1987	0,9370	0,2437	0,8305	0,3248	0,4546	0,7357	0,3122	0,9615
$\Delta_6(k)$	0,9394	0,7820	0,7609	0,5219	0,8939	0,4633	0,4522	0,3274	0,2408	0,3376	0,0780	0,8068	0,2262	1,0000
$\Delta_7(k)$	0,1138	0,0888	0,0380	0,5219	0,0514	0,2381	0,0630	0,3400	0,0844	0,4596	0,1342	0,5784	0,1205	0,4065
$\Delta_8(k)$	0,1868	0,6031	0,0144	0,2790	0,0476	0,0671	0,0630	0,0528	0,0240	0,0290	0,0278	0,0323	0,0202	0

Đối với Y_2 :

$\Delta_1(k)$	0	0,4921	0,0972	0,5278	0,0694	0,3909	0,0337	0,2659	0,1865	0,1349	0,3095	0,0853	0,4028	0
$\Delta_2(k)$	0,1399	0,2199	0,0087	0,3056	0,1816	0,0699	0,4580	0,1609	0,4802	0,2131	0,4621	0,2149	0,5478	0,3580
$\Delta_3(k)$	0,0623	0,1608	0,0131	0,3056	0,1719	0,0236	0,3891	0,1457	0,3822	0,1458	0,5238	0,2599	0,5557	0,3887
$\Delta_4(k)$	0,3333	0,5079	0,2639	0,0278	0,2639	0,6131	0,3115	0,7659	0,4087	0,0873	0,2540	0,1409	0,4861	0,6667
$\Delta_5(k)$	0,8077	0,2613	0,8152	0,6944	0,5823	0,4165	0,5337	0,4582	0,4429	0,4554	0,1300	0,7263	0,0588	0,9615
$\Delta_6(k)$	0,9394	0,4776	0,7184	0,3056	0,7058	0,2455	0,0489	0,1129	0,1468	0,4683	0,4026	0,7974	0,5972	1,0000
$\Delta_7(k)$	0,1138	0,2156	0,0044	0,3056	0,2395	0,4559	0,4663	0,5545	0,4720	0,5902	0,4588	0,5691	0,4915	0,4065
$\Delta_8(k)$	0,1868	0,2987	0,0280	0,0627	0,2357	0,2849	0,4663	0,2673	0,4116	0,1016	0,3524	0,0229	0,3508	0

Theo phương trình 9, giá trị trung bình thu được là $\bar{\Delta}_1 \approx 0,3131, \bar{\Delta}_2 \approx 0,3311$, vì vậy $E_{1\Delta} = \bar{\Delta}_1 / \Delta_{max} = 0,3131$, $E_{2\Delta} = \bar{\Delta}_2 / \Delta_{max} = 0,3311$ do $3\bar{\Delta} < \Delta_{max}$, $0,3131 < \rho_1 < 0,4696$ và $0,3311 < \rho_2 < 0,4966$. Do đó, nhóm tác giả đã chọn $1,25E_{\Delta}$ để hiệu chỉnh hệ số chính xác, khi $\rho_1 = 1,25E_{1\Delta} = 0,3914$ và $\rho_2 = 1,25E_{2\Delta} = 0,4138$, ta có thể thu được ma trận hệ số tương quan của quan hệ mờ bằng phương trình 6 như sau:

Đối với Y_1 :

ξ_1	1,0000	0,6759	0,7370	0,5568	0,6032	0,6933	0,4724	0,8839	0,4054	0,9892	0,3816	0,8052	0,3359	1,0000
ξ_2	0,7366	0,4274	0,8843	0,4286	0,9837	0,7257	0,8773	0,8797	0,8088	0,8259	0,7400	0,6357	0,6888	0,5222
ξ_3	0,8626	0,4569	0,9302	0,4286	0,9604	0,6186	0,9651	0,8506	0,9864	0,9627	0,6627	0,5924	0,6794	0,5017
ξ_4	0,5400	0,3251	0,5609	0,6749	0,8377	0,4975	0,3538	0,4151	0,3295	0,6423	0,4035	0,7226	0,7727	0,3699
ξ_5	0,3264	0,9008	0,3133	0,4501	0,3369	0,6632	0,2946	0,6162	0,3203	0,5465	0,4626	0,3472	0,5562	0,2893
ξ_6	0,2941	0,3335	0,3397	0,4286	0,3045	0,4579	0,4640	0,5445	0,6191	0,5369	0,8338	0,3266	0,6337	0,2813
ξ_7	0,7747	0,8151	0,9114	0,4286	0,8838	0,6217	0,8614	0,5351	0,8226	0,4599	0,7447	0,4036	0,7645	0,4905
ξ_8	0,6769	0,3936	0,9644	0,5838	0,8915	0,8536	0,8614	0,8810	0,9423	0,9309	0,9337	0,9237	0,9509	1,0000

Đối với Y_2 :

ξ_1	1,0000	0,5481	0,8599	0,5307	0,8958	0,6043	0,9465	0,6918	0,7619	0,8156	0,6585	0,8749	0,5971	1,0000
ξ_2	0,8101	0,7308	0,9856	0,6614	0,7667	0,8952	0,5658	0,7876	0,5542	0,7369	0,5636	0,7352	0,5214	0,6251
ξ_3	0,9055	0,7878	0,9786	0,6614	0,7764	0,9620	0,6054	0,8083	0,6096	0,8037	0,5326	0,6967	0,5179	0,6056
ξ_4	0,6417	0,5402	0,6934	0,9555	0,6934	0,4933	0,6571	0,4380	0,5935	0,8724	0,7015	0,8090	0,5511	0,4724
ξ_5	0,4250	0,6955	0,4227	0,4622	0,5062	0,5890	0,5279	0,5657	0,5740	0,5672	0,8211	0,4511	0,9104	0,3830
ξ_6	0,3885	0,5555	0,4538	0,6614	0,4582	0,7086	0,9234	0,8409	0,8026	0,5604	0,5972	0,4281	0,4999	0,3738
ξ_7	0,8398	0,7346	0,9927	0,6614	0,7136	0,5669	0,5614	0,5184	0,5584	0,5028	0,5654	0,5119	0,5484	0,5949
ξ_8	0,7616	0,6665	0,9552	0,9049	0,7169	0,6769	0,5614	0,6907	0,5919	0,8546	0,6288	0,9630	0,6298	1,0000

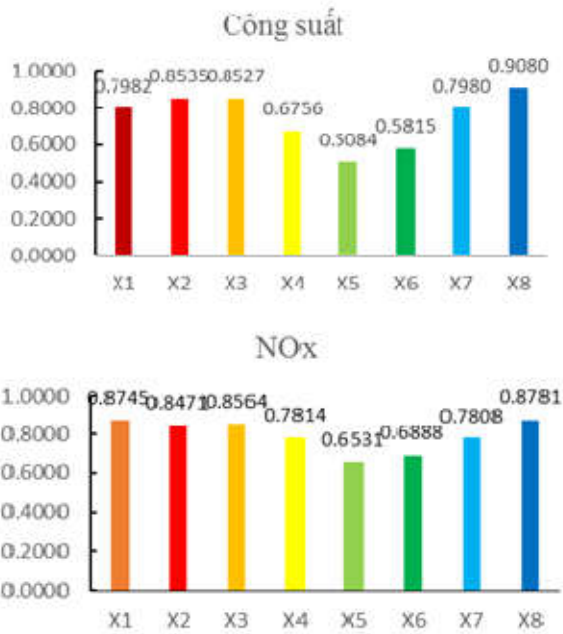
Các chỉ số quan hệ mờ của tám nhân tố đối với công suất động cơ và lượng khí thải NO_x được tính theo phương trình (12), được chỉ ra như trong hình 3.

Kết quả trên cung cấp cho chúng ta cái nhìn toàn diện để đánh giá các ảnh hưởng của tám nhân tố. Nó cho thấy các mức quan hệ mờ của tám nhân tố đối với công suất động cơ (tốc độ, mô men, IMEP, áp suất cực đại, tỷ lệ không khí và nhiên liệu, thời điểm phun đầu tiên, thời gian phun và BSFC) là 0,7982; 0,8535; 0,8527; 0,6756; 0,5084; 0,5815; 0,7980 và 0,9080 tương ứng, tức là các tác động của tám nhân tố được sắp xếp theo thứ hạng từ ảnh hưởng mạnh nhất đến ít ảnh hưởng hơn như sau: BSFC, mô men, IMEP, tốc độ, thời gian phun, áp suất cực đại, thời điểm bắt đầu phun, tỷ lệ không khí và nhiên liệu. Tương tự, các mức quan hệ mờ của tám nhân tố đối với phát thải NO_x là 0,8745; 0,8471; 0,8564; 0,781; 0,6531; 0,6888; 0,809 và 0,8781. Tác động của tám nhân tố được sắp xếp từ ảnh hưởng mạnh nhất đến ít ảnh hưởng hơn như sau: BSFC, tốc độ, IMEP, mô men, áp suất cao nhất, thời gian phun, thời điểm bắt đầu phun, tỷ lệ không khí và nhiên liệu.

Thời điểm phun đầu tiên, thời gian phun và BSFC) đối với công suất động cơ lần lượt là 0,7982; 0,8535; 0,8527; 0,6756; 0,5084; 0,5815; 0,7980 và 0,9080. Điều đó ngụ ý rằng mức độ ảnh hưởng của tám nhân tố được sắp xếp theo thứ hạng từ ảnh hưởng mạnh nhất đến ít ảnh hưởng nhất là BSFC, mô men, IMEP, tốc độ, thời gian phun, áp suất nổ cao nhất, thời điểm bắt đầu phun, tỷ lệ không khí và nhiên liệu.

Các chỉ số quan hệ mờ của tám nhân tố đối với khí thải NO_x (tốc độ, mô men, IMEP, áp suất cực đại, tỷ lệ không khí và nhiên liệu, thời điểm phun đầu tiên, thời gian phun và BSFC) là 0,8745; 0,8471; 0,8564; 0,781; 0,6531; 0,6888; 0,809 và 0,8781. Có nghĩa là mức độ ảnh hưởng của tám nhân tố được sắp xếp theo thứ hạng từ ảnh hưởng mạnh nhất đến ít ảnh hưởng nhất là BSFC, tốc độ, IMEP, mô men, áp suất cao nhất, thời gian phun, thời điểm bắt đầu phun, tỷ lệ không khí và nhiên liệu.

GRA có thể sử dụng một cách nhanh chóng và hiệu quả để xác định các nhân tố chính ảnh hưởng đến đối tượng nghiên cứu và cung cấp một phương pháp hiệu quả cho các nghiên cứu trong tương lai.



Hình 3. Chỉ số quan hệ mờ

Theo như kết quả này, BSFC là nhân tố tác động quan trọng nhất đối với cả công suất động cơ và lượng khí thải NO_x và BSFC phải được lựa chọn đầu tiên để tăng công suất động cơ và giảm phát thải NO_x. Nghiên cứu này rất có giá trị tham khảo cho các nhà khoa học trong việc tối ưu hóa công suất động cơ và khí thải NO_x ở động cơ diesel.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Cả chỉ số các nhân tố mờ và chỉ số quan hệ mờ đều chỉ ra rằng BSFC có ảnh hưởng đáng kể nhất tới cả công suất và khí thải NO_x, trong khi tỷ lệ không khí và nhiên liệu lại là nhân tố ít ảnh hưởng nhất.

Các chỉ số quan hệ mờ của tám nhân tố (tốc độ, mô men, IMEP, áp suất cực đại, tỷ lệ không khí và nhiên liệu,

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Arbab M I, Masjuki H H, Varman M, et al, 2013. *Fuel properties, engine performance and emission characteristic of common biodiesels as a renewable and sustainable source of fuel*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 22, 133-147.
- [2]. Liaquat A M, Kalam M A, Masjuki H H, et al, 2010. *Potential emissions reduction in road transport sector using biofuel in developing countries*. Atmospheric Environment, 44, 3869-3877.
- [3]. Ramalingam S, Rajendran S, Ganesan P, 2018. *Performance improvement and exhaust emissions reduction in biodiesel operated diesel engine through the use of operating parameters and catalytic converter: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 3215-3222.
- [4]. E J, Pham M, Zhao D, et al, 2017. *Effect of different technologies on combustion and emissions of the diesel engine fueled with biodiesel: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80, 620-647.
- [5]. Hunt C L, Johnson D M, Edgar D W, 2013. *NOx emissions and performance of a compact diesel tractor fueled with emulsified and non-emulsified biodiesel*. J Agric Syst Technol Manage, 24, 12-22.
- [6]. Lin L, Cunshan Z, Vittayapadung S, et al, 2011. *Opportunities and challenges for biodiesel fuel*. Applied Energy, 88, 1020-1031.
- [7]. Hasan M M, Rahman M M, 2017. *Performance and emission characteristics of biodiesel-diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review*. Renew Sustain Energy Rev, 74, 938-48.
- [8]. Faiz A, Sinha K, Walsh M, et al, 2012. *Automotive air pollution: issues and options for developing countries*. http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/IW3P/IB/2000/02/24/000009265_3960929191612/Rendered/PDF/multi_page.pdf.
- [9]. Hu Z, Tan P, Yan X, et al, 2008. *Life cycle energy, environment and economic assessment of soybean-based biodiesel as an alternative automotive fuel in China*. Energy, 33, 1654-8.

- [10]. Malik U, Ahmed M, Sombilla M, et al, 2009. *Biofuels production for smallholder producers in the Greater Mekong Sub-region*. Applied Energy, 86, 558-568.
- [11]. Mercer-Blackman V, Samiei H, Cheng K, 2008. *Biofuel Demand Puschs Up Food Prices*. International Monetary Fund Survey Magazine: IMF Research.
- [12]. Jiaqiang E, Liu T, Yang W M, et al, 2016. *Effects of fatty acid methyl esters proportion on combustion and emission characteristics of a biodiesel fueled diesel engine*. Energy Conversion and Management, 117, 410-419.
- [13]. E J, Pham M, Deng Y, et al, 2018. *Effects of injection timing and injection pressure on performance and exhaust emissions of a common rail diesel engine fueled by various concentrations of fish-oil biodiesel blends*. Energy, 149, 979-989.
- [14]. Ghobadian B, Rahimi H, Nikbakht A M, et al, 2009. *Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network*. Renewable Energy, 34, 976-982.
- [15]. Kannan D, Pachamuthu S, Nurun Nabi M, et al, 2012. *Theoretical and experimental investigation of diesel engine performance, combustion and emissions analysis fuelled with the blends of ethanol, diesel and jatropa methyl ester*. Energy Conversion and Management, 53, 322-331.
- [16]. Behera P, Murugan S, 2013. *Studies on a diesel engine fuelled with used transformer oil at a different oil at different fuel injection nozzle operating pressures*. Int J Ambient Energy, 34, 53-9.
- [17]. Belagur V, Chitimini V, 2012. *Influence of static injection timing on combustion, emission and performance characteristics of DI diesel engine fuelled with honne oil methyl ester*. Int J Ambient Energy, 33, 65-74.
- [18]. Gomes P, Yates D, 1992. *The influence of some engine operating parameters on particulate emissions*. SAE Technical Paper 922222.
- [19]. Ganesh D, Gowrishankar G. *Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled CI engine*. Electrical and Control Engineering (ICECE), International Conference on, 20113453-9.
- [20]. Hoekman S K, Broch A, Robbins C, et al, 2012. *Review of biodiesel composition, properties, and specifications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 143-169.
- [21]. Hountalas D T, Kouremenos D A, Binde K B, et al, 2003. *Effect of Injection Pressure on the Performance and Exhaust Emissions of a Heavy Duty DI Diesel Engine*. SAE, 01, 340.
- [22]. Isaac J R L, Parthasarathy M, Dhinesh B, et al, 2016. *Pooled effect of injection pressure and turbulence inducer piston on performance, combustion, and emission characteristics of a DI diesel engine powered with biodiesel blend*. Ecotoxicol Environ Saf, 134, 336-43.
- [23]. Kuensberg Sarre C, Kong S C, Reitz R D, 1999. *Modelling the Effects of Injector Nozzle Geometry on Diesel Sprays*. SAE paper 01-0912.
- [24]. Lü X C, Yang J G, Zhang W G, et al, 2004. *Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-diesel blend fuel*. Fuel, 83, 2013-20.
- [25]. Deng J, 1993. *Grey Control System*. Science Press, Beijing.
- [26]. Azzeh M, Neagu D, Cowling P I, 2010. *Fuzzy grey relational analysis for software effort estimation*. Empirical Software Engineering, 15, 60-90.
- [27]. Rajeswari B, Amirthagadeswaran K S, 2017. *Experimental investigation of machinability characteristics and multi-response optimization of end milling in aluminium composites using RSM based grey relational analysis*. Measurement, 105, 78-86.
- [28]. Wei G-W, 2011. *Gray relational analysis method for intuitionistic fuzzy multiple attribute decision making*. Expert Systems with Applications, 38, 11671-11677.

AUTHORS INFORMATION

Pham Minh Hieu, Nguyen Manh Dung, Le Duc Hieu

Faculty of Automobile Technology, Hanoi University of Industry