

SỬ DỤNG CHUỖI FOURIER NHẪM CẢI THIẾN ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA MÔ HÌNH XÁM PHI TUYẾN VÀ ỨNG DỤNG TRONG DỰ BÁO DOANH SỐ Ô TÔ TẠI VIỆT NAM

USING FOURIER SERIES TO IMPROVE THE ACCURACY OF THE NONLINEAR GREY MODEL AND ITS APPLICATION IN FORECASTING CAR SALES IN VIETNAM

Phan Văn Thành*, Lê Anh Tuấn

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông Việt-Hàn - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam¹

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: pvthanh@vku.udn.vn

(Nhận bài / Received: 22/4/2026; Sửa bài / Revised: 24/6/2026; Chấp nhận đăng / Accepted: 16/7/2026)

DOI: 10.31130/ud-jst.2026.24(7A).251

Tóm tắt - Độ chính xác của mô hình dự báo đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ ra quyết định, đặc biệt trong môi trường với các dữ liệu phi tuyến và biến động phức tạp. Nghiên cứu này đề xuất cải tiến mô hình Xám phi tuyến NGM (1,1,k,c) bằng cách kết hợp chuỗi Fourier nhằm hiệu chỉnh phần dư sai số và nâng cao hiệu quả dự báo. Mô hình NGM (1,1,k,c) được sử dụng để mô phỏng xu hướng phát triển của chuỗi dữ liệu, trong khi chuỗi Fourier phản ánh các thành phần dao động chu kỳ chưa được mô hình hóa đầy đủ. Dữ liệu được sử dụng để xem xét tính hiệu quả của mô hình cải tiến là doanh số ô tô tại Việt Nam giai đoạn 2012–2025 được lấy từ website chính thức của Hiệp hội (VAMA). Kết quả thực nghiệm cho thấy, việc sử dụng chuỗi Fourier để chỉnh sửa phần dư sai số của mô hình NGM (1,1,k,c) đã làm tăng độ chính xác của mô hình dự báo lên 9,43% và 6,24% đối với tập dữ liệu huấn luyện và tập dữ liệu kiểm tra.

Từ khóa - Mô hình Xám phi tuyến; Việt Nam; doanh số ô tô; độ chính xác; dự báo

1. Đặt vấn đề

Trong nghiên cứu dự báo chuỗi thời gian, việc nâng cao độ chính xác của mô hình luôn là một trong những vấn đề được quan tâm hàng đầu. Mặc dù nhiều mô hình dự báo đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi, song các mô hình truyền thống vẫn tồn tại những hạn chế nhất định khi xử lý các chuỗi dữ liệu có tính biến động, phi tuyến hoặc chứa sai số ngẫu nhiên. Do đó, xu hướng nghiên cứu hiện nay không chỉ dừng lại ở việc xây dựng mô hình mới mà còn tập trung vào cải tiến các mô hình hiện có nhằm nâng cao hiệu quả dự báo. Các phương pháp cải tiến thường hướng đến việc điều chỉnh cấu trúc mô hình, tối ưu tham số hoặc kết hợp thêm các kỹ thuật hiệu chỉnh sai số để khắc phục những phân thông tin mà mô hình ban đầu chưa phản ánh đầy đủ. Cách tiếp cận theo hướng cải tiến mô hình được xem là giải pháp phù hợp, góp phần tăng độ tin cậy của kết quả dự báo và mở rộng khả năng ứng dụng của các mô hình trong thực tiễn phân tích kinh tế – xã hội.

Mô hình dự báo Xám được giáo sư Deng Julong đề xuất vào năm đầu thập niên 80 [1]. Đây là một thành phần quan trọng của hệ thống lý thuyết Xám chuyên về mô hình dự báo chuỗi thời gian, nổi bật với khả năng xử lý các bài toán

Abstract - The accuracy of forecasting models plays a crucial role in supporting decision-making, especially in environments with nonlinear data and complex fluctuations. This study proposes an improvement to the nonlinear Grey model NGM (1,1,k,c) by integrating a Fourier series to adjust residual errors and enhance forecasting performance. The NGM (1,1,k,c) model is used to simulate the developmental trend of the data series, while the Fourier series captures periodic fluctuation components that are not fully modeled. The data used to evaluate the effectiveness of the improved model consist of automobile sales in Vietnam from 2012 to 2025, obtained from the official website of the Vietnam Automobile Manufacturers' Association (VAMA). Experimental results show that, using the Fourier series to fit out the residual errors of the NGM (1,1,k,c) model increases by 9.34% and 6.24% in the accuracy in term of sample data and testing data.

Key words - Nonlinear grey model; Viet Nam; car sale; accuracy; forecasting

liên quan đến hệ thống có thông tin không đầy đủ hoặc không chắc chắn, ngay cả khi số lượng dữ liệu hạn chế (tối thiểu khoảng 4 điểm dữ liệu) trong khi các mô hình dự báo truyền thống như mô hình ARIMA, mô hình GARCH rất cần bộ dữ liệu chuỗi thời gian dài [2]. Nhờ vậy mà mô hình Xám được nhiều nhà quản lý, nhà khoa học sử dụng để giải quyết vấn đề trong nhiều lĩnh vực như năng lượng [3], tài chính – kinh tế [4], công nghệ bán dẫn [5], du lịch [6] và logistics [7].

Năm 2013, Jie và cộng sự đã đề xuất mô hình dự báo Xám mới mang tên NGM (1,1, k) và phiên bản tối ưu của nó là ONGM (1,1,k) để cải thiện mô hình NGM (1,1,k). Để chứng minh tính hiệu quả, nghiên cứu đã sử dụng hai tập dữ liệu thực tế bao gồm: sản lượng đất sét hàng năm tại huyện Xuyi, Trung Quốc (giai đoạn 1980–2011) và chỉ số chứng khoán CSI 300 (từ ngày 1/3 đến 2/4/2010). Nhóm tác giả đã sử dụng chỉ số kiểm định Diebold–Mariano. Kết quả nghiên cứu khẳng định rằng mô hình NGM và ONGM đều có khả năng dự báo hiệu quả, trong đó mô hình ONGM thường đạt độ chính xác cao nhất so với các mô hình xám khác như GM (1,1) hay DGM, góp phần làm phong phú thêm hệ thống lý thuyết dự báo Xám [8]. Zhang và cộng sự đã chỉ ra kết quả dự báo của mô hình NGM (1,1,k) cổ điển

¹ The University of Danang - Vietnam-Korea University of Information and Communication Technology, Vietnam (Van Thanh Phan, Anh Tuan Le)

chưa ổn định, nghiên cứu này phân tích sâu nguyên lý xây dựng mô hình và phương pháp ước lượng tham số mô hình. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đề xuất mô hình NGM (1,1,k) tích lũy dựa trên giá trị nền tối ưu, gọi tắt là FBNGM (1,1,k) và sử dụng thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) để ước lượng các tham số của mô hình đề xuất. Kết quả thực nghiệm cho thấy, mô hình FBNGM (1,1,k) có hiệu quả nhất định trong việc cải thiện mô hình dự báo tiêu thụ điện năng và tổng giá trị sản xuất nông nghiệp [9]. Guo và cộng sự tích hợp nguyên lý tự ghi nhớ của hệ thống động lực học, qua đó khắc phục hạn chế nhạy cảm với giá trị khởi đầu của mô hình Xám truyền thống. Nghiên cứu sử dụng dữ liệu tiêu thụ tổng năng lượng, than và điện của Trung Quốc để minh họa hiệu quả của mô hình đề xuất. Kết quả phân tích cho thấy, mô hình kết hợp tự ghi nhớ NGM (1,1,k) có hiệu suất dự báo vượt trội so với các nghiên cứu trước [10]. Năm 2014, Chen và Yu đề xuất mô hình NGM (1,1,k,c) và cũng đề xuất mô hình tối ưu tham số ONGM (1,1, k,c) với phương trình vi phân trễ được tối ưu hóa, phù hợp với quy luật hàm số mũ để có thể dự báo chính xác chuỗi số không đồng nhất thuần túy. Thông qua việc thực nghiệm với việc dự báo độ lún của nền móng, mô hình NGM (1,1,k,c) có độ chính xác cao [11].

Mặc dù, các nghiên cứu trước đã cải tiến mô hình Xám phi tuyến NGM theo nhiều hướng khác nhau. Tuy nhiên, vẫn chưa có nghiên cứu tập trung xây dựng mô hình kết hợp giữa NGM và chuỗi Fourier nhằm cải thiện độ chính xác dự báo cho các chuỗi dữ liệu có xu hướng phi tuyến, đồng thời tồn tại dao động chu kỳ và biến động ngẫu nhiên như doanh số ô tô. Nghiên cứu này đề xuất cải thiện mô hình NGM (1,1,k,c) bằng chuỗi Fourier thông qua việc dự báo doanh số ô tô Việt Nam với tập dữ liệu từ năm 2013 đến năm 2025.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình Xám phi tuyến (NGM (1,1,k,c))

Các phân tích lý thuyết và nghiên cứu tình huống nêu trên cho thấy rằng mô hình trên tồn tại một hạn chế riêng; đó là chuỗi mô phỏng của nó không thể biểu diễn một chuỗi chỉ số không đồng nhất tùy ý. Hãy so sánh mô hình này với các mô hình dự báo xám tương tự khác.

Phương trình vi phân làm trắng của mô hình Xám do Cui và cộng sự [10] là $(dx^{(1)}/dp)+ax^{(1)}=b+c(p-1)$. Phương trình vi phân làm trắng của mô hình xám do Zhang và Gu [10] đề xuất là:

$$(dx^{(1)}/dt) + ax^{(1)} = bt + c. \quad (1)$$

Mô hình trên đều có ba tham số, và các tham số trong nghiệm của phương trình vi phân làm trắng của chúng độc lập với nhau. Do đó, các mô hình này đều phù hợp để mô phỏng và dự báo các chuỗi chỉ số không đồng nhất xấp xỉ, và được xem là những mô hình tương đối hiệu quả. Dựa trên các mô hình tương tự, cần bổ sung một tham số vào mô hình NGM(1,1,k).

Định nghĩa 2. Phương trình

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = kb + c \quad (2)$$

Phương trình (2) được gọi là phương trình vi phân Xám của mô hình NGM(1,1,k,c) (viết tắt là NGM(1,1,k,c)), đây

là dạng xác định của mô hình NGM(1,1,k,c). Trong mô hình này, tham số a được gọi là hệ số phát triển, và đại lượng $kb + c$ được gọi là lượng tác động Xám. $x^{(0)}(k)$ là giá trị tại thời điểm k , $z^{(1)}(k)=0.5(x^{(0)}(k)+x^{(0)}(k+1))$

$$[a \ b \ c]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (3)$$

Trong đó

$$B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 2 & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 3 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & n & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Phương trình vi phân bậc nhất

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = bt + c \quad (5)$$

được gọi là phương trình vi phân làm trắng của mô hình NGM (1,1,k,c)

Phương trình

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \left(x^{(1)}(1) - \frac{b}{a} + \frac{b}{a^2} + \frac{c}{a} \right) e^{-ak} + \frac{b}{a}k - \frac{b}{a^2} + \frac{c}{a} \quad (6)$$

được gọi là phương trình đáp ứng theo thời gian của mô hình NGM(1,1,k,c). Các giá trị khôi phục được xác định như sau.

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \left(x^{(1)}(1) - \frac{b}{a} + \frac{b}{a^2} + \frac{c}{a} \right) (1 - e^a) e^{-ak} + \frac{b}{a} \quad (7)$$

2.2. Chuỗi Fourier

Mô hình FGM (1,1) được Wang và Phan sử dụng để dự báo lượng hàng hóa lưu thông qua Cảng biển Cao Hùng (Đài Loan, Trung Quốc) [12]. Các bước tính toán được thực hiện như sau: Sau khi tính toán để có được giá trị dự báo của mô hình dự báo NGM (1,1,k,c), chúng ta sẽ tính toán giá trị sai số của mô hình dự báo NGM (1,1,k,c) bằng công thức:

$$r^{(0)}(k) = \hat{x}^{(0)}(k) - x^{(1)}(k) \quad (8)$$

Bước tiếp theo chúng ta sử dụng chuỗi Fouries để chỉnh sửa phần dư sai số được tính toán bằng công thức

$$r^{(0)}(k) \cong \frac{1}{2} a_{(0)} + \sum_{l=1}^z (a_l \cos\left(\frac{2\pi l}{T}(k)\right) + b_l \sin\left(\frac{2\pi l}{T}(k)\right)) \quad (9)$$

Với $k=1,2,3,4, \dots, n$, $T = n-1$ và $z = \left(\frac{n-1}{2}\right) - 1$

Để giải phương trình trên chúng ta sử dụng phương pháp bình phương bé nhất với $r=P \times C$ trong đó C được tính như sau:

$$C = (P^T P)^{-1} P^T [r]^T \quad (10)$$

$$P = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \cos\left(2\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(2\frac{2\pi}{T}\right) & \cos\left(2\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(2\frac{2\pi}{T}\right) & \dots & \cos\left(2\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(2\frac{2\pi}{T}\right) \\ \frac{1}{2} \cos\left(3\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(3\frac{2\pi}{T}\right) & \cos\left(3\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(3\frac{2\pi}{T}\right) & \dots & \cos\left(3\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(3\frac{2\pi}{T}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{2} \cos\left(n\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(n\frac{2\pi}{T}\right) & \cos\left(n\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(n\frac{2\pi}{T}\right) & \dots & \cos\left(n\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(n\frac{2\pi}{T}\right) \end{bmatrix}$$

$$C = [a_0, a_1, b_1, a_2, b_2, a_3, b_3, \dots, a_n, b_n]^T$$

$$r = [r^{(0)}(2), r^{(0)}(3), r^{(0)}(4), \dots, r^{(0)}(n)]^T,$$

$$k=2,3,4, \dots, n$$

Sau khi tính toán các tham số $a_0, a_1, b_1, a_2, b_2 \dots a_z, b_z$ chúng ta thay vào công thức (11).

$$\hat{r}(k) = \frac{1}{2}a_{(0)} + \sum_{l=1}^z \left[a_l \cos\left(\frac{2\pi l}{m-1}(k)\right) + b_l \sin\left(\frac{2\pi l}{m-1}(k)\right) \right]$$

(11)

Kết quả giá trị dự báo của mô hình sửa đổi phần dư sai số bằng chuỗi Fourier được tính theo công thức (12).

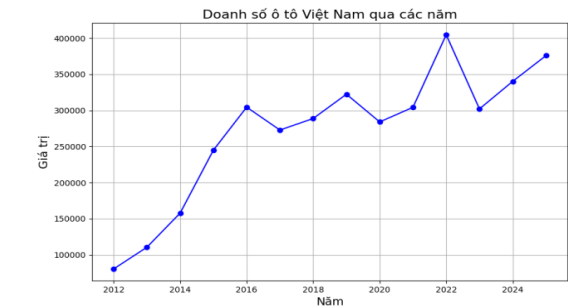
$$\begin{cases} \hat{x}_f^{(0)}(1) = \hat{x}^{(0)} \\ \hat{x}_f^{(0)}(k) = \hat{x}^{(0)} + \hat{r}(k) \end{cases} \quad k=2,3,4, \dots, n$$

(12)

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Dữ liệu

Dữ liệu được sử dụng để kiểm tra độ chính xác của mô hình đề xuất và mô hình truyền thống là bộ dữ liệu về doanh số ô tô được lấy từ Hiệp hội các nhà sản xuất ô tô Việt Nam theo từng năm [13]. Tập dữ liệu này được chia thành: tập dữ liệu huấn luyện (giai đoạn 2012 – 2022) và tập dữ liệu kiểm tra (giai đoạn 2023 – 2025).



Hình 1. Doanh số ô tô Việt Nam từ năm 2013 đến 2025 (Nguồn: VAMA)

Hình 1 thể hiện doanh số bán xe tại Việt Nam giai đoạn 2012–2025 có xu hướng tăng trưởng ổn định theo thời gian, mặc dù vẫn xuất hiện một số biến động mạnh qua các năm. Cụ thể, trong giai đoạn 2012–2016, doanh số tăng mạnh, từ khoảng 110.000 xe lên hơn 300.000 xe, phản ánh sự gia tăng nhanh chóng của nhu cầu thị trường. Từ năm 2017 đến 2019, doanh số tiếp tục tăng trưởng tương đối ổn định, dù vẫn có những dao động nhỏ giữa các năm. Đến năm 2020, doanh số giảm xuống khoảng 284.000 xe, sau đó bắt đầu phục hồi vào năm 2021. Đáng chú ý, năm 2022 ghi nhận mức cao nhất trong toàn bộ giai đoạn nghiên cứu khi doanh số vượt 400.000 xe, trước khi giảm mạnh vào năm 2023. Sau đó, doanh số đã phục hồi trở lại trong giai đoạn 2024–2025, đạt khoảng 375.000 xe vào năm 2025.

3.2. Chỉ số đánh giá

Để đánh giá hiệu quả của các mô hình dự báo, nhóm tác giả sử dụng chỉ số sai số phần trăm tuyệt đối (gọi tắt là MAPE). Chỉ số này được tính toán theo công thức (13).

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{k=2}^n \left| \frac{x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \times 100\%$$

(13)

Với $x^{(0)}(k)$: Giá trị thực tại thời điểm k ;

$\hat{x}^{(0)}(k)$: Giá trị dự báo tại thời điểm k ;

n : độ dài của chuỗi dữ liệu.

Để đánh giá chỉ số MAPE, đề xuất bởi Wang và Phan

[11], được chia làm 4 mức thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Thang đánh giá MAPE

Giá trị MAPE	$\leq 1\%$	1%-5%	5%-10%	$>10\%$
Đánh giá	Xuất sắc	Tốt	Chấp nhận được	Không phù hợp

3.3. Kết quả phân tích

Bằng việc kết hợp tập dữ liệu huấn luyện được thu thập từ năm 2012 đến năm 2022 với thuật toán NGM (1,1,k,c) được trình bày ở phần trên, nghiên cứu này xác định các tham số $a = 0,28696$, $b = 101568,43988$ và $c = 40150,31832$. Do đó, hàm hành vi dự báo doanh số ô tô tại Việt Nam được thể hiện như sau

$$\hat{x}^{(0)}(k) = -282539,94e^{-0,28696k} + 353940,3641$$

Và các hệ số của mô hình FNGM(1,1,k,c) được tính toán như sau:

$$\begin{aligned} C &= [a_0; a_1; b_1; a_2; b_2; a_3; b_3; \dots; a_n; b_n]^T \\ &= [-4350,287; 26,693; 11023,635; 1144,472; \\ &\quad -17330,186; 4998,049; -19252,086; -19252,086; \\ &\quad -28808,054; -7487,334; -15109,74765; -4353,890171]^T \end{aligned}$$

Kết quả so sánh độ chính xác của mô hình truyền thống và mô hình đề xuất được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả dự báo và sai số của mô hình dự báo NGM (1,1,k,c) và FNGM (1,1,k,c)

Năm	Dữ liệu thực tế	NGM (1,1,k,c)		FNGM(1,1,k,c)	
		Kết quả dự báo	Sai số	Kết quả dự báo	Sai số
2012	80.487	67.762,0111	16,00%	67.762,011	16,00%
2013	110.519	144.722,3914	31,00%	110.519	0,00%
2014	157.810	200.922,7902	27,00%	157.810	0,00%
2015	244.914	241.963,1906	1,00%	244.914	0,00%
2016	304.427	271.932,9863	11,00%	304.427	0,00%
2017	272.750	293.818,4611	8,00%	272.750	0,00%
2018	288.683	309.800,3521	7,00%	288.683	0,00%
2019	322.322	321.471,1449	0,00%	322.322	0,00%
2020	283.983	329.993,7536	16,00%	283.983	0,00%
2021	304.149	336.217,3976	11,00%	304.149	0,00%
2022	404.635	340.762,220	16,00%	306.558,829	24,00%
MAPE		13,07%		3,64%	
Độ chính xác =(100% - MAPE)		86,93%		96,36%	
Đánh giá		Không phù hợp		Tốt	
2023	301.989	344.081,1	13,94%	300.968,3	0,34%
2024	340.142	346.504,7	1,87%	349.455,5	2,74%
2025	375.736	348.274,5	7,31%	380.768,5	1,34%
MAPE		7,71%		1,47%	
Độ chính xác =(100% - MAPE)		92,29%		98,53%	
Đánh giá		Chấp nhận được		Tốt	

Đối với tập dữ liệu huấn luyện:

Kết quả ở Bảng 2 cho chúng ta thấy, NGM (1,1,k,c) có giá trị MAPE đạt 13,07%, phản ánh mức sai số dự báo còn tương đối cao. Theo tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác dự báo, mô hình có chỉ số MAPE trung bình vượt 10% so với

bảng tham chiếu. Từ đó mô hình này được xem là không có khả năng dự báo trong trường hợp này. Trong tập dữ liệu huấn luyện, sai số của mô hình biến động lớn giữa các năm, thể hiện tính ổn định chưa cao. Một số năm có mức sai lệch đáng kể như năm 2013 với sai số 31%, năm 2014 với sai số 27%, hay năm 2022 với sai số là 16%. Tuy nhiên xét về mặt tổng thể mô hình vẫn có thể phản ánh được xu hướng chung của doanh số ô tô nhưng chưa xử lý tốt các biến động lớn trong chuỗi dữ liệu.

Trong khi đó, mô hình FNGM (1,1,k,c) cho kết quả vượt trội hơn với giá trị MAPE chỉ đạt 3,64%, thuộc nhóm mô hình dự báo tốt và có độ chính xác cao. Kết quả trên tập dữ liệu huấn luyện cho thấy mô hình bám sát dữ liệu thực tế trong hầu hết các năm nghiên cứu. Đặc biệt, giai đoạn từ năm 2013 đến năm 2021, sai số của dự báo tiến gần 0%, chứng tỏ rằng mô hình đề xuất có khả năng mô phỏng xu hướng dữ liệu rất hiệu quả. Mặc dù năm 2022 xuất hiện sai số 24%, nhưng xét trên toàn bộ chuỗi dữ liệu thì mức sai số trung bình của mô hình vẫn thấp hơn rất nhiều so với NGM (1,1,k,c). Điều này cho thấy FNGM (1,1,k,c) có tính ổn định cao hơn và khả năng thích nghi tốt hơn với dữ liệu doanh số ô tô Việt Nam.

Từ kết quả phân tích trên, chúng ta có thể kết luận rằng mô hình FNGM (1,1,k,c) có kết quả dự báo tốt hơn so với mô hình dự báo NGM (1,1,k,c) trên tập dữ liệu huấn luyện.

Đối với tập dữ liệu kiểm tra:

Độ chính xác của mô hình FNGM (1,1,k,c) cũng thể hiện vượt trội so với mô hình NGM (1,1,k,c) đối với tập dữ liệu kiểm tra với độ chính xác cao là 98,53% tốt hơn so với mô hình NGM (1,1,k,c) là 92,29% trong giai đoạn 2023–2025. Cụ thể, mô hình FNGM (1,1,k,c) có sai số chỉ từ 0,34% đến 2,74% và MAPE đạt 1,47%, trong khi đó, mô hình NGM có sai số dự báo từ 1,87% đến 13,94%, với MAPE đạt 7,71%, cho thấy độ lệch giữa giá trị dự báo và thực tế còn khá lớn, đặc biệt năm 2023 với sai số là 13,94%. Kết quả trên thể hiện khả năng dự báo chính xác và ổn định hơn của mô hình đề xuất. Từ những kết quả phân tích trên cho thấy việc kết hợp chuỗi Fourier giúp mô hình FNGM (1,1,k,c) phản ánh tốt hơn xu hướng biến động của doanh số ô tô Việt Nam.

4. Kết luận và định hướng tương lai

Nghiên cứu đã tập trung cải tiến mô hình dự báo Xám phi tuyến NGM (1,1,k,c) thông qua việc kết hợp chuỗi Fourier nhằm nâng cao độ chính xác dự báo đối với chuỗi dữ liệu có xu hướng phi tuyến, dao động chu kỳ và biến động ngẫu nhiên. Kết quả thực nghiệm với dữ liệu doanh số ô tô Việt Nam giai đoạn 2012–2025 cho thấy mô hình FNGM (1,1,k,c) đạt hiệu quả dự báo cao hơn rõ rệt so với mô hình NGM truyền thống. Việc hiệu chỉnh phần dư bằng chuỗi Fourier đã giúp mô hình khắc phục những hạn chế trong việc mô phỏng các biến động của dữ liệu, từ đó làm giảm đáng kể sai số dự báo và nâng cao độ tin cậy của kết quả. Giá trị MAPE của mô hình cải tiến nằm trong mức đánh giá tốt, khẳng định tính hiệu quả của hướng tiếp cận kết hợp giữa mô hình Xám và phương pháp hiệu chỉnh sai số.

Trong thời gian tới, nghiên cứu có thể được mở rộng theo hướng tích hợp các thuật toán tối ưu hóa thông minh hoặc các phương pháp học máy nhằm tự động lựa chọn tham số tối ưu và nâng cao khả năng thích nghi của mô hình trước các chuỗi dữ liệu phức tạp hơn. Bên cạnh đó, việc phát triển mô hình Xám đa biến, kết hợp thêm các yếu tố kinh tế vĩ mô ảnh hưởng đến doanh số ô tô, cũng là hướng nghiên cứu tiềm năng nhằm tăng khả năng giải thích và ứng dụng thực tiễn. Ngoài ra, cần tiếp tục kiểm nghiệm mô hình trên các lĩnh vực khác như năng lượng, logistics hoặc tài chính để đánh giá tính tổng quát và độ ổn định của phương pháp đề xuất.

Lời cảm ơn: Bài báo này được tài trợ kinh phí bởi Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông Việt -Hàn - Đại học Đà Nẵng, thuộc đề tài có mã số B2024-DN06-02-TT

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J.L. Deng, *Grey System Theory*. Wuhan: Huazhong Institute of Technology Press, 2002.
- [2] T.H Nguyen and Q.T Bui, “Forecasting Vietnam Stock Index Using Hybrid ARIMA-GARCH Model”. *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 89, pp. 118-122, 2015, <https://jst-ud.vn/jst-ud/article/view/2221>.
- [3] S.B. Tsai, “Using grey models for forecasting China’s growth trends in renewable energy consumption”, *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 18, no. 2, pp. 563–571, 2016. <http://doi.org/10.1007/s10098-015-1017-7>
- [4] T. Yao and X. Liu, “Research on China’s GDP Growth Forecast Based on Grey Machine Learning Model”, *Journal of Grey System*, vol. 36, no. 4, 2024. ISSN: 0957-3720
- [5] C.J. Chang, D.C. Li, W.L. Dai and C.C.Chen, “Utilizing an Adaptive Grey Model for Short-Term Time Series Forecasting: A Case Study of Wafer-Level Packaging”, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 1, 526806, 2013. <http://doi.org/10.1155/2013/526806>
- [6] C.H. Wang, “Predicting tourism demand using fuzzy time series and hybrid Grey theory”, *Tourism management*, vol. 25, no. 3, pp. 367-374, 2024. [http://doi.org/10.1016/S0261-5177\(03\)00132-8](http://doi.org/10.1016/S0261-5177(03)00132-8)
- [7] V.T. Phan and A.T. Le, “Estimating the value of Vietnam’s export turnover in the period 2025-2030 using the Grey forecasting model”, *Economy and Forecast Review*, Special Issue, pp. 7–10, 2024. <https://vjol.info.vn/halong/en/article/view/113126/>
- [8] J. Cui, S. Liu, B. Zheng, and N.Xie, “A novel Grey forecasting model and its optimization”, *Applied Mathematical Modelling*, vol. 37, no. 6, pp.4399–4406, 2013. 10.1016/j.apm.2012.09.052
- [9] J. Zhang, Y. Qin, X. Zhang, B. Wang, D. Su, and H. Duo, “Fractional order accumulation NGM (1,1,k) model with optimized background value and its application”, *Journal of Mathematics*, vol. 1, 5406547, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5406547>.
- [10] X. Guo, S. F. Liu, L. Wu, and L. Tang, “A Grey NGM (1,1,k) Self-Memory Coupling Prediction Model for Energy Consumption Prediction”, *The Scientific World Journal*, vol. 1, 301032, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/301032>
- [11] P. Y. Chen and H. M. Yu, “Foundation settlement prediction based on a novel NGM model”, *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 1, 242809, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/242809>
- [12] C.N. Wang and V.T. Phan, “An improvement the accuracy of Grey forecasting model for cargo throughput in international commercial ports of Kaohsiung”, *WSEAS Transactions on Business and Economics*, vol. 11, 322–327, 2014. E-ISSN: 2224-2899.
- [13] Website of Vietnam Automobile Manufacturers Association. vama.org.vn, 2025, [Online]. Available: <http://vama.org.vn/en/sales-report.html> [Accessed March 24, 2026].