

# So sánh hiệu quả mô hình SARIMA và SARIMAX trong dự báo lượng hàng container tại cảng Busan

Performance comparison of SARIMA and SARIMAX models in forecasting container cargo volume at Busan Port

> CAO THIÊN ẤN<sup>1,2</sup>, MÃ CHÍ HIẾU<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách khoa TP.HCM

<sup>2</sup>Đại học Quốc gia TP.HCM

\*Email: chihieuma@hcmut.edu.vn

## TÓM TẮT

Dự báo lượng hàng container thông qua cảng là một bước quan trọng nhằm hỗ trợ các cơ quan quản lý trong việc lập kế hoạch và tối ưu hóa hoạt động khai thác. Nghiên cứu này so sánh hiệu quả dự báo của hai mô hình chuỗi thời gian: SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) và SARIMAX (mở rộng từ SARIMA với biến ngoại sinh). Dữ liệu đầu vào bao gồm lượng hàng container theo quý tại cảng Busan (Hàn Quốc) cùng với GDP thực (Real Gross Domestic Product) theo quý, được thu thập từ hệ thống FRED (Federal Reserve Economic Data). Độ chính xác của mô hình được đánh giá thông qua ba chỉ số: sai số trung bình tuyệt đối (MAE), căn bậc hai của sai số bình phương trung bình (RMSE), và sai số phần trăm tuyệt đối trung bình (MAPE). Kết quả cho thấy cả hai mô hình đều mang lại hiệu quả dự báo tốt; tuy nhiên, SARIMAX thể hiện ưu thế vượt trội nhờ khả năng tích hợp thông tin kinh tế vĩ mô. Nghiên cứu này cung cấp cơ sở dữ liệu và công cụ phân tích hữu ích, hỗ trợ công tác dự báo và ra quyết định chiến lược trong lĩnh vực quản lý cảng biển.

**Từ khóa:** Dự báo lượng hàng, SARIMA, SARIMAX, GDP.

## 1. GIỚI THIỆU

Các cảng biển đóng vai trò then chốt trong việc thúc đẩy hoạt động thương mại toàn cầu, là trung tâm trung chuyển quan trọng ảnh hưởng đến chi phí vận tải, cấu trúc giá cả và hiệu quả lưu thông hàng hóa. Trong số các yếu tố vận hành, lượng hàng container thông qua cảng là một chỉ số thiết yếu đối với việc quy hoạch cơ sở hạ tầng và định hướng phát triển chiến lược. Tuy nhiên, lượng hàng này chịu ảnh hưởng từ nhiều yếu tố phức tạp như điều kiện kinh tế toàn cầu, chi phí vận chuyển, và các biến động chính trị - xã hội khó lường, khiến việc dự báo trở nên đầy thách thức [1].

Nhiều phương pháp dự báo đã được áp dụng để dự đoán lượng hàng hóa qua cảng, từ các mô hình thống kê truyền thống đến những kỹ thuật học máy hiện đại. Trong đó, các mô hình cổ điển như

## ABSTRACT

Forecasting container throughput is an important step to support port authorities in planning and optimizing port operations. This study compares the forecasting performance of two time series models: SARIMA (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) and SARIMAX (SARIMA extended with exogenous variables). The input data include quarterly container throughput at two Busan ports (Korea), along with quarterly Real Gross Domestic Product (GDP), collected from the Federal Reserve Economic Data (FRED) system. The accuracy is evaluated through three indicators: mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and mean absolute percentage error (MAPE). The results indicate that both models provide good forecasting performance, but SARIMAX shows superiority in utilizing macroeconomic information. This study provides useful database and tools for forecasting and strategic decision making in the field of seaport management.

**Keywords:** Throughput forecasting, SARIMA, SARIMAX, GDP

ARIMA và SARIMA vẫn được ưa chuộng nhờ khả năng giải thích rõ ràng và hiệu quả trong việc mô hình hóa các quy luật tuyến tính theo thời gian. Bên cạnh đó, sự phát triển của các mô hình tích hợp biến ngoại sinh, như SARIMAX (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables), đã mở ra hướng tiếp cận mới trong việc tận dụng thêm các yếu tố kinh tế vĩ mô - điển hình là GDP - nhằm nâng cao độ chính xác trong dự báo [5].

Trong nghiên cứu này, hai mô hình dự báo SARIMA và SARIMAX được áp dụng để phân tích và so sánh hiệu quả dự báo lượng hàng container thông qua cảng Busan. Trong đó, mô hình SARIMAX sử dụng thêm biến GDP làm biến ngoại sinh. Thông qua việc khai thác cả đặc điểm mùa vụ và ảnh hưởng của các yếu tố kinh tế vĩ mô, nghiên cứu kỳ vọng mang lại những gợi ý hữu ích cho công tác quản lý và ra quyết định tại các cảng biển.

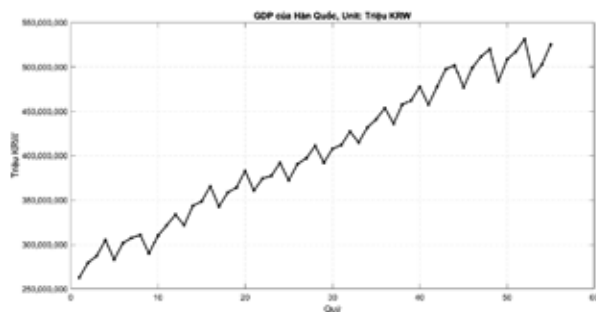
## 2. TỔNG QUAN VÀ DỮ LIỆU CHUỖI THỜI GIAN VỀ LƯỢNG HÀNG CONTAINER

Cảng Busan là cảng biển lớn nhất của Hàn Quốc và đứng trong nhóm những cảng container nhộn nhịp nhất thế giới. Là trung tâm trung chuyển chiến lược của khu vực Đông Á, cảng Busan đóng vai trò chủ chốt trong việc kết nối các luồng thương mại toàn cầu và là động lực quan trọng cho nền kinh tế Hàn Quốc.

Dữ liệu đầu vào cho các mô hình dự báo trong nghiên cứu này bao gồm lượng hàng container được thu thập từ báo cáo thường niên công bố trên trang web chính thức của cảng Busan [2]. Dữ liệu được chuẩn hóa theo đơn vị TEU (Twenty-foot Equivalent Units), phản ánh khối lượng container theo quý từ quý I năm 2007 đến quý IV 2023 (68 điểm quan sát) cho cảng Busan.



Hình 1. Lượng hàng container qua cảng Busan, Unit: Ngàn TEU



Hình 2. GDP của Hàn Quốc, Unit: Triệu Won

Ngoài ra, để phục vụ cho mô hình SARIMAX, biến ngoại sinh là Tổng sản phẩm quốc nội (GDP) cũng được đưa vào mô hình như một yếu tố kinh tế vĩ mô có khả năng ảnh hưởng đến lượng hàng đi qua cảng. Dữ liệu GDP theo quý được lấy từ hệ thống FRED (Federal Reserve Economic Data) - một cơ sở dữ liệu kinh tế đáng tin cậy do Cục Dự trữ Liên bang (Hoa Kỳ) cung cấp [3]. Chỉ số GDP phản ánh tốt mối liên hệ giữa tăng trưởng kinh tế và lượng hàng container tại mỗi cảng.

Thông qua việc kết hợp dữ liệu thực tế của lượng hàng tại cảng Busan, cùng với biến kinh tế vĩ mô như GDP, nghiên cứu này nhằm đánh giá và so sánh hiệu quả dự báo giữa hai phương pháp SARIMA và SARIMAX trong bối cảnh đa dạng và phức tạp của thương mại quốc tế.

## 3. PHƯƠNG PHÁP CỦA CÁC MÔ HÌNH DỰ BÁO

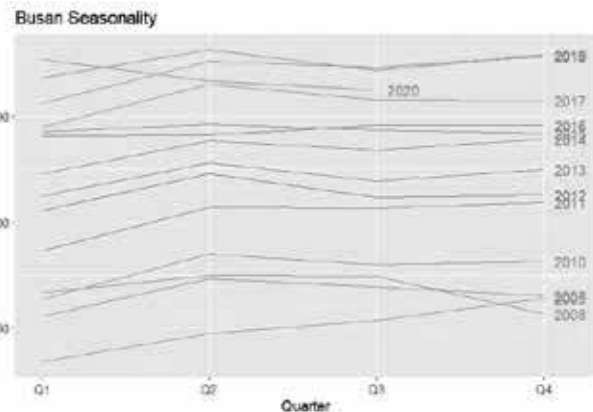
Đối với tập dữ liệu của cảng Busan, bài báo sử dụng 80% số liệu để huấn luyện mô hình và 20% còn lại để kiểm định và đánh giá hiệu quả dự báo. Cụ thể, 55 điểm dữ liệu đầu được dùng để xây dựng mô hình SARIMA và SARIMAX cho cảng. Phần còn lại 20% là 13 điểm dữ liệu được dùng để đánh giá hiệu suất dự báo của mô hình.

### 3.1. Mô hình SARIMA

Mô hình ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) là một trong những phương pháp phổ biến trong dự báo chuỗi thời

gian, đặc biệt hiệu quả khi dữ liệu có xu hướng tuyến tính và không có yếu tố mùa vụ [1,4]. Tuy nhiên, trong thực tế, nhiều chuỗi thời gian như lượng hàng container qua cảng thường có yếu tố mùa vụ. Qua hình 3 biểu đồ thể hiện sự thay đổi theo quý (Q1 → Q4) của lượng hàng tại cảng Busan qua nhiều năm. Giai đoạn (2009 - 2014) đều cho thấy sự gia tăng lượng hàng trong Q2 so với Q1. Sau khi tăng mạnh ở Q2, nhiều năm có xu hướng giảm nhẹ hoặc đi ngang trong Q3 và sau đó phục hồi hoặc giảm nhẹ ở Q4.

Để phản ánh điều này, mô hình SARIMA (Seasonal ARIMA) được sử dụng với phần mở rộng cho yếu tố mùa vụ, giúp cải thiện độ chính xác trong dự báo. Mô hình này được ký hiệu là SARIMA(p, d, q)(P, D, Q)[s].



Hình 3. Đồ thị kiểm tra tính mùa vụ của lượng hàng tại cảng Busan

Phương trình tổng quát của mô hình SARIMA

$$y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} + \sum_{k=1}^P \phi_k y_{t-ks} + \sum_{l=1}^Q \theta_l \varepsilon_{t-ls} + \varepsilon_t \quad (1)$$

Trong đó,  $y_t$  là giá trị của chuỗi thời gian tại thời điểm  $t$ . Các tham số của mô hình được giải thích như sau:

**p** là bậc của thành phần tự hồi quy (AR), đại diện cho số lượng giá trị trong quá khứ ảnh hưởng đến giá trị hiện tại; **d** là bậc sai phân, dùng để loại bỏ xu hướng trong dữ liệu và giúp chuỗi trở nên dừng; **q** là bậc của thành phần trung bình trượt (MA), phản ánh mối quan hệ giữa giá trị hiện tại và các sai số dự báo trong quá khứ;

**P, D, Q** là các tham số tương ứng với thành phần mùa vụ của mô hình; **s** là chu kỳ mùa vụ. Với dữ liệu theo quý  $s = 4$ .  $\phi_i, \theta_j, \phi_k, \theta_l$  là các hệ số của các thành phần AR và MA (không mùa vụ và theo mùa);  $\varepsilon_t$  là nhiễu trắng (white noise), tức là sai số ngẫu nhiên tại thời điểm  $t$ , không có tính chu kỳ hay xu hướng.

### 3.2. Mô hình SARIMAX

SARIMAX là phần mở rộng của mô hình SARIMA, cho phép bổ sung thêm các biến ngoại sinh (exogenous variables - X) vào quá trình dự báo. Điều này đặc biệt hữu ích khi có các yếu tố bên ngoài ảnh hưởng đến chuỗi thời gian cần dự báo. Cấu trúc tổng quát của mô hình SARIMAX [1] có thể được diễn giải qua phương trình (2):

$$y_t = \text{SARIMA components} + \sum \beta_i X_{i,t} + \varepsilon_t \quad (2)$$

Trong đó,  $X_t$  là giá trị biến ngoại sinh tại thời điểm  $t$ ,  $\beta$  là hệ số hồi quy phản ánh mức độ ảnh hưởng của biến ngoại sinh đến biến phụ thuộc  $y_t$ , SARIMA components là các thành phần còn lại tương tự như trong mô hình SARIMA.

### 3.3. Quy trình xây dựng các mô hình

Lưu đồ trong hình mô tả quy trình xây dựng mô hình SARIMA và SARIMAX. Để đánh giá tính dừng của chuỗi sử dụng kiểm định ADF, KPSS và PP [7]. Việc kết hợp nhiều kiểm định giúp tăng độ tin cậy của kết luận về tính dừng. Nếu chuỗi chưa dừng, việc sai phân (differencing) sẽ được thực hiện tiếp tục cho đến khi chuỗi trở nên dừng.



Hình 4. Lưu đồ xây dựng mô hình SARIMA và SARIMAX

Sau đó, việc xác định các tham số (p, d, q) và (P, D, Q) của mô hình được hỗ trợ thông qua phân tích hàm tự tương quan (ACF) và hàm tự tương quan riêng phần (PACF) [1,4,7]. Khi đã xác định được tập hợp các mô hình khả thi, lựa chọn mô hình tối ưu sẽ dựa vào các tiêu chí đánh giá như AIC, BIC và MAPE [4,7]. Tiêu chí này giúp cân bằng giữa độ phù hợp của mô hình và mức độ phức tạp (số lượng tham số), từ đó tránh hiện tượng quá khớp (overfitting). Công thức AIC [7] được diễn giải qua phương trình (3):

$$AIC = \ln \frac{\sum_{t=1}^n \epsilon_t^2}{n} + \frac{2h}{n} \quad (3)$$

Trong đó, n là số điểm dữ liệu,  $\epsilon_t$  là sai số ngẫu nhiên tại thời điểm t, h là số lượng tham số của mô hình

Sau khi mô hình được xây dựng, cần kiểm định tính phù hợp thông qua phân tích phần dư. Phần dư phải có phân phối ngẫu nhiên, không chứa thông tin có cấu trúc (white noise). Kiểm định Ljung-Box Q [1] thường được sử dụng để xác minh rằng không tồn tại tự tương quan còn sót lại trong phần dư.

Mô hình SARIMAX với việc đưa thêm biến ngoại sinh giúp mô hình phản ánh tốt hơn các yếu tố kinh tế vĩ mô ảnh hưởng đến lượng hàng hóa qua cảng, từ đó cải thiện độ chính xác của dự báo. Điều kiện cần đáp ứng là biến ngoại sinh phải có mối tương quan với dữ liệu lượng hàng và đảm bảo các điều kiện về tính dừng, được chuẩn hóa trước khi đưa vào mô hình. Các giá trị của biến ngoại sinh trong giai đoạn dự báo cần phải được cung cấp trước, thông qua các kịch bản kinh tế giả định hoặc các mô hình dự báo riêng biệt dành cho các biến ngoại sinh.

#### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

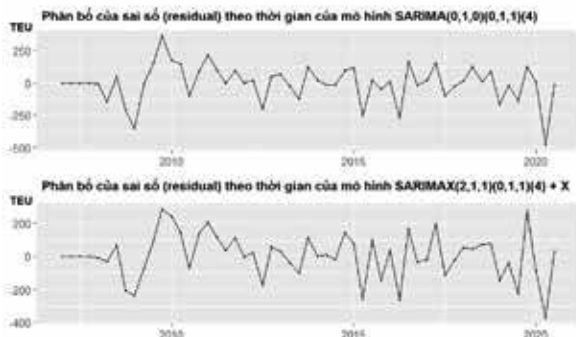
##### 4.1. Kết quả kiểm định mô hình

Hai mô hình SARIMA và SARIMAX được chọn có thông số mô hình trong Bảng 1:

Bảng 1. Thông số các mô hình dự báo cho cảng Busan

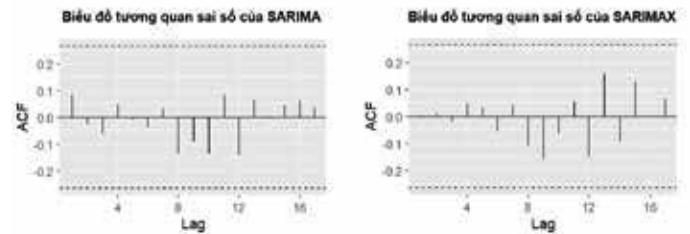
Mô hình	Cấu hình mô hình	AIC	Ljung-Box p-value
SARIMA	SARIMA (0,1,0)(0,1,1)[4]	652.25	0.9467
SARIMAX	SARIMAX (2,1,1)(0,1,1) [4] + X	654.87	0.8452

Cả hai mô hình được chọn dựa trên chỉ số AIC thấp nhất, cả hai đều vượt qua kiểm định Ljung-Box ( $p > 0.05$ ) cho thấy phần dư gần như ngẫu nhiên.



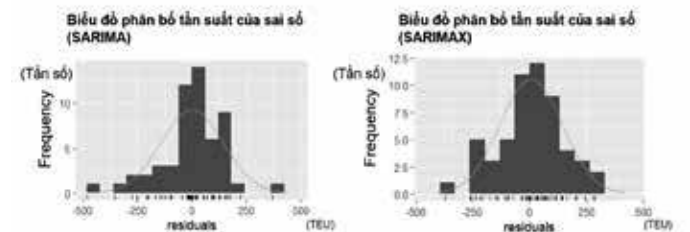
Hình 5. Biểu diễn sai số (residual) theo thời gian của hai mô hình SARIMA và SARIMAX

Trong Hình 5, sai số (residual) theo thời gian dao động tương đối ổn định quanh 0, không có xu hướng rõ ràng ở cả hai mô hình cho thấy sai số là ngẫu nhiên. Sai số ở mô hình SARIMAX dao động giảm nhẹ hơn so với SARIMA.



Hình 6. Biểu đồ kiểm định tương quan giữa các sai số trong từng mô hình

Đối với kết quả ACF của residuals, tất cả các thành ở hai mô hình đều nằm trong khoảng tin cậy, dấu hiệu sai số không có tính tự tương quan với nhau (Hình 6). Phân phối của residuals trong mô hình SARIMA hơi lệch, có phần đuôi dài biểu thị residuals chưa hoàn toàn tuân theo phân phối chuẩn. Trong khi đó residual trong mô hình SARIMAX đối xứng và tiệm cận hơn với đường cong phân phối chuẩn, cho thấy residuals gần tuân theo phân phối chuẩn hơn mô hình SARIMA, tức mô hình đã giải thích tốt phần lớn dao động của dữ liệu (Hình 7).



Hình 7. Biểu đồ phân bố tần suất của sai số trong từng mô hình

##### 4.2. Kết quả dự báo cho cảng Busan

Kết quả dự báo cụ thể được trình bày trong Bảng 2:

Bảng 2: So sánh độ chính xác của hai mô hình SARIMA và SARIMAX trong dự báo lượng hàng container tại cảng Busan

Năm – Quý	Dữ liệu thực (10 <sup>3</sup> TEU)	SARIMA		SARIMAX	
		Dự báo (10 <sup>3</sup> TEU)	Sai số (%)	Dự báo (10 <sup>3</sup> TEU)	Sai số (%)
2020.4	5716	5278.29	7.66	5440.39	4.82
2021.1	5555	5224.52	5.95	5383.98	3.08
2021.2	5897	5449.63	7.59	5574.15	5.47
2021.3	5598	5369.90	4.07	5492.12	1.89
2021.4	5656	5405.19	4.43	5558.86	1.72
2022.1	5586	5351.42	4.20	5506.00	1.43
2022.2	5672	5576.53	1.68	5697.52	0.45
2022.3	5461	5496.81	0.66	5617.54	2.87
2022.4	5359	5532.09	3.23	5691.43	6.20
2023.1	5676	5478.33	3.48	5636.77	0.69
2023.2	5916	5703.43	3.59	5828.64	1.48
2023.3	5755	5623.71	2.28	5748.85	0.11
2023.4	5807	5659.00	2.55	5822.11	0.26
			Trung bình:		Trung bình:
			<b>3.95</b>		<b>2.34</b>

Quan sát bảng sai số cho thấy mô hình SARIMAX thể hiện ưu thế vượt trội hơn mô hình SARIMA trong các giai đoạn có biến động mạnh về khối lượng hàng hóa, đặc biệt là trong giai đoạn dự báo có bị ảnh hưởng bởi COVID-19. Điều này cũng có vai trò của biến ngoại sinh trong việc nắm bắt các cú sốc thị trường không thể hiện rõ qua

dữ liệu nội sinh. Biểu đồ Hình 8 minh họa trực quan khả năng dự báo của hai mô hình:



Hình 8. So sánh kết quả dự báo của hai mô hình SARIMA và SARIMAX tại cảng Busan

Để đánh giá định lượng độ chính xác của các mô hình, ba chỉ số sai số gồm MAE (Mean Absolute Error), RMSE (Root Mean Squared Error) và MAPE (Mean Absolute Percentage Error) đã được tính toán cho cả hai mô hình SARIMA và SARIMAX. Kết quả được tổng hợp trong Bảng 3:

Bảng 3: Đánh giá độ chính xác của các mô hình dự báo tại cảng Busan

Model		MAE (10 <sup>3</sup> TEU)	RMSE (10 <sup>3</sup> TEU)	MAPE (%)
SARIMA	Huấn luyện (55 data point)	97.64	142.03	2.38
	Dự báo (13 data point)	224.84	253.39	3.95
	Tổng thể (68 data point)	121.96	169.09	2.68
SARIMAX	Huấn luyện (55 data point)	102.23	136.00	2.41
	Dự báo (13 data point)	131.91	171.33	2.34
	Tổng thể (68 data point)	107.91	143.43	2.40

Từ Bảng 3 có thể thấy, cả hai mô hình đều cho kết quả dự báo rất tốt. Tuy nhiên, mô hình SARIMAX dự báo tốt hơn SARIMA khi đưa thêm biến ngoại sinh phù hợp, giúp cải thiện đáng kể độ chính xác dự báo, đặc biệt trong các giai đoạn có yếu tố tác động bất thường từ bên ngoài. Mặc dù về tỷ lệ phần trăm (MAPE) của SARIMAX chỉ cải thiện thêm khoảng 1.5 % so với SARIMA, nhưng nếu nhìn vào đơn vị TEU thì hiệu quả đó khá đáng kể. Với MAE (Dự báo), SARIMA có sai số trung bình  $224.84 \times 10^3$  TEU, còn SARIMAX chỉ còn  $131.91 \times 10^3$  TEU tức giảm khoảng 92.930 TEU trên mỗi bước dự báo. Với RMSE (Dự báo), SARIMA là  $253.39 \times 10^3$  TEU, SARIMAX còn  $171.33 \times 10^3$  TEU tức giảm khoảng 82.060 TEU. Trong bối cảnh một cảng lớn như Busan, việc dự báo chính xác có thể giúp tối ưu trong vận hành, điều này cực kỳ có ý nghĩa đối với việc hoạch định nhân lực, thiết bị và logistics.

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đánh giá hiệu quả dự báo của hai phương pháp chuỗi thời gian là SARIMA và SARIMAX, sử dụng dữ liệu lượng hàng container theo quý tại cảng Busan. Kết quả cho thấy cả hai mô hình đều đưa ra dự báo đáng tin cậy, trong đó SARIMAX thể hiện độ chính xác cao hơn, đặc biệt ở những giai đoạn có nhiều biến động và ảnh hưởng từ các yếu tố bên ngoài.

Mô hình SARIMA, dựa trên phân tích thống kê chuỗi thời gian truyền thống, có khả năng mô hình hóa tốt các quan hệ tuyến tính và phù hợp với các dữ liệu có xu hướng ổn định. Tuy nhiên, hạn chế của SARIMA nằm ở việc xử lý kém hiệu quả các mối quan hệ phi tuyến hoặc những thay đổi bất thường trong dữ liệu, khiến độ chính xác dự báo giảm khi có nhiều biến động.

Mô hình SARIMAX, bằng cách đưa thêm các biến ngoại sinh thích hợp, giúp mô hình thích ứng tốt hơn với các yếu tố bên ngoài,

từ đó nâng cao độ chính xác dự báo trong các tình huống thực tế. Mô hình này tỏ ra đặc biệt hữu ích trong bối cảnh ngành cảng biển hiện đại, nơi lượng hàng container khai thác thường chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố kinh tế, chính sách hoặc sự kiện toàn cầu.

Trong tương lai, các hướng nghiên cứu có thể mở rộng theo hướng kết hợp các mô hình lai, tích hợp điểm mạnh của SARIMA trong việc mô hình hóa tuyến tính với khả năng xử lý phi tuyến của các phương pháp như mạng nơ-ron nhân tạo, để nâng cao hơn nữa hiệu quả dự báo.

Tổng thể, kết quả nghiên cứu khẳng định tính ứng dụng thực tiễn của các mô hình dự báo chuỗi thời gian trong hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu cho công tác quản lý và quy hoạch cảng biển.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG – TP.HCM đã tạo điều kiện về thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Arunraj, N. S., & Ahrens, D. (2016). Application of SARIMAX model to forecast daily sales in food retail industry. *International Journal of Operations Research and Information Systems*, 7(2), 1-22.
- [2]. Busan Port Authority. (n.d.). Port Statistics. Retrieved from <https://www.busanpa.com/eng/Board.do?mCode=MN0043>
- [3]. Federal Reserve Bank of St. Louis. (n.d.). ALFRED - Archival Federal Reserve Economic Data. Retrieved May 23, 2025, from <https://alfred.stlouisfed.org/>
- [4]. Huang, J., Chu, C.-W., & Tsai, Y.-C. (2020). Container throughput forecasting for international ports in Taiwan. *Journal of Marine Science and Technology*, 28(5), 456-469.
- [5]. Gosasang, V., Chandraprakaikul, W., & Kiattisun, S. (2011). A comparison of traditional and neural networks forecasting techniques for container throughput at Bangkok Port. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 27(3), 463-482.
- [6]. Yulianti, R., Amanda, N. T., Notodiputro, K. A., Angraini, Y., & Mualifah, L. N. A. (2025). Comparison of SARIMA and SARIMAX methods for forecasting harvested dry grain prices in Indonesia. *Barekeng: Journal of Mathematics and Its Applications*, 19(1), 0319-0330.