



Nghiên cứu ảnh hưởng của dòng bão hòa trong nút giao đèn tín hiệu tại thành phố Nha Trang

A study on the impact of saturation flow at signalized intersections in Nha Trang city

 Trần Quang Duy¹, Nguyễn Tuấn Khang¹, Huỳnh Trọng Tiến¹, Thái Thị Kim Thoa¹, Trịnh Tuấn Hùng^{2,*}
¹Trường Đại học Nha Trang

²Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Từ khóa: TÓM TẮT

 Dòng bão hòa
 Lưu lượng xe
 Mô hình phi tuyến
 Nút giao đèn tín hiệu
 Ủn tắc giao thông

Dòng bão hòa đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá hiệu quả hoạt động của nút giao đèn tín hiệu, với sự khác biệt rõ rệt giữa các khu vực. Khi nhu cầu giao thông tăng, thiết kế đèn tín hiệu dựa trên dòng bão hòa đã trở thành một chủ đề nghiên cứu quan trọng. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện nay chủ yếu tập trung vào các thành phố lớn như Hà Nội và TP.HCM. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của dòng bão hòa tại các nút giao đèn tín hiệu ở thành phố Nha Trang. Nghiên cứu phân tích mối quan hệ giữa lưu lượng bão hòa và bề rộng làn xe thông qua khảo sát tại chín nút giao trong giờ cao điểm. Mô hình phi tuyến bậc 2 cho thấy sự phù hợp cao với dữ liệu thực tế. Việc áp dụng mô hình này giúp cải thiện lưu lượng giao thông. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở để cải thiện thiết kế đèn tín hiệu tại Nha Trang và các khu vực có điều kiện giao thông tương tự.

Keywords: ABSTRACT

 Saturated flow
 Traffic volume
 Nonlinear model
 Signalized intersection
 Traffic congestion.

Saturation flow plays an important role in evaluating the performance of signalized intersections, with clear differences across regions. As traffic demand increases, signal design based on saturation flow has become an important research topic. However, most studies to date have primarily focused on large cities such as Hanoi and Ho Chi Minh City. Therefore, this study focuses on assessing the impact of saturation flow at signalized intersections in Nha Trang city. The study analyzes the relationship between saturation flow and lane width through surveys at nine intersections during peak hours. The second-degree nonlinear model shows a high fit with real data. The application of this model helps improve traffic flow. The research results provide a foundation for improving signal design in Nha Trang and other areas with similar traffic conditions.

1. Giới thiệu

Tắc nghẽn giao thông tại các đô thị lớn Việt Nam như Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh ngày càng nghiêm

trọng do sự gia tăng dân số, phương tiện cơ giới, tốc độ đô thị hóa nhanh chóng, trong khi hạ tầng bị khai thác vượt công suất [1], [2]. Tình trạng này gây ra nhiều hệ lụy tiêu cực như giảm chất lượng sống, tăng

* Trịnh Tuấn Hùng, Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh
 Email: hungtt@ut.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150108>

Ngày nhận bài: 17/10/2025; Ngày nộp bài sửa: 11/01/2025; Ngày chấp nhận đăng: 15/01/2025

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/01/2026

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

chi phí xã hội, ô nhiễm môi trường và tổn thất kinh tế do chậm trễ. Để giảm thiểu ùn tắc, cần có những giải pháp tối ưu trong thiết kế và quản lý hệ thống giao thông, trong đó phân tích dòng chảy và dự báo năng lực thông hành đóng vai trò then chốt [3].

Một trong những yếu tố hình học ảnh hưởng đáng kể đến dòng bão hòa là bề rộng làn xe. Nhiều nghiên cứu trong điều kiện giao thông hỗn hợp đã phát triển mô hình dòng bão hòa cho nút giao có đèn, cho thấy hình học và thành phần dòng xe là các biến quan trọng [4]. Khảo sát thực địa các nút giao ở Bangalore (Ấn Độ) cũng chứng minh rằng bề rộng tiếp cận, độ dốc và hình học nút giao có tác động đáng kể đến dòng bão hòa [5].

Trong bối cảnh Việt Nam, Nguyen (2016) đã khảo sát các nút giao đèn tín hiệu ở những đô thị phụ thuộc xe máy, phân tích ảnh hưởng của bề rộng tiếp cận, thành phần xe và thời gian xanh hiệu quả, đồng thời đề xuất mô hình hồi quy phù hợp với điều kiện hỗn hợp [6]. Các nghiên cứu thực nghiệm tại châu Á tiếp tục cho thấy tỷ lệ xe hai bánh và cơ cấu thành phần xe ảnh hưởng rõ rệt đến năng lực thông hành trong điều kiện hỗn hợp [7], [8], [9].

Riêng với bề rộng làn, các kết quả thực nghiệm tại Ấn Độ chỉ ra rằng giảm bề rộng làn có thể làm suy giảm năng lực trong điều kiện giao thông hỗn [10]. Các nghiên cứu ước lượng dòng bão hòa dưới hỗn hợp xe khác cũng đưa ra khuyến nghị về cách lấy mẫu và hiệu chỉnh tham số tại nút giao đèn tín hiệu [11], trong khi nghiên cứu ở TP. Hồ Chí Minh đã làm rõ đặc trưng dòng bão hòa hỗn hợp trong bối cảnh xe máy chiếm ưu thế [12]. Bổ sung thêm, bằng chứng tại các nước đang phát triển cho thấy xe hai bánh tạo ra khác biệt đáng kể về đặc tính dòng và dòng bão hòa tại nút giao đèn tín hiệu [13].

Mô hình hồi quy là công cụ phổ biến để phân tích và dự báo mối quan hệ giữa các yếu tố giao thông. Trong nghiên cứu này, chúng tôi áp dụng cả hồi quy tuyến tính và phi tuyến để phân tích quan hệ giữa bề rộng làn xe và dòng bão hòa. Trong đó, hồi quy tuyến tính nắm bắt xu hướng tổng quát, còn hồi quy phi tuyến (bậc 2, bậc 3) mô phỏng các đặc trưng phi tuyến trong dữ liệu thực tế. Tổng quan phương pháp luận gần đây cho thấy các cách tiếp cận phi tuyến giúp nâng cao độ chính xác khi xem xét các yếu tố phức tạp của dòng chảy giao thông [8]. Đồng thời, hiệu chỉnh xe con tiêu chuẩn (PCU) và tối ưu hóa theo điều kiện

hỗn hợp được chứng minh là cần thiết để cải thiện hiệu quả sử dụng đường đô thị [14]; việc phân bổ làn xe (ví dụ, làn rẽ trái dùng chung) dựa trên mô hình dòng bão hòa cũng cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa tổ chức làn, bề rộng và năng lực vận hành tại nút [15].

Mặc dù đã có nhiều công trình trong và ngoài nước, vẫn tồn tại khoảng trống nghiên cứu: (i) đa số mô hình giả định thành phần xe đơn giản, chưa xét đến tương tác phức tạp giữa xe máy và xe lớn; (ii) bề rộng làn thường coi đồng nhất, chưa phản ánh biến thiên thực tế; và (iii) ít có nghiên cứu so sánh hệ thống giữa hồi quy tuyến tính và phi tuyến trong điều kiện hỗn hợp của Việt Nam.

Xuất phát từ thực tiễn trên, nghiên cứu này đặt mục tiêu: (i) phân tích và xác định mối quan hệ giữa bề rộng làn xe và dòng bão hòa tại các nút giao đèn tín hiệu trong điều kiện hỗn hợp; (ii) áp dụng và so sánh mô hình hồi quy tuyến tính và phi tuyến để lựa chọn mô hình phù hợp; và (iii) đề xuất hệ số hiệu chỉnh đặc thù cho Thành phố Nha Trang. Kết quả kỳ vọng cung cấp dữ liệu thực nghiệm và cơ sở khoa học cho thiết kế hình học, điều khiển tín hiệu và quản lý giao thông đô thị tại Thành phố Nha Trang, góp phần giảm ùn tắc và nâng cao hiệu quả khai thác hạ tầng.

2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, phương pháp quan sát trực tiếp kết hợp với ghi hình bằng camera được sử dụng để thu thập dữ liệu lưu lượng phương tiện tại các nút giao có đèn tín hiệu trên địa bàn thành phố Nha Trang. Dữ liệu sau khi ghi hình được xử lý bằng phương pháp đếm xe thủ công, tập trung vào giai đoạn bão hòa của chu kỳ đèn xanh nhằm xác định chính xác dòng bão hòa. Việc đếm xe được tiến hành theo từng loại phương tiện và được quy đổi về PCU dựa trên hệ số quy đổi hiện hành.

Trên cơ sở số liệu khảo sát, nghiên cứu xem xét mối quan hệ tuyến tính giữa dòng bão hòa và bề rộng mặt đường nhằm xây dựng mô hình phản ánh đặc trưng giao thông tại Nha Trang. Phạm vi nghiên cứu giới hạn ở một số nút giao điển hình trên các tuyến đường chính của thành phố.

Các bước triển khai cụ thể bao gồm: (i) khảo sát thực địa và ghi hình; (ii) đếm và xử lý số liệu lưu lượng dòng bão hòa; (iii) phân tích mối quan hệ tuyến tính giữa các nhân tố ảnh hưởng và dòng bão hòa thông qua mô hình hồi quy; và (iv) kiểm chứng mô hình bằng cách so sánh với giá trị thực tế tại hiện

trường. Kết quả nghiên cứu được kỳ vọng sẽ hỗ trợ các nhà quản lý và thiết kế giao thông đưa ra những quyết định hợp lý, góp phần nâng cao hiệu quả tổ chức giao thông đô thị tại Nha Trang. Sơ đồ nghiên cứu được thể hiện ở Hình 1.

2.1. Thu thập và tiền xử lý dữ liệu

Dữ liệu được thu thập từ các quan sát thực tế tại chín nút giao đèn tín hiệu tại thành phố Nha Trang. Hình 2 thể hiện ví dụ về khảo sát nút giao Thích Quảng Đức – Tố Hữu. Dữ liệu khảo sát bao gồm bề rộng làn xe (mét) và lưu lượng và thành phần phương tiện (xe máy, ô tô con, xe tải nhẹ, xe buýt) và chu kỳ đèn tín hiệu. Số chu kỳ tối thiểu khảo sát theo HCM 2016 [3] là 15 chu kỳ trong 2 ngày. Để tăng độ chính xác của việc xác định dòng bão hòa, nghiên cứu đề xuất khảo sát 60 chu kỳ trong 2 ngày vào giờ cao điểm (gồm buổi sáng từ 6h30 đến 8h30 và buổi chiều từ 16h30 đến 18h30).

Trước khi phân tích, dữ liệu được tiền xử lý để loại bỏ các điểm bất thường. Phương pháp trung bình trượt 3 điểm (Moving Average) được áp dụng nhằm làm mượt dữ liệu, giảm thiểu biến động bất thường và nâng cao độ tin cậy. Với trung bình trượt ba điểm, giá trị tại mỗi điểm được thay thế bằng trung bình cộng của chính nó và hai điểm lân cận (trước và sau).

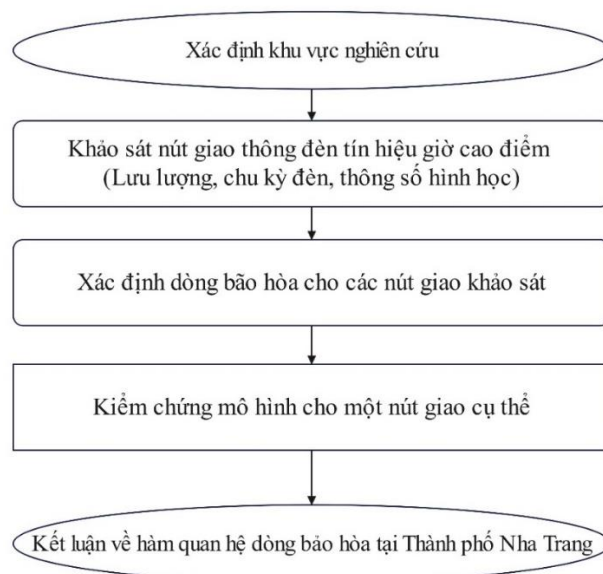
$$S'_i = \frac{S_{i-1} + S_i + S_{i+1}}{3} \quad (1)$$

Trong nghiên cứu này, lưu lượng dòng bão hòa được xác định theo công thức:

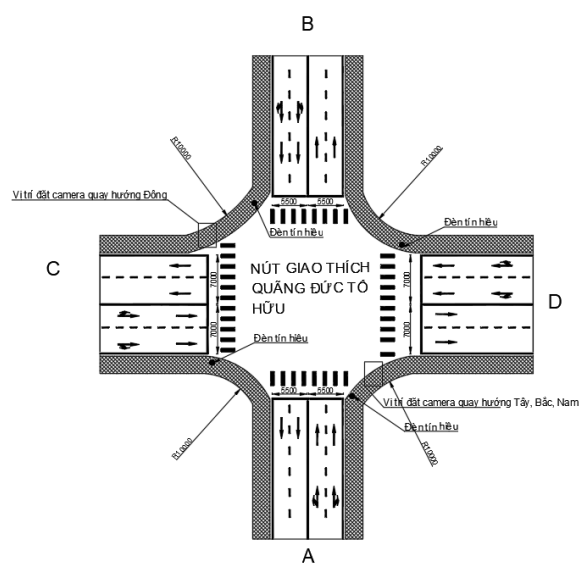
$$S = \frac{3600 \sum_{i=1}^N a_i n_i}{T} \quad (2)$$

Trong đó T là thời gian đèn xanh bão hòa (giây), a_i là hệ số quy đổi ra PCU của loại xe i , và n_i là số lượng xe loại i trong khoảng thời gian đèn xanh bão hòa.

Bảng quy đổi ra xe con tiêu chuẩn của loại xe i được áp dụng theo tiêu chuẩn đường đô thị [16], thể hiện ở Bảng 2.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu.



Hình 2. Khảo sát nút giao Thích Quảng Đức – Tố Hữu.

Bảng 1. Tổng hợp thông số các nút giao khảo sát.

STT	Tên nút giao	Tuyến đường	Bề rộng mặt đường trên 1 chiều xe chạy (m)
1	Đường 2/4, Điện Biên Phủ và Ngô Gia Khảm	Đường 2/4	10
		Điện Biên Phủ	7
		Ngô Gia Khảm	5,5
2	Đường 2/4 và Nguyễn Khuyến	Đường 2/4	10
		Nguyễn Khuyến	9
3	Đường 2/4 và Đặng Tất	Đường 2/4	10
		Đặng Tất	5,5

STT	Tên nút giao	Tuyến đường	Bề rộng mặt đường trên 1 chiều xe chạy (m)
4	Đường Nguyễn Đình Chiểu, 2/4, Lạc Thiện	Đường 2/4 (Bắc)	7,5
		Đường 2/4 (Nam)	7
		Nguyễn Đình Chiểu	4,75
		Lạc Thiện	2,75
5	Đường Trần Quý Cáp, 2/4	Đường 2/4 (Bắc)	6,75
		Đường 2/4 (Đông)	10
6	Đường Vân Đồn và Lê Hồng Phong	Trần Quý Cáp	4,5
		Lê Hồng Phong	3,25
		Vân Đồn	3,5
7	Đường Lê Hồng Phong, Cao Bá Quát và Tố Hữu	Lê Hồng Phong	7
		Cao Bá Quát	4,25
		Tố Hữu	10
8	Đường Tố Hữu và Thích Quảng Đức	Tố Hữu	7
		Thích Quảng Đức	5,5
9	Đường Lê Hồng Phong và đường Phước Long	Lê Hồng Phong	7
		Phước Long (Đông)	6
		Phước Long (Tây)	5,5

Bảng 2. Bảng quy đổi ra xe con tiêu chuẩn.

Địa hình	Loại xe					
	Xe máy	Xe đạp	Xe con	Xe tải 2 trục và Xe buýt dưới 25 chỗ ngồi	Xe tải 3 trục và Xe buýt lớn	Xe kéo móc xe buýt kéo móc
Đồng bằng và đồi	0,2	0,3	1	2	2,5	4

Bảng 3. Kết quả tổng hợp lưu lượng xe bão hòa nút giao Thích Quảng Đức – Tố Hữu.

Tên nút giao	Tuyến đường	Lưu lượng xe bão hòa								
		Làn trong			Làn giữa			Làn ngoài		
		Rẽ trái	Rẽ phải	Đi thẳng	Rẽ trái	Rẽ phải	Đi thẳng	Rẽ trái	Rẽ phải	Đi thẳng
Thích Quảng Đức, Tố Hữu	Thích Quảng Đức (hướng đi Hồ Chí Minh)	303	140	290	0	0	0	0	0	0
	Thích Quảng Đức (hướng đi Hà Nội)	866	212	561	0	0	0	0	0	0
	Tố Hữu (Hướng đi biển Đông)	0	180	518	0	0	0	216	283	759
	Tố Hữu (Hướng đi biển Diên Khánh)	97	140	1164	0	0	0	0	0	0

Sau khi tính toán dòng bão hòa cho từng chu kỳ tín hiệu, kết quả được tổng hợp để xác định giá trị trung bình đại diện cho từng làn xe tại mỗi nút giao thông. Cách tiếp cận này giúp giảm thiểu ảnh hưởng của dao

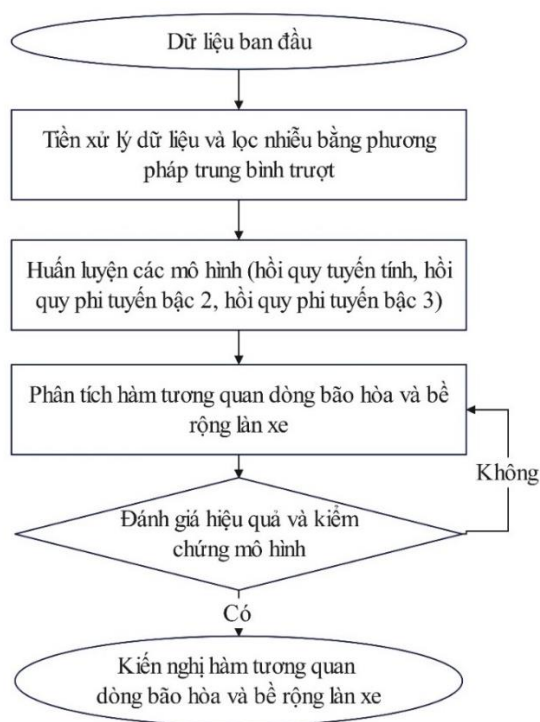
động ngẫu nhiên và phản ánh chính xác hơn năng lực thông hành đặc trưng của từng làn. Bảng 3 thể hiện giá trị lưu lượng bão hòa cho các làn của nút giao Thích Quảng Đức – Tổ Hữu. Công thức được sử dụng như sau:

$$\bar{S}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_{ij} \quad (3)$$

Trong đó $\bar{S}_i$ là dòng bão hòa trung bình của làn i , S_{ij} là dòng bão hòa tại chu kỳ j của làn i , và n là số chu kỳ khảo sát.

2.2. Mô hình hồi quy

Quy trình phân tích hồi quy gồm bốn bước chính, thể hiện ở Hình 3. Trước hết, dữ liệu thu thập được tiến hành tiền xử lý và lọc nhiễu bằng phương pháp trung bình trượt nhằm loại bỏ các biến động bất thường. Tiếp theo, các mô hình hồi quy được xây dựng và huấn luyện, bao gồm hồi quy tuyến tính, hồi quy phi tuyến bậc 2 và hồi quy phi tuyến bậc 3. Trên cơ sở đó, giá trị dòng bão hòa được dự báo dựa trên biến đầu vào là bề rộng làn xe. Cuối cùng, hiệu quả của mô hình được đánh giá thông qua hệ số xác định và độ lệch dự báo, từ đó lựa chọn mô hình phù hợp nhất để phản ánh mối quan hệ giữa bề rộng làn xe và dòng bão hòa.



Hình 3. Sơ đồ phân tích và đánh giá mô hình hồi quy.

Để phân tích mối quan hệ giữa bề rộng làn xe và dòng bão hòa, nghiên cứu áp dụng mô hình hồi quy tuyến tính đơn, giả định tồn tại mối quan hệ tuyến

tính giữa hai biến số. Phương trình hồi quy được biểu diễn như sau:

$$S = \beta_0 + \beta_1 * W + \varepsilon \quad (4)$$

Để mở rộng khả năng mô tả quan hệ giữa bề rộng làn xe và dòng bão hòa, nghiên cứu áp dụng các mô hình hồi quy đa thức bậc cao hơn của biến đầu vào. Phương trình tổng quát có dạng:

$$S = \beta_n * W^n + \beta_{n-1} * W^{n-1} + \beta_1 * W + \beta_0 + \varepsilon \quad (5)$$

Trong đó S là dòng bão hòa (xe/giờ), W là bề rộng làn xe (mét), $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ là các hệ số hồi quy, và ε là sai số ngẫu nhiên.

Việc sử dụng đa thức bậc cao hơn cho phép mô hình linh hoạt hơn trong việc khớp với các đặc điểm phi tuyến trong dữ liệu thực tế. Trong nghiên cứu này, các mô hình hồi quy phi tuyến bậc 2 và bậc 3 được áp dụng, nhằm cân bằng giữa khả năng mô tả quan hệ phi tuyến và nguy cơ quá khớp dữ liệu.

Để đánh giá mức độ phù hợp của các mô hình hồi quy, nghiên cứu sử dụng hệ số xác định R^2 , một chỉ số thống kê phổ biến phản ánh tỷ lệ biến thiên của biến phụ thuộc có thể giải thích được bằng biến độc lập trong mô hình. Công thức được xác định như sau:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (6)$$

Trong đó SS_{res} là tổng bình phương phần dư, thể hiện mức sai lệch giữa giá trị thực tế và giá trị dự báo, còn SS_{tot} là tổng bình phương toàn phần, phản ánh mức độ phân tán của dữ liệu so với giá trị trung bình. Giá trị R^2 càng tiến gần đến 1 thì mô hình càng phù hợp với dữ liệu quan sát.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân tích mô hình hồi quy

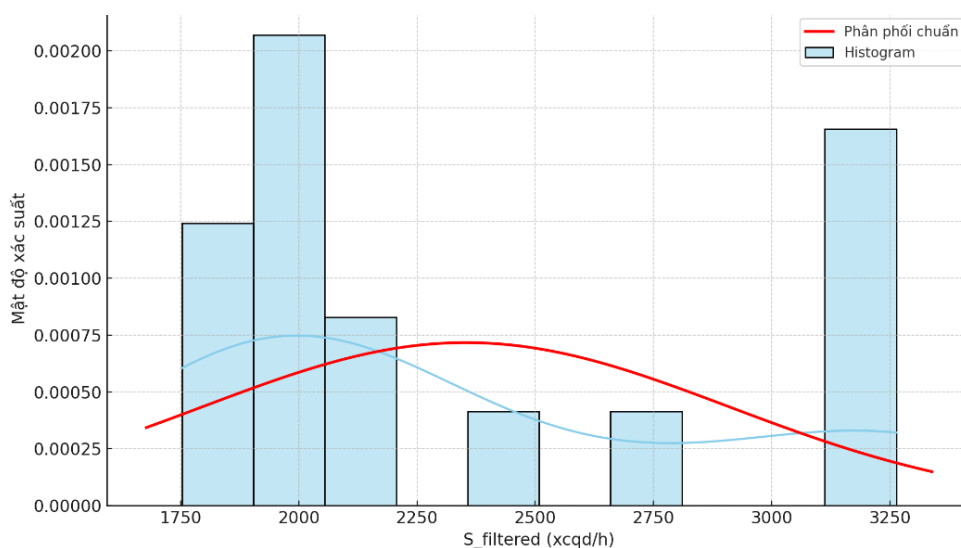
Trong nghiên cứu, dòng bão hòa đặc trưng tại mỗi nút giao được lựa chọn là giá trị lớn nhất trong các hướng di chuyển. Đồng thời, giá trị dòng bão hòa vẫn được tính riêng cho từng hướng nhằm đảm bảo tính chi tiết của bộ dữ liệu. Bên cạnh đó, nghiên cứu tiến hành phân tích dữ liệu sau khi lọc nhiễu để đánh giá độ tin cậy của dữ liệu trước khi phân tích mô hình hồi quy theo Bảng 4 và Hình 4.

Độ lệch chuẩn thể hiện mức độ phân tán của dữ liệu so với giá trị trung bình. Với độ lệch chuẩn 556.46 (chiếm khoảng 23.6% giá trị trung bình) cho thấy dữ liệu có mức độ biến động tương đối vừa phải và không có sự phân tán quá lớn, nhưng vẫn đủ để thấy

có sự đa dạng trong mẫu. Ngoài ra, độ lệch dương (0.73) cho thấy phân phối có đuôi kéo dài về phía bên phải. Điều này hàm ý rằng có một số giá trị cao bất thường đẩy trung bình lên. Phân phối này không hoàn toàn đối xứng, nhưng độ lệch 0.73 vẫn được xem là mức lệch nhẹ đến vừa phải.

Kết quả phân tích dữ liệu thực nghiệm cho thấy bề rộng làn xe có tác động đáng kể đến dòng bão hòa. Kết quả mô hình hồi quy tuyến tính và hồi quy phi tuyến bậc 2 và bậc 3 được thể hiện ở Bảng 5 và Hình 5.

Mô hình hồi quy tuyến tính đạt hệ số R^2 là 0.73. Mặc dù có thể giải thích hơn 70% biến động của dòng bão hòa, mô hình tuyến tính chưa phản ánh được các yếu tố phi tuyến thường gặp trong điều kiện giao thông hỗn hợp. Trong khi đó, mô hình phi tuyến bậc 2 cho hệ số R^2 là 0.84, chứng minh rằng việc bổ sung thành phần phi tuyến đã cải thiện đáng kể độ chính xác. Mô hình phi tuyến bậc 3 cũng đạt R^2 là 0.84. Tuy nhiên, dù có khả năng mô tả tốt hơn tại một số điểm biên, mô hình này không vượt trội so với bậc 2 và có nguy cơ quá khớp khi dữ liệu không đủ lớn.



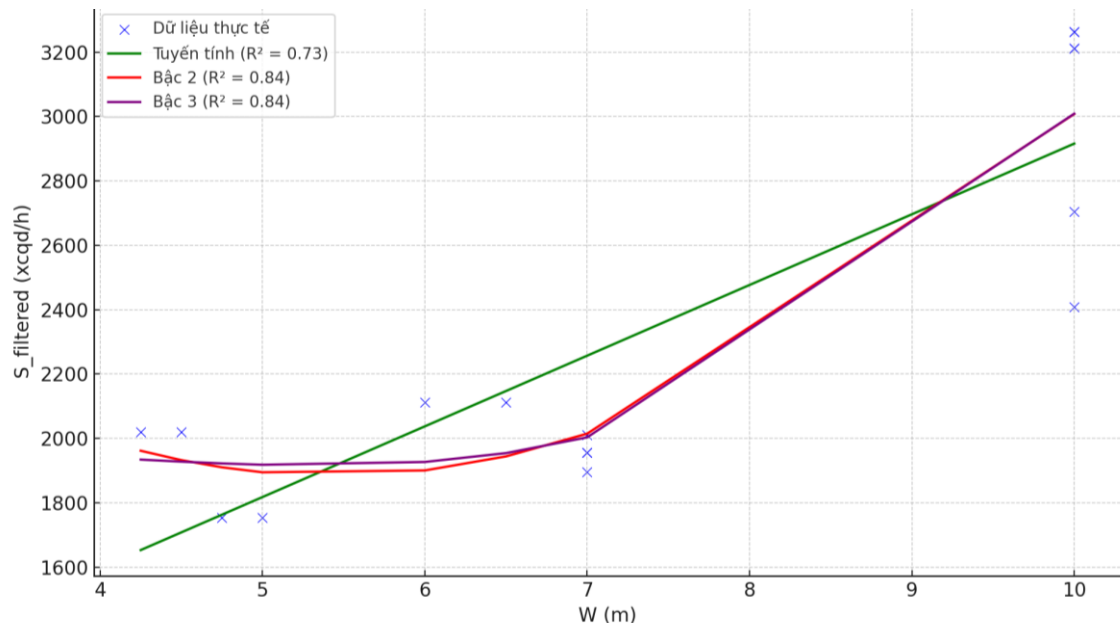
Hình 4. Phân tích dữ liệu sau khi lọc nhiễu.

Bảng 4. Tổng hợp dữ liệu đặc trưng dòng bão hòa và dữ liệu lọc nhiễu.

W (m)	S_ban đầu (xcqd/h)	S_lọc nhiễu (xcqd/h)
4,25	2020	2020
4,5	2410	2020
4,75	1753	1753
5	1639	1753
6	2112	2112
6,5	3767	2112
7	1896	2010
7	2010	1896
7	2010	1896
7	1769	1956
7	1956	1956
10	2408	2408
10	2704	2704
10	3211	3211
10	3671	3211
10	2819	3263
10	3263	3263

Bảng 5. Tổng hợp mô hình hồi quy.

Loại mô hình	Dạng phương trình	Quan hệ hồi quy	R ²
Tuyến tính	$S = \beta_0 + \beta_1 * W + \varepsilon$	$S = 219,63W + 719,52$	0.73
Hồi quy phi tuyến bậc 2	$S = \beta_2 * W^2 + \beta_1 * W + \beta_0 + \varepsilon$	$S = 54,22W^2 - 590,65W + 3492,3$	0.84
Hồi quy phi tuyến bậc 3	$S = \beta_3 * W^3 + \beta_2 * W^2 + \beta_1 * W + \beta_0 + \varepsilon$	$6,1462W^3 - 76,682W^2 + 292,81W + 1602,7$	0.84



Hình 5. Kết quả phân tích hồi quy tuyến tính và phi tuyến bậc 2 và bậc 3.

3.2. Đánh giá độ chính xác của các mô hình

Sự khác biệt giữa các mô hình được thể hiện rõ trong Bảng 6. Ở bề rộng 10 m, dòng bão hòa thực tế là 3211 xe/giờ, trong khi mô hình tuyến tính chỉ dự báo 2916 xe/giờ. Hai mô hình phi tuyến cho kết quả gần hơn với thực tế, lần lượt 3008 và 3009 xe/giờ.

Kết quả cho thấy mô hình tuyến tính có sai số lớn, đặc biệt tại các điểm biên, trong khi hai mô hình phi tuyến thể hiện mức độ phù hợp cao hơn. Mô hình bậc

2 được xem là lựa chọn tối ưu nhờ sự cân bằng giữa độ chính xác và tính đơn giản, còn mô hình bậc 3 tuy có độ chính xác cao nhưng không mang lại cải thiện đáng kể so với bậc 2.

Sau khi phân tích và đánh giá các mô hình hồi quy, nhóm nghiên cứu lựa chọn kết quả phương pháp hồi quy phi tuyến bậc 2 với công thức quan hệ giữa bề rộng 1 hướng xe chạy và dòng bão hòa như sau:

$$S = 54,22W^2 - 590,65W + 3492,3 \quad (7)$$

Bảng 6. So sánh kết quả dự báo dòng bão hòa từ các mô hình.

Bề rộng làn (m)	Thực tế (xe/giờ)	Tuyến tính	Phi tuyến bậc 2	Phi tuyến bậc 3
4,25	2020	1653	1961	1934
4,5	2020	1708	1932	1928
5,0	1753	1818	1895	1918
6,0	2112	2037	1900	1927
10,0	3211	2916	3008	3009

3.3. Kiểm chứng mô hình

Sau khi nhóm nghiên cứu phân tích lựa chọn công thức tính toán dòng bão hòa theo bề rộng một hướng xe chạy. Nghiên cứu áp dụng để tính toán lại chu kỳ đèn tín hiệu của nút giao Thích Quảng Đức - Tố Hữu. Số liệu điều tra lưu lượng nút giao thể hiện ở Bảng 7.

Một trong những ứng dụng quan trọng của kết quả hồi quy là tính toán và hiệu chỉnh lại chu kỳ tín hiệu tại các nút giao. Thông qua phương trình hồi quy, dòng bão hòa được ước lượng cho từng hướng vào nút giao, từ đó xác định lại thời gian xanh theo công thức Webster. Việc phân bổ thời gian tín hiệu hợp lý hơn không chỉ giúp giảm thời gian chờ trung bình của phương tiện, mà còn hạn chế nguy cơ tắc nghẽn cục bộ và nâng cao hiệu quả khai thác hệ thống

hạ tầng giao thông đô thị. Sau khi tính toán ta được biểu đồ phân pha ở Hình 6.

Mô phỏng bằng phần mềm VISSIM được tiến hành cho hai kịch bản: hiện trạng và tối ưu tín hiệu theo mô hình hồi quy kết hợp công thức Webster. Thời gian trễ trung bình (giây) và vận tốc trung bình (km/h) là cơ sở để đánh giá hiệu quả mô hình. So sánh phương án được thể hiện ở Bảng 8.

Kết quả cho thấy việc điều chỉnh tín hiệu dựa trên dòng bão hòa giúp giảm 26 giây chu kỳ, giảm khoảng 9% thời gian trễ trung bình, đồng thời nâng vận tốc trung bình thêm 22.46%. Những cải thiện này khẳng định hiệu quả của việc kết hợp mô hình hồi quy và mô phỏng VISSIM trong quản lý giao thông đô thị.

	33s	6s	17s	6s
Pha 1	Xanh	V V V Đ Đ Đ	Đỏ	Đ Đ Đ Đ Đ
Pha 2	Đỏ	Đ Đ Đ Đ Đ Đ	Xanh	V V V Đ Đ
$C_0 = 33 + 6 + 17 + 6 = 62s$				

Hình 6. Biểu đồ phân pha chu kỳ đèn nút giao Thích Quảng Đức – Tố Hữu.

Bảng 7. Số liệu điều tra lưu lượng nút giao Thích Quảng Đức – Tố Hữu.

Hướng		Lưu lượng	Số làn	Tốc độ vào nút (km/h)
B	Thẳng	285	2,75	40
	Trái	297		
	Phải	118		
A	Thẳng	285	2,75	40
	Trái	297		
	Phải	117		
C	Thẳng	1268	3,5	40
	Trái	49		
	Phải	236		
D	Thẳng	140	3,5	40

Bảng 8. So sánh hiệu quả giữa hiện trạng và tín hiệu tối ưu.

Chỉ tiêu	Hiện trạng	Phương án tối ưu	Đánh giá
Chu kỳ đèn (giây)	88	62	-26
Thời gian trễ trung bình (giây)	17,82	16,21	-1,61
vận tốc trung bình (km/h)	15,29	19,72	+4,43

3.4. Thảo luận

Tổng hợp kết quả cho thấy các mô hình phi tuyến, đặc biệt là mô hình bậc 2, vượt trội hơn so với mô

hình tuyến tính trong việc dự báo dòng bão hòa. Mô hình phi tuyến bậc 2 là lựa chọn hợp lý khi cần một công cụ dự báo đơn giản nhưng vẫn đủ chính xác.

Trong khi đó, mô hình phi tuyến bậc 3, dù có thể mô tả dữ liệu chi tiết hơn, lại tiềm ẩn nguy cơ quá khớp, nhất là trong điều kiện dữ liệu hạn chế hoặc có biến động lớn.

Ứng dụng thực tế của các mô hình hồi quy trong quy hoạch và điều hành giao thông tại Việt Nam có thể mang lại hiệu quả đáng kể, giúp tối ưu hóa lưu lượng và sử dụng hợp lý hạ tầng. Tuy nhiên, do đặc thù giao thông tại các đô thị khác nhau, việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thường xuyên là cần thiết để đảm bảo tính chính xác và phù hợp.

Kết quả từ mô phỏng VISSIM nhấn mạnh rằng việc điều chỉnh thời gian tín hiệu dựa trên dòng bão hòa thực tế có tác động tích cực đến hiệu quả vận hành nút giao. Tuy vậy, quá trình tối ưu hóa tín hiệu cần được tiến hành cẩn trọng, tránh tình trạng điều chỉnh quá mức cho một điều kiện cụ thể, bởi lưu lượng và cấu trúc hạ tầng luôn có thể thay đổi. Sự kết hợp giữa các mô hình hồi quy và công cụ mô phỏng vi mô như VISSIM vì thế được xem là giải pháp hữu hiệu, vừa đảm bảo cơ sở khoa học, vừa hỗ trợ ra quyết định chính sách trong quản lý giao thông đô thị.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã áp dụng các mô hình hồi quy tuyến tính và phi tuyến để phân tích mối quan hệ giữa bề rộng làn xe và dòng bão hòa trong hệ thống giao thông, đồng thời đánh giá hiệu quả của việc điều chỉnh thời gian tín hiệu đèn giao thông. Các kết quả cho thấy mô hình hồi quy phi tuyến bậc 2 và bậc 3 có độ chính xác cao hơn so với mô hình tuyến tính, đặc biệt là trong việc giải thích các đặc điểm phi tuyến của dòng chảy giao thông. Mô hình phi tuyến bậc 2 là lựa chọn hợp lý vì nó cung cấp độ chính xác tốt mà không gây quá khớp với dữ liệu, trong khi mô hình phi tuyến bậc 3 mặc dù có độ chính xác cao hơn, nhưng có nguy cơ quá khớp nếu không được kiểm soát tốt. Việc tính toán lại thời gian tín hiệu đèn giao thông dựa trên dòng bão hòa giúp tối ưu hóa dòng chảy giao thông tại các nút giao thông, giảm thiểu tắc nghẽn và thời gian chờ đợi của các phương tiện. Kết quả từ mô phỏng VISSIM cho thấy rằng điều chỉnh thời gian tín hiệu đèn theo các mô hình tính toán đã cải thiện đáng kể hiệu quả giao thông, giảm mật độ tắc nghẽn và tăng khả năng thông qua của các phương tiện.

Nghiên cứu này có ý nghĩa quan trọng trong việc áp dụng các mô hình giao thông vào quy hoạch đô thị tại Việt Nam, giúp giảm thiểu tắc nghẽn giao thông,

cải thiện lưu lượng và hiệu quả sử dụng cơ sở hạ tầng giao thông, đồng thời nâng cao chất lượng cuộc sống cho cư dân tại các thành phố lớn. Tuy nhiên, nghiên cứu còn tồn tại một số hạn chế nhất định. Số lượng nút giao khảo sát còn hạn chế, chủ yếu tập trung trên một số tuyến đường chính; chưa xét đến ảnh hưởng của các yếu tố khác ngoài bề rộng làn xe như tỷ lệ rẽ trái/phải, tỷ lệ xe hai bánh, bán kính rẽ, điều kiện mặt đường, đặc điểm dòng phương tiện,... Điều này có thể ảnh hưởng đến tính tổng quát của mô hình khi áp dụng cho các khu vực khác có điều kiện giao thông phức tạp hơn.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Tran Quang Duy: Phương pháp, Quản lý dữ liệu, Phân tích, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết – bản thảo gốc. **Nguyen Tuan Khang:** Biên soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu. **Huynh Trong Tien:** Biên soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu. **Thai Thi Kim Thoa:** Biên soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu. **Trinh Tuan Hung:** Phương pháp, Chỉnh sửa bản thảo.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng nghiên cứu này là công trình nghiên cứu khoa học của riêng chúng tôi. Các số liệu, kết quả nghiên cứu và tài liệu tham khảo trong nghiên cứu đều được chúng tôi trích dẫn rõ ràng, trung thực và đảm bảo tuân thủ các quy định về đạo đức nghiên cứu. Chúng tôi khẳng định rằng nghiên cứu này không sao chép từ bất kỳ công trình nào khác mà không được trích dẫn đầy đủ hoặc không được phép.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Nhóm tác giả không cung cấp các dữ liệu có liên quan theo yêu cầu.

1st Tran Quang Duy. *Nha Trang University*

2nd Nguyen Tuan Khang. *Nha Trang University*

3rd Huynh Trong Tien. *Nha Trang University*

4th Thai Thi Kim Thoa. *Nha Trang University*

5th* Trinh Tuan Hung. *University of Transport Ho Chi Minh City*

*Corresponding author: hungtt@ut.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] World Bank, *Vietnam Urbanization Review: Technical Assistance Report*. Washington, D.C., USA: World Bank, 2020.

- [2] Japan International Cooperation Agency (JICA), *Ho Chi Minh City Urban Transport Master Plan*. Tokyo, Japan: JICA, 2018.
- [3] Transportation Research Board, *Highway Capacity Manual, 6th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. Washington, D.C., USA: TRB, 2016.
- [4] S. Chand and P. Kumar, "Development of saturation flow model at signalized intersections under mixed traffic conditions," *Transport. Res. Procedia*, vol. 25, pp. 1456–1467, 2017, doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.289.
- [5] B. Savitha, R. Murthy, H. Jagadeesh, H. Sathish, and T. Sundararajan, "Study on geometric factors influencing saturation flow rate at signalized intersections under heterogeneous traffic conditions," *J. Transport. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 83–94, 2017, doi: 10.4236/jtts.2017.71006.
- [6] H. D. Nguyen, "Saturation flow rate analysis at signalized intersections for mixed traffic conditions in motorcycle-dependent cities," *Transport. Res. Procedia*, vol. 15, pp. 694–708, 2016, doi: 10.1016/j.trpro.2016.06.058.
- [7] R. Sushmitha, S. Ramireddy, and K. V. R. Ravishankar, "Effect of vehicle composition on saturation flow at signalised intersections in mixed traffic conditions," *IET Intell. Transport Syst.*, vol. 14, no. 3, pp. 167–176, 2020, doi: 10.1049/iet-its.2019.0470.
- [8] S. Mondal, "A review of methodological approaches for saturation flow: type of studies, influencing factors, and road geometry," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 47, no. 2, pp. 145–157, 2020, doi: 10.1139/cjce-2018-0696.
- [9] C. S. Anusha, A. Verma and G. Kavitha, "Effects of two-wheelers on saturation flow at signalized intersections," *J. Transport. Eng. A, Syst.*, vol. 145, no. 9, 2019, doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000519.
- [10] S. Chandra and U. Kumar, "Effect of lane width on capacity under mixed traffic conditions in India," *J. Transport. Eng.*, vol. 129, no. 2, pp. 155–160, 2003, doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:2(155).
- [11] A. Saha, S. Chandra, and I. Ghosh, "Saturation flow estimation at signalized intersections under mixed traffic conditions," in *Proc. Eastern Asia Soc. Transport. Stud. (EASTS)*, vol. 11, 2015.
- [12] V. A. Tuan, "Mixed traffic saturation flows of signalized intersections in Ho Chi Minh City," in *Proc. Eastern Asia Soc. Transport. Stud. (EASTS)*, vol. 10, pp. 1246–1265, 2015.
- [13] C. S. Anusha, A. Verma, and G. Kavitha, "Effects of two-wheelers on saturation flow at signalized intersections in developing countries," *J. Transport. Eng.*, vol. 139, no. 5, pp. 448–457, 2013, doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000519.
- [14] P. Radhakrishnan and T. V. Mathew, "Passenger car units and saturation flow models for highly heterogeneous traffic at urban signalised intersections," *Transportmetrica*, vol. 7, no. 2, pp. 141–162, 2011, doi: 10.1080/18128600903351001.
- [15] P. Chen, H. Nakamura, and M. Asano, "Lane utilization analysis of shared left-turn lane based on saturation flow rate modeling," *Procedia – Soc. Behav. Sci.*, vol. 43, pp. 178–191, 2012, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.04.090.
- [16] Tiêu chuẩn Việt Nam, "Đường đô thị- yêu cầu thiết kế. Tiêu chuẩn quốc gia- Hà Nội," 2022.