



APPLICATION OF IVE SOFTWARE TO ESTIMATE GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM MOTORCYCLES IN HANOI

Vu Thi Ngoc Anh¹, Vu Thi Mai¹, Nguyen Trong Hieu², Bui Le Hong Minh², Than Thi Hai Yen², Nguyen Thi Yen Lien^{2,*}

¹Hanoi University of Natural Resources and Environment, 41A Phu Dien Street, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam.

²Faculty of Transport Safety and Environment, University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam.

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 04/03/2025

Revised: 25/03/2025

Accepted: 10/04/2025

Published online: 15/04/2025

<https://doi.org/10.47869/tcsj.76.3.2>

* *Corresponding author*

Email: nylien@utc.edu.vn; Tel: 0972079992

Abstract. The transportation sector is currently one of the major sources of greenhouse gas (GHG) emissions due to its large energy demand, while energy mainly comes from fossil fuels. This study aims to quantify greenhouse gas (GHG) emissions from motorcycles in Hanoi using the IVE simulation software, based on real-world driving data. The driving data were collected using a Garmin 65s device across 40 road routes in Hanoi. A nine-step filtering process was applied to eliminate random errors, with 7.1% of data points detected and corrected. The distribution of vehicle-specific power (VSP) for motorcycles in Hanoi is predominantly concentrated in idle or low-power regions. The results indicate that the GHG emission factors for motorcycles in Hanoi are 46.71 g/km for CO₂ and 0.27 g/km for CH₄. The total GHG emissions from motorcycles in 2020 were estimated at approximately 1.36 million tons of CO₂đ and are projected to reach 1.78 million tons by 2025. The average annual GHG emissions per motorcycle under real-world driving conditions in Hanoi are estimated at 0.41 tons of CO₂đ.

Keywords: emission factors, greenhouse gases, motorcycles, IVE, VSP, Hanoi.



ỨNG DỤNG PHẦN MỀM IVE XÁC ĐỊNH LƯỢNG PHÁT THẢI KHÍ NHÀ KÍNH TỪ HOẠT ĐỘNG CỦA XE MÁY TẠI HÀ NỘI

Vũ Thị Ngọc Anh¹, Vũ Thị Mai¹, Nguyễn Trọng Hiếu², Bùi Lê Hồng Minh², Thân Thị Hải Yến², Nguyễn Thị Yến Liên^{2,*}

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, số 41A Phú Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam.

²Khoa Môi trường và An toàn Giao thông, Trường Đại học Giao thông vận tải, số 3 phố Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 04/03/2025

Ngày nhận bài sửa: 25/03/2025

Ngày chấp nhận đăng: 10/04/2025

Ngày xuất bản Online: 15/04/2025

<https://doi.org/10.47869/tcsj.76.3.2>

* Tác giả liên hệ

Email: nylien@utc.edu.vn Tel: 0972079992

Tóm tắt. Giao thông vận tải đang là một trong những nguồn phát thải khí nhà kính (KNK) chủ yếu do nhu cầu năng lượng lớn trong khi năng lượng chủ yếu đến từ nhiên liệu hóa thạch. Nghiên cứu này nhằm xác định lượng phát thải khí nhà kính (KNK) từ xe máy tại Hà Nội dựa trên đặc trưng lái ngoài thực tế, sử dụng phần mềm mô phỏng phát thải IVE. Dữ liệu lái thực được thu thập bằng thiết bị Garmin 65s trên 40 tuyến đường của Hà Nội. Bộ lọc gồm 9 bước đã được sử dụng để xử lý các sai số ngẫu nhiên, tỷ lệ các điểm dữ liệu đã được phát hiện và xử lý là 7,1%. Sự phân bố công suất riêng của xe máy tại Hà Nội tập trung chủ yếu trong vùng có vận tốc bằng 0 hoặc vùng có công suất thấp. Kết quả cho thấy hệ số phát thải KNK của xe máy tại Hà Nội đối với CO₂ và CH₄ lần lượt là 46,71 g/km và 0,27 g/km. Tổng lượng phát thải KNK từ xe máy năm 2020 ước tính khoảng 1,36 triệu tấn CO₂td và có thể đạt 1,78 triệu tấn vào năm 2025. Mức phát thải KNK trung bình năm của một xe máy trong điều kiện lái thực tại Hà Nội vào khoảng 0,41 tấn CO₂td.

Từ khóa: hệ số phát thải, khí nhà kính, xe máy, IVE, VSP, Hà Nội.

@ 2025 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, biến đổi khí hậu (BĐKH) đang là thách thức lớn đối với toàn nhân loại, ảnh

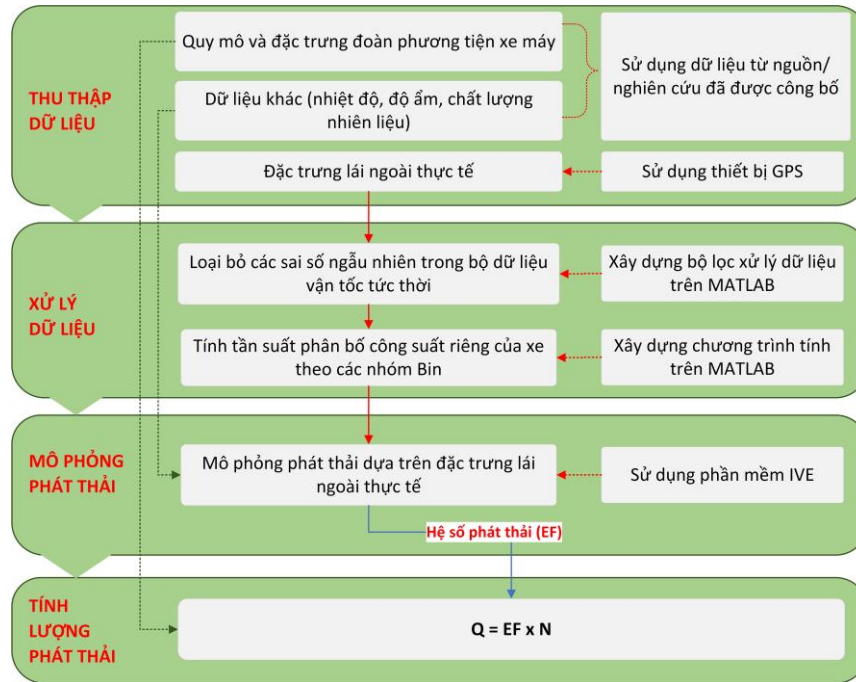
hưởng sâu sắc và làm thay đổi toàn diện đời sống xã hội toàn cầu. Việt Nam là một trong số các quốc gia chịu tác động nặng nề bởi BĐKH. Các hiện tượng thời tiết cực đoan đã gây ra những thiệt hại về kinh tế của Việt Nam, thiệt hại về GDP liên quan đến BĐKH trong năm 2020 ước tính lên tới 3,2% [1]. Tốc độ triển nhanh chóng của nền kinh tế được cho là nguyên nhân chính làm gia tăng lượng phát thải khí nhà kính (KNK); trong đó giao thông vận tải (GTVT) được xác định là một trong số các nguồn phát thải chính [2]. Nhu cầu năng lượng của ngành GTVT (khoảng 16,5% tổng nhu cầu năng lượng quốc gia năm 2021 [3]) trong khi phần lớn nhu cầu năng lượng hiện nay đến từ nhiên liệu hóa thạch đã khiến cho lượng phát thải KNK từ GTVT chiếm tỉ trọng lớn, tới 18% tổng lượng phát thải KNK từ lĩnh vực năng lượng tại Việt Nam [2]. Trong đó, đường bộ là lĩnh vực phát thải lượng KNK cao nhất, chiếm 80% tổng lượng KNK từ ngành GTVT [2]. Trên thực tế, mặc dù tỷ trọng của xe máy trong dòng xe lưu hành đã có xu hướng giảm nhẹ trong những năm gần đây, từ 95,15% năm 2009 xuống 92% năm 2018, nhưng hiện tại xe máy vẫn chiếm tỷ trọng lớn nhất trong dòng xe lưu thông, đạt tới 92% [4-6]. Điều này có nghĩa là phát thải KNK từ xe máy đang ở mức cao. Do đó, việc kiểm soát phát thải KNK từ PTVT nói chung và xe máy nói riêng đang là vấn đề cấp thiết tại Việt Nam. Nghiên cứu này hướng tới mục tiêu định lượng lượng phát thải KNK từ hoạt động của xe máy tại Hà Nội nhằm đóng góp vào hoạt động quản lý tổng thể chất lượng không khí tại Hà Nội nói riêng và Việt Nam nói chung.

Trong kiểm kê phát thải, hệ số phát thải (EF) đóng vai trò quan trọng. Ủy ban Liên chính phủ về BĐKH (IPCC) khuyến nghị sử dụng EF được xác định theo đặc trưng nguồn thải thay vì EF mặc định để nâng cao chất lượng kiểm kê [7]. Hiện nay, kỹ thuật xây dựng EF, đặc biệt cho PTVT, đã đạt trình độ cao. Trong các phương pháp xác định EF cho nguồn động, mô phỏng phát thải bằng phần mềm ngày càng phổ biến nhờ ưu điểm vượt trội: rút ngắn thời gian, tiết kiệm chi phí, mô phỏng đa kịch bản và đánh giá chính sách dễ dàng. Đặc biệt, với nguồn dữ liệu đo phát thải ngày càng phong phú và chính xác, đồng thời với sự phát triển mạnh mẽ của các kỹ thuật xây dựng mô hình dự báo dựa trên dữ liệu lớn (big data), độ chính xác của các phần mềm mô phỏng ngày càng được cải thiện. Hướng tiếp cận này cũng đã được sử dụng khá phổ biến tại Việt Nam như trong nghiên cứu đánh giá tiềm năng đồng lợi ích cho xe buýt [8, 9], xe taxi tại Quảng Ninh [10], xe máy tại Hà Nội năm 2012 [11], các phương tiện cơ giới đường bộ tại thành phố Hồ Chí Minh [12]. Gần đây nhất, Nguyen và Than [13] cũng đã sử dụng phần mềm mô phỏng để xác định hệ số phát thải KNK (EF_{CO_2}) đặc trưng cho xe máy tại Hà Nội. Tuy nhiên, nghiên cứu [13] chỉ xây dựng EF cho một nhóm đối tượng xe máy có tuổi trung bình 6,5 năm để đưa ra EF_{CO_2} đại diện cho cả đoàn phương tiện xe máy tại Hà Nội. Trên thực tế, tuổi của phương tiện là một trong những thông số có ảnh hưởng đến mức phát thải của xe. Điều đó có nghĩa là kết quả kiểm kê phát thải KNK sẽ có độ chính xác cao hơn nếu sử dụng hệ số phát thải trung bình của cả đoàn phương tiện, trong đó có tính đến tỉ lệ xe theo thời gian xe đưa vào sử dụng và/hoặc quãng đường xe đã đi [14].

Từ những phân tích ở trên, nghiên cứu này hướng tới việc xác định lượng phát thải KNK của đoàn phương tiện xe máy tại Hà Nội theo phương pháp mô phỏng phát thải dựa trên đặc trưng lái ngoài thực tế của loại phương tiện này. Trong đó, International Vehicle Emissions (IVE) là phần mềm được lựa chọn để mô phỏng phát thải của xe máy dựa trên dữ liệu lái ngoài thực được thu thập bằng thiết bị ứng dụng công nghệ Hệ thống định vị toàn cầu (GPS). Với cách tiếp cận này, kết quả kiểm kê phát thải KNK đối với xe máy sẽ được cải thiện đáp ứng được mức yêu cầu cao hơn theo Tier 3 của IPCC [7].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Quy trình nghiên cứu nhằm xác định lượng phát thải KNK cho xe máy tại Hà Nội được tóm tắt trên Hình 1.



Hình 1. Khung quy trình thực hiện.

2.1. Thu thập dữ liệu

2.1.1. Thu thập dữ liệu lái ngoài thực tế

Thiết bị thu thập dữ liệu lái

Dữ liệu lái ngoài thực tế là chuỗi các giá trị vận tốc tức thời (V_{tt}) của xe theo thời gian, nó phản ánh đặc trưng lái ngoài thực tế của phương tiện. Có hai cách tiếp cận được sử dụng phổ biến để thu thập dữ liệu lái ngoài thực tế của PTVT bao gồm: sử dụng xe đuổi theo xe khảo sát (car-chase) và phương pháp đo đạc trên xe (on-board) [15]. Trong đó, phương pháp sử dụng xe đuổi theo xe khảo sát không phù hợp để thu thập dữ liệu lái trong điều kiện mật độ giao thông lớn và xe mục tiêu phải đổi hướng liên tục do mạng lưới giao thông dày đặc với nhiều nút giao đồng mức như Việt Nam. Các kỹ thuật đo V_{tt} trên xe bao gồm việc sử dụng các thiết bị GPS hoặc các thiết bị thu dữ liệu khác (data logger) được kết nối trực tiếp với xe thử nghiệm. Rất nhiều nghiên cứu đã sử dụng các thiết bị thu dữ liệu được kết nối trực tiếp vào bộ chẩn đoán OBD [16-18] hoặc sử dụng cảm biến để xác định tốc độ vòng quay của bánh xe [13, 19, 20]. Tuy nhiên, việc sử dụng thiết bị thu dữ liệu kết nối trực tiếp vào OBD không phù hợp với xe máy vì hầu hết xe máy hiện nay không có bộ chẩn đoán OBD; việc lắp đặt thêm cảm biến cũng đòi hỏi kỹ thuật chuyên sâu. Trong khi đó, từ năm 1983, các nhà nghiên cứu và các kỹ sư trong lĩnh vực GTVT đã thử nghiệm thiết bị định vị toàn cầu (GPS) như là một giải pháp thay thế cho các kỹ thuật khảo sát truyền thống nói trên [17]. Kỹ thuật này cũng có thể xem như phương pháp đo trên xe, vì thiết bị GPS cần được đặt trên xe, nhưng việc lắp đặt thiết bị đơn giản, dễ dàng hơn phương pháp truyền thống [15, 21]. Do đó, công nghệ GPS đã chứng minh tính hữu ích trong việc thu thập và thống kê dữ liệu lái ngoài thực tế. Khi được sử dụng đồng thời với

phần mềm mô phỏng, dữ liệu này rất có ý nghĩa rất lớn trong việc đánh giá phát thải của phương tiện [17, 22, 23]. Từ những phân tích ở trên, nghiên cứu này đã sử dụng thiết bị GPS, loại Garmin 65s (Hình 2.a), để thu thập dữ liệu lái ngoài thực tế của xe máy tại Hà Nội.



a. Thiết bị Garmin 65s



b. Các tuyến đường khảo sát

Hình 2. Thiết bị và các tuyến đường sử dụng trong thu thập dữ liệu lái.

Lựa chọn các tuyến đường

Các tuyến khảo sát được chọn để thu thập đa dạng phương thức lái của xe máy trong điều kiện giao thông thực tế tại Hà Nội, để đảm bảo phản ánh đầy đủ ảnh hưởng của đặc trưng lái ngoài thực tế đến phát thải. Dữ liệu được thu thập trong cả ngày thường và ngày nghỉ, vào giờ cao điểm, giờ thường và giờ thấp điểm. Nghiên cứu này cũng đã kế thừa dữ liệu lái được thu thập từ 30 tuyến, bao gồm các tuyến trung tâm và vành đai, trong nghiên cứu trước [24] và bổ sung thêm dữ liệu từ 10 tuyến đường khác (Hình 2.b).

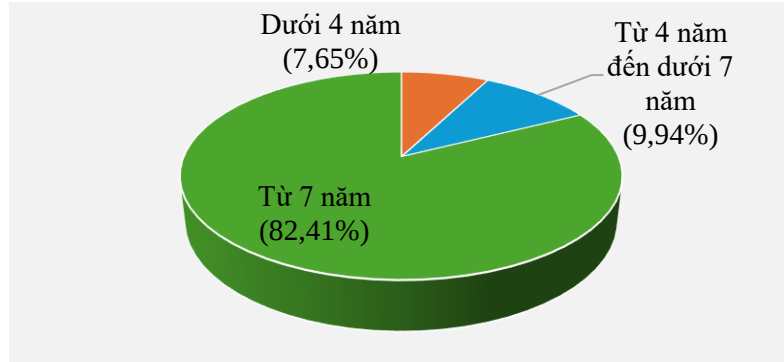
2.1.2. Thu thập dữ liệu khác

Các dữ liệu khác được thu thập từ các nguồn dữ liệu chính thống và các nghiên cứu đã được công bố trước đây như trong Bảng 1 và Hình 3. Trong đó, dữ liệu tỉ lệ xe theo tuổi được phân chia thành ba nhóm để tương đồng với nhóm xe được định nghĩa trong phần mềm IVE dựa trên tổng quãng đường mà xe đã đi được.

Bảng 1. Các dữ liệu khác.

STT	Dữ liệu	Giá trị	Nguồn
1	Quãng đường di chuyển trung bình năm (VKT)	7400 km	[11]
2	Số lượng xe máy tại Hà Nội (số liệu theo đăng ký, cập nhật đến năm 2020)	6.122.936 xe	[25]
3	Tỷ lệ xe máy trong lưu thông so với xe đăng ký	0,54	[26]
4	Số lượng xe máy trong lưu thông (năm 2020)	3.358.335 xe	(*)
5	Tỷ lệ xe máy có dung tích xi lanh dưới 175cm ³	99,9%	[26]
6	Nhiệt độ trung bình năm	25,8°C	[27]
7	Độ ẩm trung bình năm	75%	

Chú thích: (*) dữ liệu được xác định dựa trên số liệu về số xe đăng ký và số liệu tỷ lệ giữa số xe lưu thông và xe đăng ký. Kết quả này tương đồng với số liệu (~ 3.319.800 xe) được tính dựa trên số xe lưu thông trên 100 người dân (40,24 xe/100 người dân [5]) và dân số Hà Nội năm 2020.

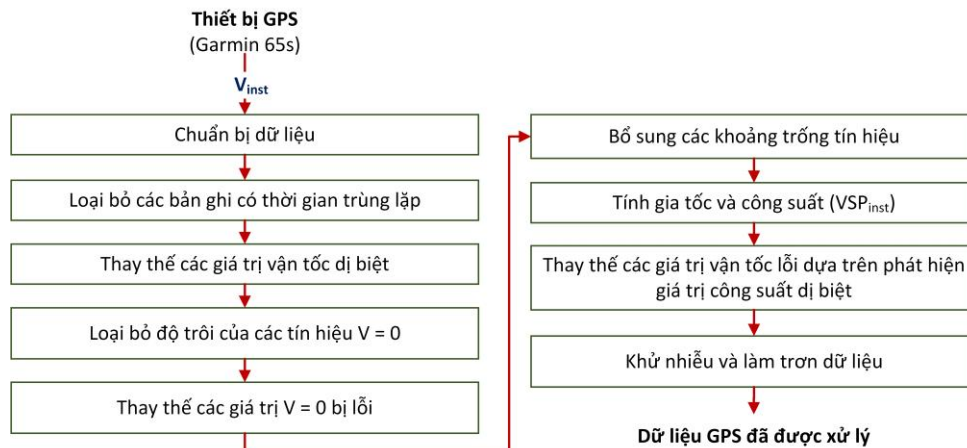


Hình 3. Phân bố xe máy tại Hà Nội theo tuổi xe.

(Dữ liệu được tổng hợp từ nghiên cứu [25])

2.2. Xử lý dữ liệu

Mặc dù GPS cung cấp dữ liệu liên tục với độ chính xác cao, Jungwook và cộng sự [28] đã chỉ ra một số sai số ngẫu nhiên phổ biến như bản ghi trùng lặp, mất tín hiệu, sự trôi các giá trị vận tốc “0”, giá trị vận tốc bằng “0” giả và giá trị vận tốc dị biệt. Do đó, cần xử lý các sai số này trước khi sử dụng dữ liệu GPS để tính thông số đầu vào cho phần mềm mô phỏng phát thải. Dựa trên các loại sai số phổ biến này, nghiên cứu đã đề xuất quy trình xử lý dữ liệu gồm 9 bước như trên Hình 3.



Hình 3. Quy trình xử lý dữ liệu GPS.

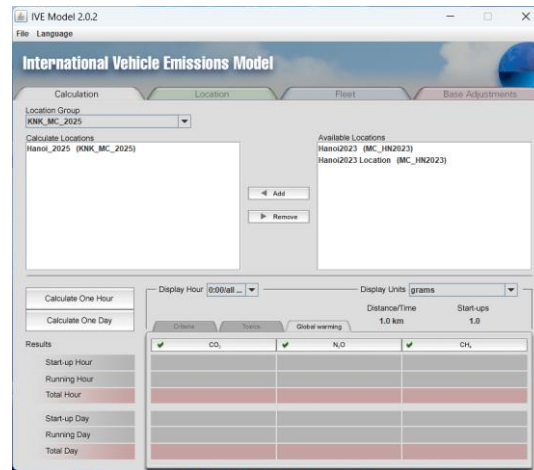
Toàn bộ các bước của quy trình xử lý được sắp xếp theo thứ tự tăng dần mức độ phức tạp trong việc phát hiện và sửa lỗi, trên bộ dữ liệu V_{tt} sơ cấp ban đầu và bộ dữ liệu thứ cấp công suất riêng tức thời (VSP_{tt}). Nguyên lý chung của các bước xử lý là:

- *Giai đoạn 1:* Nhận diện các điểm chứa sai số ngẫu nhiên dựa vào các giá trị giới hạn như bước thời gian 1 giây, vận tốc và công suất cực đại;
- *Giai đoạn 2:* Tạo các khoảng trống dữ liệu tại các vị trí tương ứng mà đã được nhận diện có chứa sai số ngẫu nhiên (trừ đối với lỗi bản ghi trùng lặp);
- *Giai đoạn 3:* Sử dụng thuật toán ước lượng dữ liệu thiếu của Ivan Selenick [29] để tìm lại các giá trị phù hợp cho các khoảng trống được hình thành ở Giai đoạn 2.

Chi tiết của các bước lọc trong toàn bộ quy trình lọc được trong nghiên cứu trước của chúng tôi [19, 30]. Toàn bộ các bước của quy trình lọc được phát triển trên phần mềm MATLAB.

2.3. Mô phỏng phát thải

Hiện nay, các phần mềm mô phỏng phát liên tục đã đang được sử dụng phổ biến để thay thế các phần mềm mô phỏng phát thải dựa trên giá trị trung bình [31]. Trên thực tế, phần mềm phần mềm International Vehicle Emissions (IVE) đang được sử dụng rất phổ biến trong các nghiên cứu liên quan đến phát thải của phương tiện tại Việt Nam. Đây là phần mềm mô phỏng phát thải liên tục được phát triển bởi Cục Bảo vệ môi trường Mỹ (US.EPA) nhằm hỗ trợ hoạt động kiểm kê phát thải trong lĩnh vực GTVT tại các nước đang phát triển. Độ chính xác của IVE đã được đánh giá thông qua nghiên cứu của Guo và cộng sự [32]; theo đó, hệ số tương quan giữa giá trị phát thải đo được và giá trị mô phỏng đối với tất cả các chất ô nhiễm đều lớn hơn 0,8. Do đó, mô hình IVE đã được lựa chọn để sử dụng trong nghiên cứu này. Giao diện chính của phần mềm như Hình 4.



Hình 4. Giao diện chính của phần mềm IVE.

Quá trình tính toán trong mô hình được thực hiện dựa trên các phương trình tổng quát như sau [14]:

$$Q_{[t]} = B_{[t]} \times K_{(1)[t]} \times K_{(2)[t]} \times \dots \times K_{(x)[t]} \quad (1)$$

$$Q_{cd} = \overline{U}_{FTP} \times D / \overline{U}_C \times \sum_t (f_{[t]} \times Q_{[t]} \times \sum_d [f_{[dt]} \times K_{[dt]}]) \quad (2)$$

$$Q_{kd} = \sum_t (f_{[t]} \times Q_{[t]} \times \sum_d [f_{[dt]} \times K_{[dt]}]) \quad (3)$$

Trong đó: $Q_{[t]}$ là EF được điều chỉnh cho mỗi loại công nghệ, Q_{kd} là EF trung bình của xe trong giai đoạn khởi động, Q_{cd} là EF trung bình của xe trong giai đoạn di chuyển, $B_{[t]}$ là EF nền ứng với mỗi loại công nghệ, $f_{[t]}$ là tỷ lệ di chuyển theo các nhóm công nghệ khác nhau, $f_{[dt]}$ là tỷ lệ của các phương thức lái, $\overline{U}_{FTP}$ là vận tốc trung bình theo chu trình thử chuẩn FTP của US.EPA, $\overline{U}_C$ là vận tốc trung bình từ đặc trưng lái ngoài thực tế, D là quãng đường di chuyển, $K_{[dt]}$ là hệ số tương quan với kiểu lái (chế độ lái), $K_{(1)[t]}$, $K_{(2)[t]}$, ..., $K_{(x)[t]}$ là các hệ số điều chỉnh.

Đặc trưng lái ngoài thực tế của phương tiện đưa vào phần mềm IVE thông qua tần suất phân bố của các nhóm Bin. Hai thông số quan trọng là VSP và mức độ tải của động cơ (ES) được thiết lập để đặc trưng cho phương thức lái xe trong mô hình IVE. Mức độ tải của động cơ thể hiện tương quan giữa nhu cầu tải năng lượng của động cơ trong vòng 20 giây vận hành và số vòng quay của động cơ trên phút (RPM). Công thức tính mức độ tải của động cơ như sau [14]:

$$ES = \text{RPMindex} + (0,08 \text{ tấn/kW}) \times \text{PreaveragePower} \quad (4)$$

Trong đó: RPMindex = vận tốc_{t=0}/SpeedDivier

PreaveragePower là trung bình của VSP trong 20 giây (kW/tấn).

Đối với xe máy, VSP được xác định như sau [33-35]:

$$VSP = v \times (1,1 \times a + 9,81 \times \sin(\text{grade})) + 0,132 + 3,02 \times 10^{-4} \times v^3 \quad (5)$$

Trong đó: v là vận tốc tức thời của xe (m/s), a là gia tốc tức thời của xe (m/s²), grade là độ dốc của đường (grade = 0 đối với đường đô thị).

Trong IVE, VSP được chia thành 20 nhóm và Engine stress được chia làm 3 nhóm. Tổ hợp các nhóm theo VSP và mức độ tải của động cơ sẽ thu được 60 nhóm bin, gọi tắt là nhóm bin VSP, để nhập dữ liệu đặc trưng lái ngoài thực tế của phương tiện [14].

2.4. Tính lượng phát thải khí nhà kính

Nghiên cứu này sử dụng cách tính lượng phát thải KNK cho lĩnh vực năng lượng đối với nguồn động được hướng dẫn bởi IPCC [36]. Đây là cách tiếp cận đang được Bộ Giao thông vận tải sử dụng trong hoạt động kiểm kê phát thải [37]. Nghiên cứu này ước tính tổng lượng phát thải KNK khi xe hoạt động trên đường và khi xe khởi động, bỏ qua các phát thải liên quan đến bay hơi nhiên liệu do lượng phát thải này rất nhỏ so với lượng khí xả. Do đó, hệ số phát thải của các KNK thu được từ quá trình chạy mô phỏng phát thải của xe máy trên phần mềm IVE sẽ được sử dụng để tính lượng phát thải KNK theo Công thức 6 [7].

$$Q_{CO2td} = \left(\sum_{i=1}^n GWP_i \times (EF_{cd,i} + EF_{kd,i} \times n) \right) \times VKT \times N \times 10^{-6} \quad (6)$$

Trong đó: Q_{CO2td} là lượng phát thải KNK (tấn/năm); $EF_{cd,i}$ là hệ số phát thải của khí nhà kính i (bao gồm CO₂, NO₂ và CH₄ [7]) khi xe chạy (g/km); $EF_{kd,i}$ là hệ số phát thải của khí nhà kính i khi xe khởi động; GWP_i là chỉ số tiềm năng ấm lên toàn cầu của chất ô nhiễm i (Bảng 2); N là số xe máy lưu hành (xe); VKT là quãng đường di chuyển trung bình năm (km/xe.năm); n là số lần khởi động trung bình (lần/km).

Bảng 2. Chỉ số tiềm năng nóng lên toàn cầu.

TT	Các KNK	GWP (100 năm) [38]
1	CO ₂	1
2	CH ₄	29,8
3	N ₂ O	273

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả xử lý dữ liệu

Tỷ lệ sai số ngẫu nhiên đã được phát hiện và xử lý trong bộ dữ liệu vận tốc tức thời được thu thập bằng thiết bị GPS được đưa ra trong Bảng 3. Theo Bảng 3, tỷ lệ các sai số ngẫu nhiên liên quan đến các bản ghi bị trùng lặp và các giá trị vận tốc lỗi trong bộ dữ liệu thu được vào khoảng 7,1%. Trong đó, lỗi liên quan đến khoảng trống tín hiệu là cao nhất (2,9%), theo sau nó là lỗi liên quan đến thời gian (2,2%) và độ trôi của các giá trị $V_{tt} = 0$. Liên quan đến sai số ngẫu nhiên trong dữ liệu vận tốc (xem xét các bản ghi đúng) thì có thể thấy rằng lỗi về khoảng trống

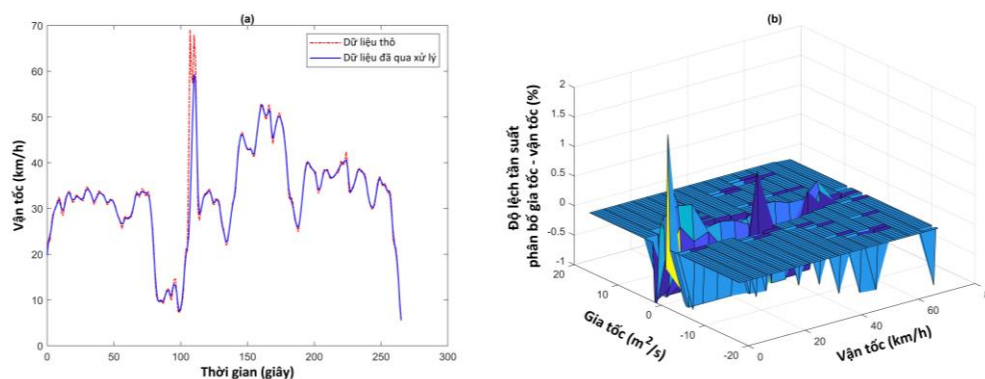
tín hiệu và độ trôi của các giá trị $V_{tt} = 0$ chiếm tỉ trọng cao nhất. Trên thực tế, thiết bị GPS hoạt động dựa trên tín hiệu vệ tinh, và tín hiệu này có thể bị nhiễu, trễ, hoặc khúc xạ do tầng khí quyển hoặc khi xe di chuyển qua khu vực nhà cao tầng và đường hầm [22, 39]. Do đó, đây là hai loại lỗi phổ biến nhất trong dữ liệu được thu thập bằng thiết bị GPS, tương tự các kết quả được đưa ra trong [22, 40].

Bảng 3. Kết quả xử lý dữ liệu.

Các sai số	Tỷ lệ lỗi (%)		
		Tỷ lệ lỗi (%)	
Các sai số	Nghiên cứu này (Sử dụng Garmin 65s)	So sánh với các nghiên cứu khác	
		[41]	[40] (Sử dụng Garmin etrex vista HCx)
Các lỗi liên quan thời gian	2,2	0	0,00
Vận tốc dị biệt	0,1	1,0	0,01
Độ trôi của các giá trị $v = 0$	1,7	0	3,18
Giá trị $v = 0$ giả	0,1	0	0,16
Khoảng trống tín hiệu	2,9	0	2,54
Giá trị vận tốc lỗi liên quan tới sự không phù hợp về mặt công suất	0,1	0,6	1,14
Tổng	7,1	1,6	7,03

Trong đó, nghiên cứu [41] thu thập dữ liệu lái ngoài thực tế của xe máy bằng bộ thu dữ liệu được kết nối trực tiếp với xe thử nghiệm, sử dụng cảm biến hồng ngoại để xác định tốc độ vòng quay của bánh xe. N/A biểu thị loại lỗi tương ứng không xuất hiện trong bộ dữ liệu do kỹ thuật sử dụng để thu thập dữ liệu không thể tạo ra loại lỗi ngẫu nhiên đó.

Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cũng cho thấy dữ liệu được thu bằng GPS có tỉ lệ sai số ngẫu nhiên cao hơn so với dữ liệu được thu thập bằng thiết bị thu dữ liệu kết nối trực tiếp với xe thử nghiệm khoảng 4,4 lần. Tuy nhiên, nghiên cứu trước của chúng tôi đã chứng minh được rằng hai bộ dữ liệu này đạt được sự tương đồng rất cao sau khi được xử lý để loại bỏ các sai số ngẫu nhiên, trung bình phần trăm khác biệt giữa các V_{tt} giữa hai bộ dữ liệu chỉ 4,1% [41]. Điều này cho thấy hiệu quả của bộ lọc dữ liệu được đề xuất đồng thời cũng góp phần khẳng định độ tin cậy của việc ứng dụng thiết bị GPS để thu thập dữ liệu lái ngoài thực tế khi được kết hợp thêm bộ lọc xử lý dữ liệu. Hình 3 dưới đây minh họa hiệu quả của bộ lọc dữ liệu.



Hình 5. So sánh dữ liệu thô và dữ liệu đã qua xử lý.

- a) So sánh chuỗi dữ liệu vận tốc tức thời theo thời gian; b) So sánh độ lệch trong phân bố tần suất gia tốc – vận tốc

3.2. Đặc trưng lái ngoài thực tế của xe máy tại Hà Nội

3.2.1. Thông số đặc trưng lái

Dựa trên bộ dữ liệu GPS đã qua xử lý, nghiên cứu này đã xác định được đặc trưng lái ngoài thực tế của xe máy tại Hà Nội như trong Bảng 4.

Bảng 4. Một số thông số đặc trưng lái của xe máy tại Hà Nội.

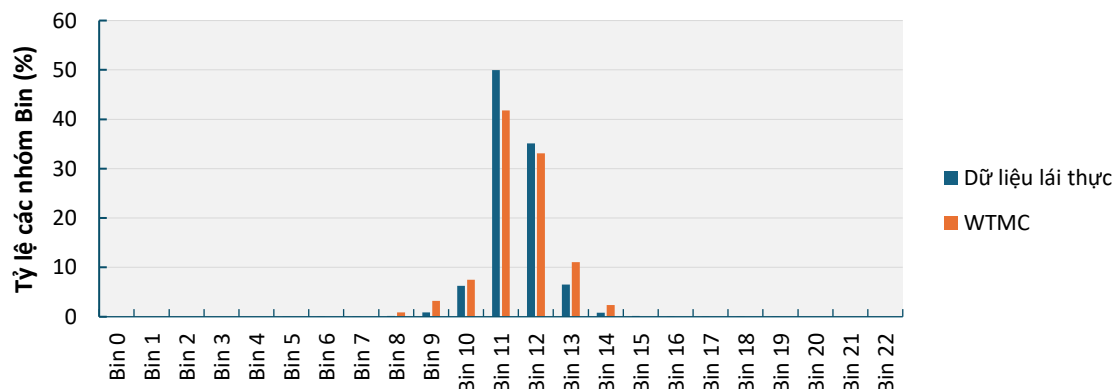
Thông số	Đơn vị	Nghiên cứu này	So sánh với [19]
Vận tốc trung bình	km/h	22,31	21,09
Vận tốc lớn nhất	km/h	40,19	41,47
Tỉ lệ lần dừng	lần/km	0,64	0,90
Giá trị trung bình của VSP dương	W/kg	2,55	2,66
Giá trị trung bình của VSP âm	W/kg	-2,12	-2,39

Trong đó, nghiên cứu [19] thu thập dữ liệu vận tốc tức thời bằng bộ thu dữ liệu (data logger) được kết nối trực tiếp với xe máy để thu thập dữ liệu lái ngoài thực tế của xe máy tại Hà Nội; sử dụng cảm biến hồng ngoại để xác định tốc độ vòng quay của bánh xe.

Bảng 4 cho thấy mức độ tương đồng tốt giữa dữ liệu đặc trưng lái được thu thập bằng thiết bị GPS và bằng bộ data logger. Do đó, sử dụng thiết bị GPS kết hợp với bộ xử lý dữ liệu tăng cường là một giải pháp đơn giản nhưng hiệu quả để có thể thu được đặc trưng lái ngoài thực tế của phương tiện với độ tin cậy cao như đã được phân tích chi tiết trong [41].

3.2.2. Phân bố công suất riêng của xe máy trong điều kiện lái thực

Sự phân bố dữ liệu hoạt động lái ngoài thực tế vào các nhóm Bin dựa trên VSP và mức tải của động cơ theo định nghĩa của phần mềm IVE được đưa ra trên Hình 6.



Hình 6. Phân bố dữ liệu hoạt động theo các nhóm Bin.

Theo Hình 6, dữ liệu lái ngoài thực tế của xe máy tại Hà Nội được đặc trưng bởi sự tập trung chủ yếu vào các nhóm Bin 11 và Bin 12 với tỷ lệ lần lượt là 49,95% và 35,09%. Đây là hai nhóm bin có chứa VSP bằng 0 và VSP dương rất thấp, dải VSP của hai nhóm bin này từ -2,9 kW/tấn đến 5,3 kW/tấn. Đặc biệt Bin 11 chứa các điểm dữ liệu hoạt động ở chế độ không tải của xe máy và các điểm dữ liệu có VSP trong khoảng [0; 1]. Do vậy, sự phân bố các nhóm bin VSP được xác định trong nghiên cứu này là phù hợp với nghiên cứu của Dung và cộng sự

[42] cho xe máy tại thành phố Hồ Chí Minh và nghiên cứu Nguyen và cộng sự [43] đối với xe máy tại Hà Nội. Sự phân bố tập trung này có thể được giải thích bởi đặc trưng lái ngoài thực tế của xe máy bị hạn chế về tốc độ trung bình và tỉ lệ thời gian không tải lớn do mật độ giao thông cao và tình trạng ùn tắc giao thông xảy ra thường xuyên như đã được nhận định trong [19]. Ngoài ra, nghiên cứu trước của chúng tôi đã chỉ ra rằng mức tiêu thụ nhiên liệu trung bình của xe máy (lít/100km) khi xe hoạt động trong dải $0 \leq VSP \leq 1$ là lớn nhất [44]. Do đó, có thể thấy rằng xe máy tại Hà Nội sẽ có mức phát thải cao. Hình 6 cũng cho thấy tỉ lệ phân bố dữ liệu lái ngoài thực tế của xe máy tại Hà Nội vào hai nhóm bin này cao hơn so với dữ liệu trong chu trình thử chuẩn WTMTC khoảng 23,5%. Điều này có nghĩa là phát thải của xe máy tại Hà Nội trong điều kiện lái thực sẽ cao hơn so với mức phát thải được đo theo chu trình thử WTMTC.

3.3. Mức phát thải khí nhà kính

Mô phỏng phát thải của xe máy tại Hà Nội theo dữ liệu lái ngoài thực tế, đặc trưng thành phần dòng xe theo quãng đường di chuyển và công nghệ bằng phần mềm IVE, nghiên cứu này đã thu được hệ số phát thải đặc trưng của các chất ô nhiễm như Bảng 5.

Bảng 5. Hệ số phát thải của xe máy tại Hà Nội

Hệ số phát thải khi xe chạy (EF _{kd})			
Chất ô nhiễm	Nghiên cứu này	So sánh với nghiên cứu khác	
		EF (g/km)	Chú thích
Khí nhà kính			
CO ₂	46,71	50,26	Tung và cộng sự [45] đối với xe Honda Lead 125cc, tuổi trung bình 3 năm, đo phát thải trên băng thử con lăn.
		62,92	
CH ₄	0,27	0,43	Kim Oanh và cộng sự [11] đối với xe máy tại Hà Nội, sử dụng phần mềm IVE.
N ₂ O	0,00		
Chất ô nhiễm khác			
CO	3,22	5,96	Kim Oanh và cộng sự [11] đối với xe máy tại Hà Nội, sử dụng phần mềm IVE.
VOC	1,16	1,99	
SO ₂	0,00	0,01	
PM	0,06	0,12	
		0,21	
NO _x	0,13	0,11	Tung và cộng sự [45] đối với xe Honda Lead 125cc, tuổi trung bình 3 năm, đo phát thải trên băng thử con lăn.
Hệ số phát thải khởi động (EF _{kd}) (g/lần)			
Chất ô nhiễm	Nghiên cứu này	So sánh với nghiên cứu khác	
		EF _{kd}	
CO ₂	5,16	-	Kim Oanh và cộng sự [11] đối với xe máy tại Hà Nội, sử dụng phần mềm IVE.
N ₂ O	0,00	-	
CH ₄	0,70	-	
CO	12,73	18,12	
VOC	3,05	3,98	
NO _x	1,01	1,66	
PM	0,17	0,23	

Bảng 5 cho thấy kết quả nghiên cứu này tương đồng với các nghiên cứu trước về EF đối với KNK và chất ô nhiễm khác. Tuy nhiên, hầu hết các EF đạt được trong nghiên cứu này cao hơn so với kết quả của Tung và cộng sự [45] nhưng thấp hơn kết quả của Kim Oanh và cộng

sự [11]. Điều này hoàn toàn phù hợp vì Tung và cộng sự [45] nghiên cứu trên xe mới (tuổi trung bình 3 năm), trong khi nghiên cứu này hướng tới kiểm kê phát thải cho cả đoàn phương tiện xe máy tại Hà Nội, bao gồm cả xe cũ. Ngoài ra, trên thực tế giao thông tại Hà Nội đã được cải thiện đáng kể trong 10 năm qua nhờ nỗ lực nâng cấp hạ tầng đồng thời tỷ lệ xe mới trong dòng xe lưu thông tăng. Do đó, EF trong nghiên cứu này thấp hơn so với nghiên cứu của Kim Oanh và cộng sự [11] cho xe máy tại Hà Nội mặc dù cùng phương pháp tiếp cận.

Tổng lượng phát thải KNK của xe máy tại Hà Nội được xác định dựa trên bộ EF đặc trưng (Bảng 5) được đưa trong Bảng 6.

Bảng 6. Lượng phát thải khí nhà kính của xe máy tại Hà Nội.

Trường hợp	Lượng phát thải KNK (tấn CO ₂ td/năm)		So sánh với nghiên cứu khác	
	Đoàn phương tiện xe máy	Trung bình một xe máy	Trung bình một xe (tấn CO ₂ td/xe.năm)	Nguồn
Sử dụng số lượng xe máy theo đăng ký tích lũy đến năm 2020	2,46.10 ⁶	0,41	0,32	[37]
Sử dụng số liệu xe máy đang lưu hành năm 2020	1,36.10 ⁶	0,41		Sử dụng hệ số phát thải mặc định được cung cấp bởi IPCC
Số lượng xe máy lưu hành được dự báo cho năm 2025 (khoảng 4,4 triệu xe) ^(*)	1,78.10 ⁶	0,41		

Chú thích: ^(*) dữ liệu được ước tính dựa trên quy mô đoàn xe máy trong lưu thông của cả nước (theo [46]) và tỉ lệ xe máy trong lưu thông của Hà Nội so với cả nước.

Bảng 6 cho thấy lượng phát thải KNK phụ thuộc mạnh mẽ vào quy mô đoàn phương tiện, mặc dù mức phát thải KNK trung bình của một xe khoảng 0,41 tấn CO₂td/năm nhưng sự thay đổi của tổng lượng KNK có thể tăng lên 80,9% khi sử dụng số xe theo đăng ký. Trên thực tế, rất nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng có sự khác biệt rất lớn về số lượng xe lưu hành với số xe đăng ký lũy kế. Dựa trên số liệu thống kê xe máy trong cả nước đến năm 2018, Duc và cộng sự [5] đã cho thấy trên thực tế trung bình cả nước số lượng xe máy lưu thông chỉ bằng 66%÷77% số lượng xe đăng ký lũy kế. Do vậy, việc kiểm kê phát thải KNK đối với các PTVT được khuyến nghị nên sử dụng số lượng xe lưu thông thay vì số lượng theo đăng ký.

Mức phát thải trung bình năm của một xe máy tại Hà Nội được xác định trong nghiên cứu này cao hơn khoảng 28% so với dữ liệu được xác định bởi Bộ Giao thông vận tải theo [37], trong đó Bộ GTVT sử dụng EF mặc định của IPCC. Điều này phù hợp với phân tích ở trên về sự khác biệt về đặc trưng lái của xe máy tại Hà Nội so với chu trình thử chuẩn và ngụ ý xe máy tại Hà Nội sẽ có mức phát thải cao hơn so với EF phát thải mặc định được cung cấp bởi các nước phát triển.

Như vậy, tổng lượng phát thải KNK được xác định theo EF đặc trưng và dữ liệu xe máy lưu thông tại Hà Nội khoảng 1,36 triệu tấn CO₂td năm 2020, dự báo đạt khoảng 1,78 triệu tấn CO₂td trong năm 2025.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã ứng dụng phần mềm IVE để xác định lượng phát thải KNK từ xe máy tại Hà Nội dựa trên dữ liệu lái ngoài thực tế. Trong đó, dữ liệu lái ngoài thực tế được thu thập với tốc độ cập nhật dữ liệu 1Hz. Dữ liệu GPS thu được đã được xử lý để loại bỏ các sai số ngẫu

nhiên và khử nhiễu bằng bộ lọc gồm 9 bước xử lý, các bước được sắp xếp theo thứ tự tăng dần mức độ phức tạp trong việc nhận diện các sai số. Khoảng 7,1% tổng số dữ liệu đưa vào đã được xử lý, bao gồm các lỗi liên quan đến bản ghi trùng lặp. Nghiên cứu cũng chứng minh rằng việc sử dụng GPS kết hợp với bộ xử lý dữ liệu tăng cường là một giải pháp hiệu quả để thu thập đặc trưng lái ngoài thực tế với độ tin cậy cao. Kết quả phân tích cho thấy xe máy tại Hà Nội chủ yếu vận hành trong nhóm Bin 11 (49,95%) và Bin 12 (35,09%), nên mức phát thải sẽ cao. Mức phát thải KNK trung bình của mỗi xe máy trong điều kiện lái thực của Hà Nội vào khoảng 0,41 tấn CO₂td/năm. Tổng lượng phát thải CO₂td của xe máy tại Hà Nội năm 2020 khoảng 1,36 triệu tấn CO₂td/năm và có thể đạt 1,78 triệu tấn CO₂td/năm vào năm 2025. Nghiên cứu cũng cho thấy lượng phát thải KNK giảm tới 80,9% khi sử dụng số lượng xe lưu thông thay vì số xe theo đăng ký để kiểm kê phát thải. Do đó, các nghiên cứu liên quan đến kiểm kê phát thải KNK cho các PTVT được khuyến nghị sử dụng EF phát thải đặc trưng và dữ liệu xe trong lưu thông thay vì sử dụng số lượng xe đăng ký. Kết quả đạt được của nghiên cứu này đóng góp cơ sở khoa học có ý nghĩa cho hoạt động quản lý tổng hợp chất lượng không khí tại Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. World Bank, Country Climate and Development (Vietnam), 2022. <https://www.worldbank.org/en/publication/country-climate-development-reports>.
- [2]. J. E. Oh, M. J. Dos Anjos Ribeiro Cordeiro, J. A. Rogers, K. Nguyen, D. Bongardt, L. T. Dang, V. A. Tuan, Addressing Climate Change in Transport: Volume 1 : Pathway to Low-Carbon Transport The World Bank and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH, 2019. <http://documents.worldbank.org/curated/en/581131568121810607/Volume-1-Pathway-to-Low-Carbon-Transport>
- [3]. Chương trình Quốc gia về Năng lượng tiết kiệm và hiệu quả (VNEEP), Thống kê năng lượng Việt Nam, 2021.
- [4]. Viện chiến lược và phát triển giao thông vận tải (TDSI), Niên giám thống kê vận tải và Logistics, NXB GTVT, 2020.
- [5]. Đ.H. Nguyễn, T. Michimasa, H.L. Bùi, T.L.H. Nguyễn, B.N. Nguyễn, T.T. Lưu, T.D. Nguyễn, Báo cáo dự án: Nghiên cứu hiện trạng giao thông xe máy tại Việt Nam. Mã số: TRN/FAC/12/006/REG, Bộ Giao thông vận tải, 2019.
- [6]. Huong Le, F. Posada, Z. Yang, Electric two-wheeler market growth in Vietnam: An overview, International Council on Clean Transportation, (2022).
- [7]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol 2: Energy, 2006.
- [8]. T. T. Nguyen, T. D. Nghiem, T. T. Tran, Potentiality of Co-benefits of climate and air quality in fuel switching for Hanoi bus system, Journal of Science and Technology, 49 (2011) 117-128. <https://doi.org/10.15625/0866-708X>
- [9]. N. T. Y. Lien, N. T. Dung, Health co-benefits of climate change mitigation for the bus system of Hanoi, Vietnam Journal of Science and Technology, 56 (2018) 312-323. <http://doi.org/10.15625/2525-2518/56/3/9398>
- [10]. T. D. Nghiem, T. N. Tran, T. T. Tran, Co-benefits of air quality and climate for taxi system in Hanoi associated with selected control scenarios, Journal of Science and Technology, 51 (2013) 104-111.
- [11]. N. T. Kim Oanh, M. T. T. Phuong, D. A. Permadi, Analysis of motorcycle fleet in Hanoi for estimation of air pollution emission and climate mitigation co-benefit of technology implementation, Atmospheric environment, 59 (2012) 438-448. <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.04.057>
- [12]. N. T. Kim Oanh, H. V. Huynh, Comparative Assessment of Traffic Fleets in Asian Cities for Emission Inventory and Analysis of Co-Benefit from Faster Vehicle Technology Intrusion, (2015) <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1545.5764>.

- [13]. Y. L. T. Nguyen, H. Y. T. Than, Estimating the greenhouse gas emission factor of motorcycles under real-world driving conditions in Hanoi: a case study, *Transport and Communications Science Journal*, 74 (2023) 764-774. <https://doi.org/10.47869/tcsj.74.7.1>
- [14]. International Sustainable Systems Research Center, International Vehicle Emissions (IVE): Model Overview and Model Users Manual, 2008. <http://www.issrc.org/ive/>
- [15]. D. A. Niemeier, T. Limanond, E. J. Morey, Data collection for driving cycle development: evaluation of data collection protocols, Institute of Transportation Studies, University of California at Davis, 1999.
- [16]. J. Jun, R. Guensler, J. Ogle, Smoothing Methods Designed to Minimize the Impact of GPS Random Error on Travel Distance, Speed, and Acceleration Profile Estimates *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1972 (2006) 141-150. <https://doi.org/10.1177/0361198106197200117>.
- [17]. J. Ogle, R. Guensler, W. Bachman, M. Koutsak, J. Wolf, Accuracy of Global Positioning System for Determining Driver Performance Parameters, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1818 (2002) 12-24. <https://doi.org/10.3141/1818-03>
- [18]. H. Y. Tong, W. T. Hung, A Framework for Developing Driving Cycles with On-Road Driving Data, *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 30 (2010) 589-615. <http://dx.doi.org/10.1080/01441640903286134>.
- [19]. N. T. Yen-Lien, K. N. Duc, Q. C. Minh, Y. T. T. Hai, M. B. Le Hong, A study on the determination of the real-world driving characteristics of motorcycles in Hanoi, *Transport and Communications Science Journal*, 73 (2022) 412-426. <https://doi.org/10.47869/tcsj.73.4.6>
- [20]. Le Anh-Tuan, P. M. Tuan, N. T. Truc, N. D. Vinh, Measurements of Emission factors and Fuel Consumption for Motorcycles on a Chassis Dynamometer based on a localized driving cycle, *ASEAN Engineering Journal Part C*, 1 (2012) 73-85.
- [21]. S.-H. Ho, Y.-D. Wong, V. W.-C. Chang, Developing Singapore Driving Cycle for passenger car to estimate fuel consumption and vehicular emissions, *Atmospheric Environment*, 97 (2014) 335-362.
- [22]. A. Duran, M. Earleywine, GPS Data Filtration Method for Drive Cycle Analysis Applications, *SAE 2012 World Congress*, 2012.
- [23]. C. Lin, X. Zhou, D. Wu, B. Gong, Estimation of Emissions at Signalized Intersections Using an Improved MOVES Model with GPS Data, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16 (2019) 3647. <http://doi.org/10.3390/ijerph16193647>.
- [24]. Nguyễn Thị Yến Liên, Nghiên cứu ảnh hưởng của các phương thức lái đến mức tiêu hao nhiên liệu ngoài thực tế đối với xe máy. Đề tài NCKH cấp Trường trọng điểm, mã số: T2022-MT-013TD, Trường Đại học Giao thông vận tải, 2023.
- [25]. Viện Khoa học và Công nghệ giao thông vận tải, Nghiên cứu thí điểm kiểm tra khí thải xe mô tô, xe gắn máy và thu hồi xe mô tô, xe gắn máy cũ đang lưu hành trên địa bàn thành phố Hà Nội góp phần bảo vệ môi trường không khí, 2022.
- [26]. Viện Khoa học và Công nghệ giao thông vận tải, Nghiên cứu thực trạng phát thải của xe máy đang lưu hành hướng tới kiểm soát khí thải, góp phần cải thiện chất lượng môi trường không khí, 2018..
- [27]. Tổng Cục thống kê, Số liệu thống kê về đơn vị hành chính, đất đai và khí hậu, 2024. <https://www.gso.gov.vn/so-lieu-thong-ke/>.
- [28]. J. Jungwook, G. Randall, O. Jennifer, Smoothing Methods Designed to Minimize the Impact of GPS Random Error on Travel Distance, Speed, and Acceleration Profile Estimates *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1972 (2006) 141-150. <http://dx.doi.org/10.3141/1972-19>.
- [29]. I. Selesnick, *Least Squares with Examples in Signal Processing*, 2013. https://eeweb.engineering.nyu.edu/iselesni/lecture_notes/least_squares/least_squares_SP.pdf
- [30]. Y.-L. T. Nguyen, N.-D. Bui, T.-D. Nghiem, A.-T. Le, GPS data processing for driving cycle development in Hanoi, Vietnam, *Journal of Engineering Science and Technology (JESTEC)*, 15 (2020) 1429 - 1440.

- [31]. W. F. Faris, H. A. Rakha, R. I. Kafafy, M. Idres, S. Elmoselhy, Vehicle fuel consumption and emission modelling: an in-depth literature review, *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 6 (2011) 318-395. <http://doi.org/10.1504/IJVSMT.2011.044232>.
- [32]. H. Guo, Q.-y. Zhang, Y. Shi, D.-h. Wang, Evaluation of the International Vehicle Emission (IVE) model with on-road remote sensing measurements, *Journal of environmental sciences (China)*, 19 (2007) 818-826. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(07\)60137-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(07)60137-5)
- [33]. J. L. Jimenez-Palacios, Understanding and quantifying motor vehicle emissions with vehicle specific power and TILDAS remote sensing, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1999.
- [34]. L. A. Son, J. Zhang, A. Fujiwara, The MATLAB Toolbox for GPS Data to Calculate Motorcycle Emission in Hanoi - Vietnam, Singapore, 2012.
- [35]. G. O. Duarte, G. A. Gonçalves, T. L. Farias, A methodology to estimate real-world vehicle fuel use and emissions based on certification cycle data, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 111 (2014) 702-710. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.104>
- [36]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2019. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>
- [37]. GIZ, Advancing Transport Climate Strategies in Rapidly Motorising Countries (TraCS), 2018.
- [38]. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC Sixth Assessment Report. Chapter 7: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity, 2024. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-7/#7.6>
- [39]. M. Eliasson, A Kalman filter approach to reduce position error for pedestrian applications in areas of bad GPS reception, Department of Computing Science, Umeå University, Sweden, 2014.
- [40]. Y.-L. T. Nguyen, T.-D. Nghiem, A.-T. Le, N.-D. Bui, Development of the typical driving cycle for buses in Hanoi, Vietnam, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69 (2019) 423-437. <https://doi.org/10.1080/10962247.2018.1543736>
- [41]. Y.-L. Nguyen T., K. Nguyen Duc, A.-T. Le, H.-Y. Than T., Q. Cao Minh, A cost-effective solution to estimate fuel consumption and greenhouse gas emissions for motorcycles: a case study, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45 (2023) 9202-9216.
- [42]. C. T. Dung, T. Miwa, H. Sato, T. Morikawa, Analysis on Characteristics of Passenger Car and Motorcycle Fleets and Their Driving Conditions in Developing Country: A Case Study in Ho Chi Minh City, Vietnam, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 11 (2015) 890-905. <http://dx.doi.org/10.11175/easts.11.890>.
- [43]. Y.-L. T. Nguyen, K. N. Duc, A.-T. Le, T.-D. Nghiem, H.-Y. T. Than, Impact of real-world driving characteristics on the actual fuel consumption of motorcycles and implications for traffic-related air pollution control in Vietnam, *Fuel*, 345 (2023) 128256. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128256>.
- [44]. Y.-L. T. Nguyen, K. N. Duc, A.-T. Le, T.-D. Nghiem, H.-Y. T. Than, Impact of real-world driving characteristics on the actual fuel consumption of motorcycles and implications for traffic-related air pollution control in Vietnam, *Fuel*, 345 (2023) 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128256>
- [45]. H. D. Tung, H. Y. Tong, W. T. Hung, N. T. N. Anh, Development of emission factors and emission inventories for motorcycles and light duty vehicles in the urban region in Vietnam, *Science of the Total Environment*, 409 (2011) 2761–2767. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.013>
- [46]. Tổ chức Hợp tác quốc tế Đức (GIZ), Kịch bản hướng tới phát thải ròng bằng "0" trong ngành giao thông vận tải tại Việt Nam, 2024.