

Ảnh hưởng của dân số, tăng trưởng kinh tế, và sử dụng năng lượng tái tạo đến phát thải CO₂

Phan Bùi Gia Thủy*, Nguyễn Duy Tiến, Dương Thúy Duy, Huỳnh Y Huỳnh, Thái Hồng Thụy Khánh

Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*pbgthuy@ntt.edu.vn

Tóm tắt

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đo lường ảnh hưởng của các yếu tố: dân số, tổng thu nhập quốc nội, sử dụng năng lượng tái tạo đến phát thải CO₂. Dựa trên dữ liệu vĩ mô của nền kinh tế Việt Nam giai đoạn 1990-2022 và áp dụng mô hình STIRPAT, nghiên cứu đã tìm thấy (i) sử dụng năng lượng tái tạo, chủ yếu gồm thủy điện, điện gió và điện mặt trời, giữ vai trò then chốt trong việc làm giảm đáng kể lượng phát thải CO₂, qua đó góp phần hiện thực hóa mục tiêu phát triển kinh tế bền vững; và (ii) tồn tại minh chứng ủng hộ giả thuyết đường cong môi trường Kuznets, thể hiện hiệu ứng biên giảm dần của thu nhập quốc nội đối với mức độ phát thải. Tuy nhiên, nghiên cứu không tìm thấy mối quan hệ tuyến tính có ý nghĩa giữa yếu tố dân số và phát thải CO₂ trong bối cảnh Việt Nam. Trên cơ sở những phát hiện này, nghiên cứu đề xuất các chính sách trọng yếu, đó là chuyển đổi sang mô hình tăng trưởng xanh, lấy phúc lợi xã hội làm định hướng trung tâm; và phát triển các đặc khu kinh tế xanh nhằm thúc đẩy sử dụng năng lượng tái tạo, hướng đến tăng trưởng bền vững, giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

© 2025 Journal of Science and Technology - NTTU

Nhận 06/10/2024

Được duyệt 14/07/2025

Công bố 28/09/2025

Từ khóa

Biến đổi khí hậu; phát thải CO₂; năng lượng tái tạo; tăng trưởng kinh tế; tăng trưởng xanh

1 Đặt vấn đề

Hoạt động kinh tế thúc đẩy tăng trưởng kinh tế nhưng cũng dẫn đến các tác động tiêu cực đối với môi trường sinh thái. Hệ thống sản xuất đang được sử dụng trong các quốc gia công nghiệp hóa đã sản sinh ra rác thải, ô nhiễm và là nguyên nhân của sự cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên. Lịch sử nghiên cứu về vấn đề tác động của con người lên môi trường đã được tiến hành thực hiện từ rất lâu nhằm tìm hiểu, kiểm định và đưa ra các chính sách để có thể phát triển kinh tế quốc gia theo hướng phát triển bền vững. Các nghiên cứu tại các nước khu vực phía Đông đã xuất hiện từ sớm trước năm 2000 và tiếp tục nghiên cứu cho đến nay, với cơ sở lý thuyết nền tảng là đường cong môi trường Kuznets (Environmental Kuznets Curve – EKC) [1], và mô hình tác động ngẫu nhiên bởi hồi quy dân số, sự sung túc và công nghệ (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology – STIRPAT),

tập trung vào ảnh hưởng của gia tăng dân số, tăng trưởng kinh tế, và công nghệ đến phát thải CO₂ [2-4].

Theo quan điểm cổ điển, gia tăng dân số được xem là nguyên nhân dẫn đến sự cạn kiệt tài nguyên thiên nhiên, gia tăng phát thải các chất gây ô nhiễm và làm trầm trọng thêm tình trạng biến đổi khí hậu toàn cầu. Các nghiên cứu tại nhiều quốc gia như Mỹ, Trung Quốc, và Hàn Quốc đều cho rằng, tăng trưởng dân số có xu hướng làm gia tăng lượng phát thải CO₂. Tuy nhiên, tác động của dân số đến phát thải CO₂ không mang tính đồng nhất mà có thể khác biệt tùy theo đặc điểm quốc gia và cơ cấu dân số [5].

Đối với mối quan hệ giữa tăng trưởng kinh tế và lượng phát thải CO₂, trong dài hạn, tăng trưởng kinh tế càng lớn sẽ dẫn đến lượng phát thải CO₂ càng cao [4]. Trong các giai đoạn đầu của quá trình công nghiệp hóa, đặc biệt tại các nước đang phát triển, tăng trưởng kinh tế kéo theo phát thải cao hơn do phụ thuộc vào công

nghiệp nặng và năng lượng hóa thạch như than, dầu, khí đốt, vốn là nguồn phát thải CO₂ chính. Tuy nhiên, liệu tồn tại một ngưỡng tăng trưởng kinh tế mà tại đó lượng phát thải CO₂ bắt đầu giảm, như hàm ý trong giả thuyết đường cong EKC. Trên thực tế, các quốc gia đang phát triển vẫn có khả năng thực hiện các biện pháp nhằm cải thiện chất lượng môi trường, và những hành động này mang lại ý nghĩa quan trọng không chỉ đối với phúc lợi xã hội mà còn đối với mục tiêu phát triển bền vững [1, 5]. Ở Malaysia, giai đoạn 1971-2016, hiệu ứng biên giảm dần đối với ảnh hưởng của tăng trưởng kinh tế đến phát thải CO₂ [1]. Tương tự, trong một nghiên cứu phân tích 147 quốc gia trong giai đoạn 1995-2018, đã cho thấy mối quan hệ dạng chữ U ngược giữa tăng trưởng kinh tế và suy thoái môi trường [5]. Đề cập đến năng lượng sử dụng, nhiều nghiên cứu đã cho thấy, các quốc gia, như Ý trong giai đoạn 1972-2021 [4], Pakistan trong giai đoạn 1971-2009 [6], và Malaysia trong giai đoạn 1970-2011 [7], sử dụng năng lượng hóa thạch làm tăng lượng phát thải CO₂. Trong khi đó, các quốc gia sử dụng năng lượng tái tạo và năng lượng hạt nhân sẽ hạn chế đáng kể lượng mức phát thải CO₂ [8-10].

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng nghiêm trọng, nhiều mô hình nghiên cứu được đề xuất nhằm đo lường tác động của các yếu tố kinh tế và xã hội đến vấn đề môi trường, như mô hình IPAT, IPBAT, ImPACT, và STIRPAT [2, 4, 7]. Trong đó, mô hình STIRPAT hiện được ứng dụng phổ biến trong nghiên cứu phát thải CO₂, đặc biệt trong bối cảnh các quốc gia đang phát triển đang phải đối mặt với bài toán cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế và bảo vệ môi trường.

Tại Việt Nam, các yếu tố ảnh hưởng đến vấn đề môi trường cũng nhận được nhiều sự quan tâm của các tác giả. Đơn cử như lượng phát thải CO₂ có mối tương quan cùng chiều đến đô thị hóa, tương quan ngược chiều đến sử dụng năng lượng tái tạo [11]. Ngoài ra, với khung dữ liệu thời gian từ năm 1990 đến 2018, nghiên cứu [11] đã xác nhận giả thuyết EKC tại Việt Nam, tăng trưởng kinh tế và phát thải CO₂ có mối quan hệ phi tuyến dưới dạng hình chữ U ngược. Tuy nhiên, so với quốc tế, số lượng nghiên cứu áp dụng các mô hình lý thuyết hiện đại như STIRPAT tại Việt Nam còn hạn chế. Do đó, cần thiết có thêm các nghiên cứu định lượng trong bối cảnh Việt Nam để lấp đầy khoảng trống này và hỗ trợ hoạch định chính sách môi trường.

Bảng 1 Mô tả các biến nghiên cứu được sử dụng

Chính vì vậy, nghiên cứu này nhằm đo lường ảnh hưởng của yếu tố dân số, tăng trưởng kinh tế, và sử dụng năng lượng tái tạo đến lượng phát thải CO₂ ở Việt Nam dựa trên mô hình STIRPAT và kỹ thuật kinh tế lượng. Kết quả từ mô hình hồi quy sẽ là cơ sở để giải thích cho các tác động này.

2 Phương pháp nghiên cứu

2.1 Mô hình kinh tế lượng

Trên cơ sở các nghiên cứu định lượng đã lược khảo [2-4], nghiên cứu này sử dụng mô hình STIRPAT như một khung phân tích, lý thuyết tham chiếu để ước lượng các yếu tố ảnh hưởng đến biến đổi chất lượng môi trường. Với việc được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu tác động của con người lên biến đổi chất lượng môi trường cả trong và ngoài nước, các nước phát triển và đang phát triển, mô hình này hoàn toàn phù hợp cho mục đích nghiên cứu.

Các đặc điểm kỹ thuật của mô hình STIRPAT được thể hiện qua phương trình dưới đây:

$$I_t = \alpha P_t^\beta A_t^\gamma T_t^\delta \varepsilon_t \quad (1)$$

Trong đó, I , P , A và T biểu thị lần lượt cho biến đổi môi trường, quy mô dân số, sung túc của người dân, và tiêu thụ năng lượng; α , β , γ , và δ là những tham số được ước lượng; t là thời điểm quan sát; và ε là sai số ngẫu nhiên. Thực hiện lấy logarit tự nhiên hai vế của phương trình (1) được phương trình mới có dạng:

$$\ln I_t = \alpha + \beta \ln P_t + \gamma \ln A_t + \delta \ln T_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Từ phương trình (2), nghiên cứu sẽ tiến hành lựa chọn các biến phù hợp, theo đó, I đại diện cho biến đổi môi trường được đo lường bằng lượng phát thải khí CO₂ bình quân trên đầu người; P đại diện cho dân số được đo lường bằng tổng dân số; A đại diện cho sự sung túc của người dân được đo lường bằng GDP bình quân trên đầu người; và T đại diện cho yếu tố công nghệ được đo lường bằng mức sử dụng năng lượng tái tạo bình quân trên đầu người.

Ngoài ra, để kiểm định giả thuyết đường cong EKC về mối quan hệ giữa tăng trưởng kinh tế và biến đổi môi trường ở Việt Nam, nghiên cứu đưa biến $(\ln A_t)^2$ vào phương trình (3). Mô hình kiểm định giả thuyết đường cong EKC có dạng:

$$\ln I_t = \alpha + \ln P_t + \gamma \ln A_t + \delta (\ln A_t)^2 + \lambda \ln T_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

Chi tiết đo lường các biến trong phương trình (3) được biểu thị qua Bảng 1 dưới đây như sau:

Biến nghiên cứu	Đo lường	Đơn vị tính
I	Lượng phát thải CO ₂ bình quân trên đầu người	tấn/người
P	Tổng dân số	người
A	Thu nhập quốc nội bình quân trên đầu người	GDP/người
T	Năng lượng tái tạo sử dụng bình quân trên đầu người	Tỷ lệ (%) tổng chi tiêu năng lượng

2.2 Giả thuyết nghiên cứu

2.2.1 Gia tăng dân số

Nhiều nghiên cứu cho rằng, gia tăng dân số là nguyên nhân gây ra ô nhiễm không khí [6, 12, 13]. Theo quan điểm truyền thống, truy nguyên mối liên hệ giữa thay đổi dân số và khan hiếm nguồn lực tự nhiên, khi dân số gia tăng, các nguồn lực tự nhiên dần cạn kiệt, lượng khí thải độc hại gia tăng và khí hậu biến đổi trầm trọng. Đồng quan điểm, các nghiên cứu ở California, Mỹ đã tìm thấy mối tương quan thuận giữa gia tăng dân số và nguồn khí thải. Một nghiên cứu sử dụng dữ liệu bảng của 93 quốc gia giai đoạn 1975-1996, đã cho thấy mối quan hệ cùng chiều giữa gia tăng dân số và lượng phát thải CO₂ [12]. Tương tự, dựa trên dữ liệu nghiên cứu 86 quốc gia giai đoạn 1975-1998, Cole & Neumayer đã chỉ ra mối tương quan cùng chiều giữa các yếu tố dân số, tỷ lệ đô thị hóa, và quy mô hộ gia đình đến lượng phát thải CO₂ [13]. Trên cơ sở các quan điểm vừa đề cập, giả thuyết nghiên cứu được đặt ra như sau:

H₁: gia tăng dân số tương quan cùng chiều đến lượng phát thải lượng CO₂.

2.2.2 Tăng trưởng kinh tế

Nghiên cứu phát thải CO₂ đang giữ một vai trò trọng tâm trong quá trình bảo vệ môi trường và phát triển bền vững. Hầu hết các nhà khoa học đều công nhận tác hại từ phát thải CO₂ là một nguồn chính của sự nóng lên toàn cầu thông qua hiệu ứng nhà kính. Do đó, mối quan hệ giữa tăng trưởng kinh tế với lượng phát thải CO₂ có ý nghĩa quan trọng đối với các chính sách về môi trường và kinh tế vĩ mô. Trong quá trình tập trung vào tăng trưởng kinh tế, mỗi quốc gia vẫn sử dụng một lượng lớn năng lượng hóa thạch như dầu mỏ để đẩy nhanh phát triển kinh tế của đất nước, dẫn đến tăng trưởng kinh tế ảnh hưởng xấu đến hệ sinh thái và môi trường [4]. Đồng thời, những nỗ lực làm giảm lượng phát thải CO₂ toàn cầu sẽ trở nên khó khăn hơn. Tuy nhiên, mối quan hệ giữa tăng trưởng kinh tế với phát thải CO₂ không chỉ dừng lại ở dạng tuyến tính. Theo đó, mối quan hệ này được thể hiện ở dạng phi tuyến

qua giả thuyết về đường cong EKC [1, 5, 11]. Chính vì vậy, nghiên cứu xây dựng giả thuyết nghiên cứu sau:

H₂: tồn tại hiệu ứng biên giảm dần của tăng trưởng kinh tế đến lượng phát thải CO₂.

2.2.3 Sử dụng năng lượng tái tạo

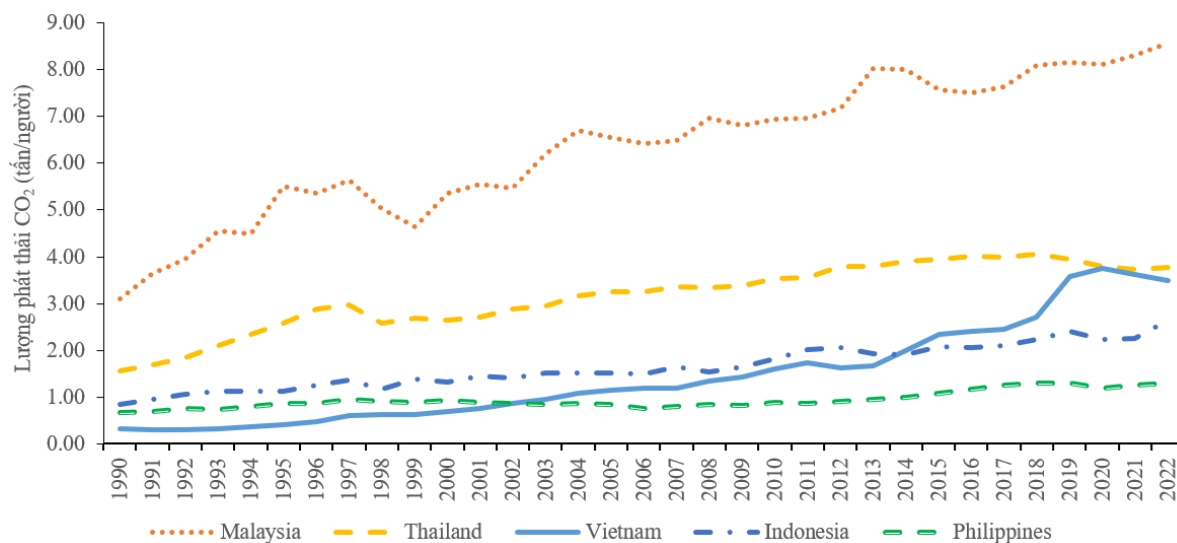
Sử dụng năng lượng quá mức, không hiệu quả có thể làm cạn kiệt nguồn tài nguyên thiên nhiên, ô nhiễm nguồn nước, và gia tăng lượng phát thải khí độc vào môi trường sinh thái, dẫn đến gia tăng lượng phát thải CO₂ [4, 6, 7]. Cùng với việc gia tăng sử dụng các nguồn năng lượng không thể tái tạo, ảnh hưởng của tiêu hao năng lượng đến hiệu ứng nhà kính có thể tăng lên gấp đôi. Do đó, ô nhiễm môi trường là không thể tránh khỏi từ việc tiêu hao năng lượng, và được xem là điều kiện tiên quyết khi xem xét, cân nhắc phát triển nền kinh tế. Các tổ chức bảo vệ môi trường thường khuyến khích các quốc gia nên hướng đến sử dụng các nguồn năng lượng sạch, tự nhiên để thay thế các nguồn năng lượng truyền thống như dầu mỏ, khoáng sản. Do đó, sử dụng năng lượng tái tạo là một trong các hoạt động hiệu quả nhằm hạn chế lượng phát thải CO₂ [8-10]. Không giống như các nhiên liệu hóa thạch, sử dụng năng lượng tái tạo không tạo ra nhiều hiệu ứng khí thải nhà kính, do đó đóng góp lớn cho sự cải thiện biến đổi khí hậu trên toàn cầu. Chính vì vậy, giả thuyết về ảnh hưởng của sử dụng năng lượng tái tạo đến phát thải CO₂ tại Việt Nam như sau:

H₃: sử dụng năng lượng tái tạo tương quan ngược chiều đến lượng phát thải CO₂.

3 Kết quả nghiên cứu

3.1 Dữ liệu nghiên cứu

Nghiên cứu thu thập dữ liệu vĩ mô của Việt Nam từ cơ sở dữ liệu của Ngân hàng Thế giới (World Bank). Các số liệu về biến đổi chất lượng môi trường, dân số, tổng thu nhập quốc nội và năng lượng tái tạo sử dụng ở Việt Nam được World Bank cung cấp từ giai đoạn 1990-2022 [14]. Đồ thị dưới đây so sánh lượng phát thải CO₂ bình quân trên đầu người (tấn/người) của Việt Nam so với một số nước trong khu vực Đông Nam Á (Hình 1).



Hình 1 Lượng phát thải CO₂ ở Việt Nam so với một số nước Đông Nam Á [14]

Hình 1 cho thấy, lượng phát thải CO₂ ở Việt Nam có xu hướng gia tăng trong giai đoạn 1990-2022. Từ một quốc gia có lượng phát thải CO₂ thấp nhất trong năm 1990, trong vòng 35 năm, lượng phát thải CO₂ ở Việt Nam đã vượt hơn lượng phát thải CO₂ ở Philippines. Đến năm 2014 lượng phát thải CO₂ ở Việt Nam vượt Indonesia; và chưa đầy 10 năm, lượng khí thải này đã bằng với Thailand trong năm 2020 và chỉ đứng sau Malaysia. Trong nghiên cứu của về lượng phát thải CO₂ ở Việt Nam giai đoạn 1980-2005 cho thấy, lượng phát thải CO₂ trên toàn quốc của Việt Nam đã tăng hơn gấp 5 lần từ năm 1980 đến năm 2005 [15]. Trong đó, lượng phát thải từ ngành giao thông đã tăng gấp đôi từ 14 % lên đến 25 %. Trong đó, ba nhân tố phát triển kinh tế, tăng trưởng dân số, và mức sử dụng năng lượng trong giao thông làm gia tăng lượng khí thải CO₂ ở Việt Nam.

Trong khoảng ba năm trở lại đây, Việt Nam đã nỗ lực kiểm soát ô nhiễm môi trường. Cụ thể giai đoạn 2020-2022 chứng kiến lượng phát thải CO₂ ở Việt Nam có xu hướng giảm (từ 3,76 tấn/người năm 2020 giảm xuống 3,50 tấn/người năm 2022), trong khi lượng phát

thải CO₂ ở bốn quốc gia còn lại trong khu vực có xu hướng tăng. Thành tựu bước đầu đạt được là do Việt Nam đã ban hành những chính sách thiết thực, như việc ban hành Luật Bảo vệ Môi trường 2020 (Luật số 72/2020/QH14) và Nghị định 06/2022/NĐ-CP quy định thực thi quan trọng cho Luật Bảo vệ Môi trường 2020, cung cấp các quy định chi tiết về giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn.

3.2 Kết quả hồi quy

Trước khi tiến hành ước lượng hồi quy, nghiên cứu thực hiện kiểm định tính dừng của các chuỗi dữ liệu thời gian, và kiểm định đồng liên kết giữa các chuỗi dữ liệu theo phương pháp Johansen. Ngoài ra, các vi phạm giả thiết thống kê cũng được kiểm định để mô hình hồi quy có ước lượng không chệch tuyến tính tốt nhất.

3.2.1 Kiểm định nghiệm đơn vị

Kiểm định nghiệm đơn vị nhằm xác định tính dừng của chuỗi dữ liệu thời gian. Một khi tính dừng của chuỗi thời gian bị vi phạm, mô hình hồi quy sẽ cho kết quả giả mạo. Bảng 2 dưới đây trình bày kết quả kiểm định tính dừng của các biến nghiên cứu.

Bảng 2 Kiểm định nghiệm đơn vị

Biến quan sát	Kiểm định ADF/DF		Sai phân	Kiểm định ADF/DF	
	Giá trị kiểm định	Prob.		Giá trị kiểm định	Prob.
$\ln I$	-3,522*	0,054	$\Delta \ln I$	-5,880***	0,000
$\ln P$	-0,524	0,975	$\Delta \ln P$	-3,693**	0,041
$\ln A$	-2,997	0,150	$\Delta \ln A$	-2,154	0,496
$\ln T$	-3,823**	0,029	$\Delta \ln T$	-4,625***	0,005

***, **, * lần lượt tương ứng với mức ý nghĩa 1 %, 5 % và 10 %

I: lượng phát thải CO₂ bình quân trên đầu người; P: tổng dân số; A: tổng thu nhập quốc nội bình quân trên đầu người; T: năng lượng tái tạo sử dụng bình quân trên đầu người.

Kết quả kiểm định đơn vị ở Bảng 2 cho thấy, phần lớn các biến nghiên cứu đều có tính dừng khi thực hiện lấy sai phân bậc nhất. Tuy nhiên, tồn tại biến tổng thu nhập quốc nội bình quân trên đầu người (A) không có tính dừng khi thực hiện lấy sai phân bậc nhất. Kết quả này cũng ngầm ý, yếu tố A có khả năng làm cho mô hình nghiên cứu trở nên không tuyến tính, đúng theo giả thuyết đường cong EKC. Chính vì vậy, để kết quả có độ tin cậy cao, nghiên cứu sẽ thực hiện hồi quy theo các biến đã lấy sai phân. Mô hình ước lượng sau cùng có dạng:

$$\Delta \ln I_t = \alpha + \beta \cdot \Delta \ln P_t + \gamma \cdot \Delta \ln A_t + \lambda \cdot (\Delta \ln A_t)^2 + \delta \cdot \Delta \ln T_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

3.2.2 Kiểm định đa cộng tuyến

Bảng 3 dưới đây thể hiện ma trận tương quan giữa các biến độc lập và biến phụ thuộc. Đồng thời Bảng 3 cũng trình bày chỉ số VIF (Variance Inflation Factor), một chỉ số quan trọng để nhận biết khả năng đa cộng tuyến trong mô hình. Nếu chỉ số này lớn hơn 5, đó là dấu hiệu cho biết có hiện tượng đa cộng tuyến cao. Đặc biệt, nếu chỉ số VIF lớn hơn 10, dấu hiệu cho biết có hiện tượng đa cộng tuyến nghiêm trọng.

Bảng 3 Ma trận tương quan giữa các biến

Biến quan sát	(1)	(2)	(3)	(5)	VIF
(1) $\Delta \ln I$	1				----
(2) $\Delta \ln P$	-0,042	1			1,187
(3) $\Delta \ln A$	-0,050	0,388**	1		1,177
(4) $\Delta \ln T$	-0,625	-0,093	-0,026	1	1,009

***, **, * lần lượt tương ứng với mức ý nghĩa 1 %, 5 % và 10 %

I : lượng phát thải CO_2 bình quân trên đầu người; P : tổng dân số; A : tổng thu nhập quốc nội bình quân trên đầu người; T : năng lượng tái tạo sử dụng bình quân trên đầu người.

Bảng 3 cho thấy, hệ số tương quan cao nhất giữa cặp biến độc lập $\Delta \ln P$ và $\Delta \ln A$ có giá trị là 0,388 và chỉ số VIF lớn nhất là 1,187. Kết quả này cho thấy hiện tượng đa cộng tuyến là không đáng kể trong mô hình hồi quy. Sau khi xem xét tính dừng của các chuỗi thời gian và đa cộng tuyến, nghiên cứu tiến hành ước lượng phương trình hồi quy. Kết quả hồi quy từ phương trình (4) sẽ là cơ sở để giải thích các yếu tố ảnh hưởng đến biến đổi môi trường.

3.2.3 Kết quả hồi quy

Bảng 4 trình bày kết quả hồi quy, đồng thời thể hiện chỉ số Durbin-Watson (kiểm định tự tương quan), chỉ số

Jarque-Bera (kiểm định phân phối chuẩn), và $ADF(\varepsilon_i)$ (kiểm định tính đồng liên kết, hay kiểm định nghiệm đơn vị của sai số). Kết quả cho thấy, ở cả 2 mô hình, chỉ số Durbin-Watson gần với 2; chỉ số Jarque-Bera không có ý nghĩa thống kê với mức ý nghĩa 5 %; trị kiểm định $ADF(\varepsilon_i)$ có ý nghĩa thống kê với mức ý nghĩa 1 % ($p < 0,01$). Các kết quả này cho thấy, mô hình không bị hiện tượng tự tương quan của phần dư, phần dư có sai số chuẩn và có tính dừng. Do vậy, mô hình có độ tin cậy cao khi giải thích các yếu tố tác động đến biến đổi môi trường. Kết quả hồi quy được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4 Kết quả hồi quy

Biến quan sát	$\Delta \ln I_t = \alpha + \beta \cdot \Delta \ln P_t + \gamma \cdot \Delta \ln A_t + \delta \cdot \Delta \ln T_t + \varepsilon_t$		$\Delta \ln I_t = \alpha + \beta \cdot \Delta \ln P_t + \gamma \cdot \Delta \ln A_t + \lambda \cdot (\Delta \ln A_t)^2 + \delta \cdot \Delta \ln T_t + \varepsilon_t$	
	Hệ số	Mức ý nghĩa	Hệ số	Mức ý nghĩa
Hằng số	0,073*	0,051	0,018	0,705
$\Delta \ln P$	-1,850	0,601	0,335	0,928
$\Delta \ln A$	-0,028	0,804	0,578*	0,066
$(\Delta \ln A)^2$	----	----	-1,917**	0,042
$\Delta \ln T$	-2,625***	0,000	-2,667***	0,000
Số quan sát	32		32	
R^2 hiệu chỉnh (%)	33,8		37,0	
Durbin-Watson	2,137		2,143	
Jarque-Bera	4,800*	0,091	3,694	0,158
$ADF(\varepsilon_i)$	-5,993***	0,000	-5,894***	0,000

***, **, * lần lượt tương ứng với mức ý nghĩa 1 %, 5 % và 10 %

I: lượng phát thải CO₂ bình quân trên đầu người; P: tổng dân số; A: tổng thu nhập quốc nội bình quân trên đầu người; T: năng lượng tái tạo sử dụng bình quân trên đầu người.

Kết quả hồi quy trong Bảng 4 cho thấy, đối với mô hình tuyến tính, hệ số hồi quy của biến $\Delta \ln T$ mang dấu âm và có ý nghĩa thống kê với mức ý nghĩa 1 % ($-2,625$; $p < 0,01$), dẫn đến chấp nhận giả thuyết H₃, sử dụng năng lượng tái tạo có mối tương quan ngược chiều đến lượng phát thải CO₂. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu [8-10]. Kết quả hàm ý, Chính phủ đang dần từ bỏ chính sách tăng trưởng kinh tế cực đoan, gây ra những ngoại tác xấu đến môi trường, hệ sinh thái ở Việt Nam, để chuyển sang chính sách hướng đến phúc lợi xã hội hơn là thu nhập bình quân trên đầu người. Hơn hết đó là hướng đến một nền kinh tế tăng trưởng xanh, một gọi ý chính sách quan trọng cho tăng trưởng GDP.

Đối với mô hình phi tuyến, khi có sự hiện diện của biến $(\Delta \ln A)^2$, hệ số hồi quy của biến $\Delta \ln A$ mang dấu dương và có ý nghĩa thống kê với mức ý nghĩa 10 % ($0,578$; $p < 0,10$), và hệ số hồi quy của biến $(\Delta \ln A)^2$ mang dấu âm và có ý nghĩa thống kê với mức ý nghĩa 5 % ($-1,917$; $p < 0,05$). Kết quả này chấp nhận giả thuyết H₂, tồn tại mối quan hệ phi tuyến theo dạng chữ U ngược giữa tổng thu nhập quốc nội và lượng phát thải CO₂. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu [1], [5], và [11]. Ở mức thu nhập thấp, gia tăng thu nhập sẽ làm tăng lượng phát thải CO₂ và ô nhiễm môi trường. Khi thu nhập tăng đến một mức cao nhất định, lượng phát thải CO₂ và tình trạng ô nhiễm môi trường sẽ giảm. Bởi vì nhận thức các biện pháp bảo vệ môi trường nâng cao, người dân và chính phủ sẵn sàng dành nhiều nguồn lực để thực thi các quy định của các chính sách môi trường. Đây là lý do giải thích tại sao các đường cong EKC có dạng hình chữ U ngược.

Cũng trong Bảng 4, mặc dù hệ số hồi quy của biến $\Delta \ln A$ ($-0,028$; $p > 10\%$) mang dấu âm nhưng không

có ý nghĩa thống kê với mức ý nghĩa 10 %. Kết quả này cho thấy chưa tìm được ảnh hưởng tuyến tính của gia tăng dân số đến lượng phát thải CO₂, có thể ảnh hưởng của dân số đến phát thải CO₂ chịu ảnh hưởng bởi đặc điểm cơ cấu dân số, như tỷ lệ dân số trong độ tuổi lao động [7].

4 Kết luận và đề xuất

Vai trò của năng lượng tái tạo trong việc giảm phát thải và mối quan hệ phi tuyến giữa tăng trưởng kinh tế và CO₂, cơ chế hình thành đường cong EKC đã được chỉ ra trong điều kiện cụ thể của Việt Nam. Dựa trên kết quả nghiên cứu, một số định hướng chính sách trọng yếu nhằm giảm phát thải CO₂ và thúc đẩy tăng trưởng bền vững tại Việt Nam được đề xuất như sau. Trước tiên, Chính phủ cần định hướng phát triển nền kinh tế theo mô hình tăng trưởng xanh, không chỉ góp phần thúc đẩy GDP mà còn nâng cao chất lượng cuộc sống, kéo dài tuổi thọ, tối đa hóa phúc lợi xã hội và đảm bảo tăng trưởng bền vững. Song song với việc khai thác hợp lý các nguồn năng lượng trong nước, Việt Nam cần ưu tiên phát triển và sử dụng năng lượng tái tạo trong sản xuất và tiêu dùng, nhằm tiết kiệm tài nguyên thiên nhiên và bảo vệ môi trường sinh thái. Ngoài ra, các nhà hoạch định chính sách cần khuyến khích các doanh nghiệp công nghệ môi trường đóng vai trò thúc đẩy đổi mới sáng tạo, ứng dụng công nghệ sạch và sử dụng năng lượng hiệu quả. Cuối cùng, việc phát triển các đặc khu kinh tế xanh, tập trung vào sản xuất an toàn, ít phát thải CO₂ và sử dụng hiệu quả năng lượng, là giải pháp chiến lược phù hợp với định hướng phát triển bền vững tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

1. Aslam, B., Hu, J., Hafeez, M., Ma, D., AlGarni, T.S., Saeed, M., Abdullah, M.A. & Hussain, S. (2021). Applying environmental Kuznets curve framework to assess the nexus of industry, globalization, and CO₂ emission. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101377. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101377>
2. York, R., Rosa, E.A. & Dietz, T. (2003). STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. *Ecological Economics*, 46(3), 351-360. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)
3. Diartho, H.C. & Fardian, M.I. (2022). Anthropogenic Factor and Environmental Degradation in Indonesia (Empirical studies using the STIRPAT Model). *Technium Social Sciences Journal*, 32, 430-444. <https://doi.org/10.47577/tssj.v32i1.6677>

4. Pattak, D.C., Tahrim, F., Salehi, M., Voumik, L.C., Akter, S., Ridwan, M., Sadowska, B. & Zimon, G (2023). The Driving Factors of Italy's CO₂ Emissions Based on the STIRPAT Model: ARDL, FMOLS, DOLS, and CCR Approaches. *Energies*, 16(15), 5845. <https://doi.org/10.3390/en16155845>
5. Wang, Q., Wang, X., Li, R. & Jiang, X. (2024). Reinvestigating the environmental Kuznets curve (EKC) of carbon emissions and ecological footprint in 147 countries: a matter of trade protectionism. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 160 (2024). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-02639-9>
6. Shahbaz, M., Lean, H.H. & Shabbir, M.S. (2012). Environmental Kuznets Curve hypothesis in Pakistan: Cointegration and Granger causality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2947-2953. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.015>
7. Shahbaz, M., Loganathan, N., Muzaffar, A.T., Ahmed, K. & Jabran, M.A. (2016). How urbanization affects CO₂ emissions in Malaysia? The application of STIRPAT model. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.096>
8. Anwar, A., Sinha, A., Sharif, A., Siddique, M., Irshad, S., Anwar, W. & Malik, S. (2022). The nexus between urbanization, renewable energy consumption, financial development, and CO₂ emissions: evidence from selected Asian countries. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 6556-6576. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01716-2>
9. Sun, Y., Li, H., Andlib, Z. & Genie, M.G. (2022). How do renewable energy and urbanization cause carbon emissions? Evidence from advanced panel estimation techniques. *Renewable Energy*, 185, 996-1005. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.12.112>
10. Hussain, A., Khan, F. & Albalawi, O. (2024). Modeling and Monitoring CO₂ Emissions in G20 Countries: A Comparative Analysis of Multiple Statistical Models. *Sustainability*, 16(14), 6114. <https://doi.org/10.3390/su16146114>
11. Bui Minh, T., Nguyen Ngoc, T. & Bui Van, H. (2023). Relationship between carbon emissions, economic growth, renewable energy consumption, foreign direct investment, and urban population in Viet Nam. *Helilyon*, 9(2023), e17544. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17544>
12. Shi, A. (2003). The impact of population pressure on global carbon dioxide emissions, 1975-1996: evidence from pooled cross-country data. *Ecological Economics*, 44, 29-42. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00223-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00223-9)
13. Cole, M.A. & Neumayer, E. (2004). Examining the impact of demographic factors on air pollution. *Population and Environment*, 26(1), 5-21. <https://doi.org/10.1023/B:POEN.0000039950.85422.eb>
14. World Bank (2024). Social Sustainability Global Database. Truy cập vào ngày 24 tháng 12 năm 2024, tại https://data360.worldbank.org/en/indicator/WB_SSGD_CO2_EMISSIONS
15. Timilsina, G.R. & Shrestha, A. (2009). *Why Have CO₂ Emissions Increased in the Transport Sector in Asia? Underlying Factors and Policy Options*. US: World Bank.

Effects of population, economic growth, and renewable energy consumption on carbon emissions

Phan Bui Gia Thuy*, Nguyen Duy Tien, Duong Thuy Duy, Huynh Y Huynh, Thai Hong Thuy Khanh

Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Viet Nam

*pbgthuy@ntt.edu.vn

Abstract This study aims to measure the impact of factors such as population, gross domestic product (GDP), and renewable energy consumption on CO₂ emissions. Based on macroeconomic data from Viet Nam during the period of 1990-2022 and employing the STIRPAT model, results from the present study have shown that (i) renewable energy consumption, mainly hydropower, wind, and solar energy, plays a crucial role in significantly reducing CO₂ emissions, thereby contributing to the realization of sustainable economic development; and (ii) there is empirical evidence supporting the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis, indicating a diminishing marginal effect of income on emission levels. However, the study provides reassurance by not identifying any statistically significant linear relationship between the population and CO₂ emissions in the context of Viet Nam. Based on these findings, the study proposes two keys policy directions: (1) transitioning toward a green growth model centred on social welfare, and (2) developing green economic zones to promote the use of renewable energy, thereby fostering sustainable growth and mitigating environmental degradation.

Keywords Climate change; CO₂ emissions; economic growth; green growth; renewable energy

