

Ảnh hưởng của sử dụng năng lượng tái tạo đến giảm phát thải CO₂: Bằng chứng thực nghiệm tại các quốc gia Châu Á

Trần Trung Kiên, Đinh Phương Thảo, Vũ Chí Hiếu, Vũ Thị Thu Nguyệt,
Nguyễn Thị Thu Quỳnh, Đặng Vũ Phương Thảo
Học viện Ngân hàng, Việt Nam

Ngày nhận: 17/05/2025

Ngày nhận bản sửa: 27/06/2025

Ngày duyệt đăng: 03/07/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu này đánh giá tác động của sử dụng năng lượng tái tạo đến lượng phát thải CO₂ tại 47 quốc gia châu Á trong giai đoạn 2007- 2021, đồng thời phân tích vai trò của tăng trưởng kinh tế, FDI và đô thị hóa đối với phát thải CO₂. Sử dụng mô hình tác động ngẫu nhiên (REM), kết quả cho thấy tiêu dùng năng lượng tái tạo giúp giảm đáng kể lượng phát thải CO₂ trong khi tăng trưởng GDP, FDI và tỷ lệ dân số đô thị đều làm gia tăng phát thải. Điều này hàm ý rằng, bên cạnh việc thúc đẩy năng lượng sạch, các quốc gia châu Á cần kiểm soát chất lượng FDI, quy hoạch đô thị hợp lý và định hướng tăng

The impact of renewable energy use on CO₂ emissions reduction: Empirical evidence from Asian countries

Abstract: This study evaluates the impact of renewable energy consumption on CO₂ emissions in 47 Asian countries during the period 2007- 2021, while also analyzing the roles of economic growth, foreign direct investment (FDI), and urbanization in influencing CO₂ emissions. Using the Random Effects Model (REM), the results indicate that renewable energy consumption significantly reduces CO₂ emissions, whereas GDP growth, FDI, and the urban population rate all contribute to increasing emissions. These findings imply that, in addition to promoting clean energy, Asian countries should focus on improving the quality of FDI, implementing rational urban planning, and guiding economic growth toward sustainability. Based on these results, the study offers several policy recommendations for the region and for Vietnam in particular, such as formulating climate change response strategies, promoting sustainable agriculture, and more, with the aim of balancing economic development and environmental protection in the context of climate change.

Keywords: Renewable energy, CO₂ emissions, Sustainable development, REM, FGLS

Doi: 10.59276/JELB.2025.07CD.2970

Tran Trung Kien¹, Dinh Phuong Thao², Vu Chi Hieu³, Vu Thi Thu Nguyet⁴, Nguyen Thi Thu Quynh⁵, Dang Vu Phuong Thao⁶

Email: kientt@hvn.edu.vn¹, thaodp24.25@gmail.com², vuchihieu1665@gmail.com³, vunguyet.4869@gmail.com⁴, quynquynn2809@gmail.com⁵, thaodangphuong2004@gmail.com⁶

Organization of all: Banking Academy of Vietnam

trường theo hướng bền vững. Từ đó, nghiên cứu đề xuất một số khuyến nghị chính sách cho khu vực và riêng Việt Nam như: xây dựng chính sách ứng phó biến đổi khí hậu, phát triển nông nghiệp bền vững,... nhằm cân bằng giữa phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

Từ khóa: Năng lượng tái tạo, Phát thải CO₂, Phát triển bền vững, REM, FGLS

1. Giới thiệu

Trước những tác động ngày càng nghiêm trọng của biến đổi khí hậu đối với phát triển bền vững toàn cầu, nhu cầu cắt giảm khí nhà kính, đặc biệt là CO₂, đã trở thành ưu tiên cấp thiết trong các chiến lược phát triển hiện nay (IPCC, 2023). Trong đó, chuyển đổi sang sử dụng năng lượng tái tạo được xem là một trong những giải pháp trọng tâm và liên tục được nhấn mạnh trong nhiều cam kết quốc tế như Thỏa thuận Paris (UNFCCC, 2015). So với các nguồn năng lượng hóa thạch, năng lượng tái tạo chỉ tạo ra lượng phát thải rất thấp, nhờ vậy có thể cắt giảm đáng kể lượng khí nhà kính trong dài hạn (IRENA, 2022).

Tại khu vực châu Á- nơi có dân số đông, tốc độ đô thị hóa và công nghiệp hóa nhanh, nhu cầu năng lượng tăng mạnh qua các thập kỷ làm cho lượng phát thải CO₂ tăng đáng kể (IEA, 2023). Nhiều quốc gia châu Á, đặc biệt là các nền kinh tế mới nổi, vẫn phụ thuộc phần lớn vào than đá và các nguồn năng lượng hóa thạch (ADB, 2021). Mặc dù đã có những bước tiến nhất định trong việc phát triển năng lượng tái tạo, song tốc độ chuyển đổi vẫn còn chậm và không đồng đều giữa các nước (REN21, 2023).

Nhiều nghiên cứu quốc tế đã khám phá mối quan hệ giữa tăng trưởng kinh tế, năng lượng tái tạo và phát thải CO₂. Trong đó, năng lượng tái tạo được xem như một yếu tố có thể làm suy yếu tác động tiêu cực của tăng trưởng kinh tế đến môi trường.

Sarkodie và Strezov (2018) cho rằng năng lượng tái tạo không chỉ giúp giảm phát thải mà còn hỗ trợ phát triển bền vững. Đặc biệt, Destek và Sinha (2020) khẳng định năng lượng tái tạo đóng vai trò điều tiết hiệu quả giữa tăng trưởng kinh tế và dấu chân sinh thái, từ đó làm giảm phát thải CO₂ trong dài hạn.

Khoảng trống nghiên cứu hiện nay nằm ở việc thiếu các nghiên cứu định lượng xem xét vai trò điều tiết đồng thời của năng lượng tái tạo, GDP, FDI, tỷ lệ dân số đô thị đối với phát thải CO₂, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển như Việt Nam. Nghiên cứu này nhằm lấp đầy khoảng trống đó bằng cách áp dụng mô hình hồi quy để xem xét mức độ ảnh hưởng của các yếu tố trên lên phát thải CO₂. Tính mới của nghiên cứu thể hiện ở việc kết hợp các yếu tố là GDP, FDI, tỷ lệ dân số đô thị, năng lượng tái tạo, phát thải CO₂ trong cùng một khung phân tích, từ đó cung cấp gợi ý chính sách thiết thực nhằm hỗ trợ Việt Nam phát triển bền vững trong bối cảnh toàn cầu hóa và biến đổi khí hậu.

Nhóm tác giả sử dụng phương pháp định lượng với mô hình hồi quy hiệu ứng ngẫu nhiên đánh giá mối quan hệ giữa tiêu thụ năng lượng tái tạo và phát thải CO₂, đồng thời phân tích vai trò điều tiết của tăng trưởng kinh tế. Dữ liệu thứ cấp được thu thập từ 47 quốc gia đang phát triển giai đoạn 1997- 2021. Bài viết gồm 5 nội dung chính: Giới thiệu; Cơ sở lý thuyết và Tổng quan nghiên cứu; Phương pháp nghiên cứu; Kết quả nghiên cứu và thảo luận; Kết

luận và một số khuyến nghị.

2. Cơ sở lý thuyết và tổng quan nghiên cứu

2.1. Phát thải CO₂ và các nhân tố ảnh hưởng đến phát thải CO₂

Khái niệm: Theo Ecolife (2011), phát thải carbon là quá trình giải phóng các hợp chất carbon như CO₂ và CH₄ vào khí quyển, các khí này giữ nhiệt và góp phần gây nóng lên toàn cầu. Theo Constellation (n.d.), CO₂ được tạo ra chủ yếu từ việc đốt cháy nhiên liệu carbon như xăng, than và gỗ, bên cạnh một phần nhỏ từ hô hấp và phân hủy chất hữu cơ.

Như vậy, phát thải CO₂ là việc giải phóng khí CO₂ vào khí quyển, chủ yếu từ các hoạt động của con người như đốt nhiên liệu hóa thạch trong sản xuất năng lượng, giao thông vận tải và các quá trình công nghiệp. CO₂ là một khí nhà kính chính, góp phần gây ra hiệu ứng nhà kính và biến đổi khí hậu toàn cầu.

Các nhân tố ảnh hưởng đến phát thải CO₂
Tăng trưởng kinh tế có ảnh hưởng rõ rệt đến phát thải CO₂, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển, khi GDP tăng thường kéo theo mở rộng sản xuất, tiêu thụ năng lượng và xây dựng cơ sở hạ tầng. Tuy nhiên, theo Awais và cộng sự (2024), mối quan hệ này có thể đảo chiều khi nền kinh tế đạt trình độ phát triển cao hơn. FDI tác động hai chiều: có thể giúp giảm phát thải nhờ chuyển giao công nghệ sạch, nhưng cũng có thể làm tăng phát thải nếu tập trung vào ngành công nghiệp nặng (Bilalli và cộng sự, 2024). Năng lượng tái tạo, như điện mặt trời, gió, thủy điện, đóng vai trò quan trọng trong giảm phát thải toàn cầu, đặc biệt trong sản xuất điện- lĩnh vực chiếm hơn 40% tổng lượng CO₂ (IEA, 2023). Busu và Nedelcu (2021) cho thấy gia tăng năng

lượng tái tạo tại EU góp phần giảm đáng kể phát thải. Đô thị hóa cũng làm gia tăng phát thải CO₂ thông qua nhu cầu năng lượng cao hơn cho giao thông, nhà ở và hạ tầng; Busu và Nedelcu (2021) khẳng định mức độ đô thị hóa cao đồng nghĩa với áp lực lớn hơn lên môi trường ở các quốc gia đang phát triển.

2.2. Năng lượng tái tạo và tác động đến mức phát thải CO₂

Khái niệm: Năng lượng tái tạo là nguồn năng lượng được khai thác từ các quá trình tự nhiên có khả năng tái sinh liên tục trong thời gian ngắn, bao gồm năng lượng mặt trời, gió, thủy điện và địa nhiệt. Khác với nhiên liệu hóa thạch (than đá, dầu mỏ), năng lượng tái tạo không gây cạn kiệt tài nguyên và hạn chế phát thải khí nhà kính, đặc biệt là CO₂- một trong các tác nhân chính dẫn đến biến đổi khí hậu (REN21, 2021).

Cơ chế giảm phát thải của năng lượng tái tạo: Năng lượng tái tạo như điện mặt trời, gió và thủy điện không phát thải CO₂ trong quá trình vận hành, giúp giảm phát thải so với điện than hoặc khí tự nhiên. Theo IRENA (2020), mỗi MWh điện tái tạo có thể thay thế điện than và tránh phát thải hàng trăm kg CO₂. Tác động này không chỉ giới hạn trong sản xuất điện mà còn lan tỏa đến lĩnh vực tiêu dùng cuối. Ngoài ra, năng lượng tái tạo còn hỗ trợ cơ chế giảm phát thải gián tiếp nhờ các công nghệ như lưới điện thông minh, lưu trữ năng lượng và hệ thống phân tán, giúp tối ưu hóa hiệu quả sử dụng điện. Smith và cộng sự (2015) cũng nhấn mạnh tiềm năng phát thải âm từ năng lượng sinh học là yếu tố then chốt để đạt mục tiêu trung hòa carbon vào giữa thế kỷ 21.

2.3. Tổng quan nghiên cứu về mối quan hệ giữa RNE và CO₂

Mặc dù nhiều nghiên cứu trước đây đã chứng minh mối quan hệ tiêu cực giữa sử dụng năng lượng tái tạo và phát thải CO₂ trên toàn cầu và tại các khu vực như OECD, EU (Sarkodie & Strezov, 2018; Bilgili và cộng sự, 2016; Busu & Nedelcu, 2021), và một số nghiên cứu gần đây tại châu Á cũng bắt đầu xem xét vai trò của năng lượng tái tạo trong bối cảnh tăng trưởng kinh tế và đô thị hóa (Khan, 2023; Li và cộng sự, 2024; Vo và cộng sự, 2023), tuy nhiên vẫn còn thiếu các nghiên cứu tổng hợp đánh giá đồng thời tác động của năng lượng tái tạo, GDP, FDI và đô thị hóa đến phát thải CO₂ tại các quốc gia châu Á- khu vực đang đổi mới với áp lực phát triển nhanh, tiêu thụ năng lượng lớn và gia tăng phát thải. Do đó, nghiên cứu này nhằm làm rõ tác động đồng thời của các yếu tố trên đến lượng phát thải CO₂ tại 47 quốc gia châu Á trong giai đoạn 2007- 2021 với các giả thuyết được xây dựng như sau:

H₁: Sử dụng năng lượng tái tạo giúp giảm phát thải cacbon

Nhiều nghiên cứu trước đây cho thấy năng lượng tái tạo đóng vai trò thiết yếu trong việc giảm phát thải CO₂. Bilgili và cộng sự (2016) phát hiện rằng việc chuyển sang năng lượng tái tạo giúp giảm CO₂ tại 17 quốc gia OECD. Khan (2023); Li và cộng sự (2024) cũng nhấn mạnh vai trò của năng lượng tái tạo trong việc cải thiện chất lượng môi trường tại các nền kinh tế mới nổi như BRICS. Theo IEA (2023), nhờ tăng cường sử dụng năng lượng tái tạo trong lĩnh vực điện lực, các nền kinh tế phát triển đã giảm phát thải dù GDP tiếp tục tăng.

H₂: Tăng trưởng kinh tế làm tăng phát thải CO₂

Tăng trưởng kinh tế, đặc biệt ở giai đoạn đầu phát triển, thường đi kèm với gia tăng phát thải. Mahmood (2022) chỉ ra mối liên hệ tiêu cực giữa tăng trưởng và môi trường tại Mỹ Latinh. Aluwani (2023) nhận định

ngành nông nghiệp tại Nam Phi góp phần đáng kể vào phát thải khí nhà kính. Tại ASEAN, Feriansyah và cộng sự (2022) ghi nhận tăng trưởng kinh tế làm tăng phát thải CO₂ cả ngắn và dài hạn. Tại Trung Quốc, Chang và cộng sự (2025) cho thấy mỗi 1% GDP tăng làm phát thải CO₂ tăng 1,6%. Tương tự, Shaikh và cộng sự (2024) nhấn mạnh vai trò của tăng trưởng, thương mại và FDI trong làm gia tăng khí thải.

H₃: Tăng trưởng đầu tư nước ngoài FDI làm tăng phát thải CO₂

FDI có thể làm tăng hoặc giảm phát thải tùy vào định hướng công nghệ và chính sách. Avazdahandeh (2024), Gök và cộng sự (2024), Liu và cộng sự (2023) cho rằng FDI vào ngành công nghiệp nặng làm tăng CO₂. Ngược lại, Kharb và cộng sự (2024) nhận thấy FDI có thể góp phần giảm phát thải nếu đi kèm chuyển giao công nghệ sạch.

H₄: Sự gia tăng tỷ lệ dân số đô thị làm tăng lượng phát thải CO₂

Đô thị hóa cũng là yếu tố thúc đẩy đáng kể lên phát thải. IPCC (2014) và World Bank (2023) cảnh báo rằng đô thị hóa không kiểm soát dẫn đến tăng nhanh nhu cầu năng lượng. Su và cộng sự (2019), Feriansyah và cộng sự (2023), Vo (2023), cùng Zhang và Lin (2018) đều ghi nhận mối quan hệ tích cực và dài hạn giữa tỷ lệ dân số đô thị và lượng phát thải CO₂, đặc biệt tại Châu Á.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Mô hình nghiên cứu thực chứng

Nhóm tác giả sử dụng mô hình hồi quy dữ liệu bảng tĩnh (1) để phân tích tác động của việc sử dụng năng lượng tái tạo đến phát thải CO₂. Việc lựa chọn mô hình hồi quy dữ liệu bảng tĩnh dựa trên cơ sở lý thuyết về mối quan hệ giữa tăng trưởng kinh tế, năng lượng và môi trường, đồng thời kế

thừa phương pháp từ các nghiên cứu trước. Busu và Nedelcu (2021); Bilalli và cộng sự (2024) đều sử dụng mô hình dữ liệu bảng để phân tích tác động của năng lượng tái tạo đến phát thải CO₂, có thêm các yếu tố kiểm soát khác. Mô hình này giúp đo lường tác động của năng lượng tái tạo đến lượng phát thải CO₂, đồng thời kiểm soát các yếu tố kinh tế- xã hội ảnh hưởng đến mối quan hệ này, sử dụng dữ liệu từ nhiều quốc gia tại châu Á trong giai đoạn 2007- 2021. Từ phương pháp nghiên cứu và dữ liệu nêu trên, mô hình nghiên cứu được xây dựng như sau:

$$CO2 = + RNE_{it} + GDP_{it} + UPOP_{it} + FDI_{it} + u_i + e_{it} \quad (1)$$

Trong đó: CO₂ là biến đại diện cho lượng phát thải CO₂ bình quân đầu người. Các biến tác động đến lượng phát thải CO₂ bình quân đầu người mà nhóm nghiên cứu sẽ bao gồm: RNE là tiêu thụ năng lượng tái tạo; các yếu tố vĩ mô như tăng trưởng kinh tế (GDP), mật độ dân số đô thị (POP), tăng trưởng FDI (FDI). Các chỉ số dưới như i sẽ là biểu thị cho các nước trong nhóm 47 nước tại châu Á mà nhóm tác giả nghiên cứu và t là biểu thị cho năm trong giai

đoạn 2007- 2021. Bảng 1 trình bày chi tiết các biến nghiên cứu, thang đo tương ứng và cơ sở lý thuyết làm căn cứ lựa chọn các biến.

3.2. Mẫu nghiên cứu, nguồn dữ liệu và phương pháp phân tích dữ liệu

Dữ liệu nghiên cứu gồm phát thải CO₂, tỷ lệ tiêu thụ năng lượng tái tạo và các biến kinh tế vĩ mô kiểm soát, được thu thập từ cơ sở dữ liệu WDI của Ngân hàng Thế giới. Sau khi xử lý dữ liệu thiếu, mẫu gồm 705 quan sát tại 47 quốc gia châu Á giai đoạn 2007- 2021. Danh sách 47 quốc gia đang phát triển (IMF, 2018) bao gồm: Afghanistan, Armenia, Azerbaijan, Bahrain, Bangladesh, Bhutan, Brunei, Cambodia, China, Cyprus, Georgia, Hong Kong (SAR, China), India, Indonesia, Iran, Iraq, Israel, Japan, Jordan, Kazakhstan, Korea (Republic of), Kuwait, Kyrgyzstan, Lao PDR, Lebanon, Macao (SAR, China), Malaysia, Maldives, Mongolia, Myanmar, Nepal, Oman, Pakistan, Philippines, Qatar, Russian Federation, Saudi Arabia, Singapore, Sri Lanka, Tajikistan, Thailand, Timor-Leste, Turkmenistan, Türkiye,

Bảng 1. Diễn giải các biến trong mô hình nghiên cứu

Biến	Tên biến	Ký hiệu	Đơn vị	Cách thức đo lường	Nguồn đề xuất biến
Biến phụ thuộc	Lượng phát thải CO ₂ bình quân đầu người	CO ₂	tấn/người/năm	Đo lường lượng khí CO ₂ phát thải trung bình trên mỗi người trong một quốc gia, loại trừ ảnh hưởng từ thay đổi sử dụng đất	Gierałtowska và cộng sự (2022); Rehman và cộng sự (2022)
Biến độc lập	Tiêu thụ năng lượng tái tạo	RNE	% tổng tiêu thụ năng lượng cuối cùng	Đo lường tỷ lệ năng lượng tái tạo trong tổng tiêu thụ năng lượng cuối cùng của quốc gia	Jebli và cộng sự (2020); Zoundi (2017)
	Mật độ dân số đô thị	UPOP	% tổng dân số	Tính theo tỷ lệ dân số đô thị trên tổng dân số.	Bui và cộng sự (2023); Grodzicki và Jankiewicz (2022)
Biến kiểm soát	Tăng trưởng FDI	FDI	%	Tính bằng tỷ lệ tăng trưởng dòng vốn đầu tư nước ngoài qua các năm.	Abdelgany và Gad-Elhak (2022); Liu và cộng sự (2023)
	Tăng trưởng GDP	GDP	%	Tính bằng tỷ lệ tăng trưởng GDP qua các năm, đã điều chỉnh theo lạm phát.	Singh (2024); Androniceanu và Georgescu (2023)

Nguồn: Nhóm tác giả tự tổng hợp

Bảng 2. Thống kê mô tả

Biến số	Số quan sát	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Min	Max
CO2	705	7,46	9,06	0,08	53,60
RNE	705	18,84	23,81	0	92,00
GDP	705	4,30	5,82	-54,34	37,51
UPOP	705	60,26	25,55	15,78	100,00
FDI	705	7,30	31,32	-296,01	431,79

Nguồn: Số liệu tính toán nội bộ của nhóm tác giả

United Arab Emirates, Uzbekistan, Viet Nam. Các quốc gia Châu Á được lựa chọn do là khu vực công nghiệp hóa nhanh, phát thải CO₂ cao và đang đẩy mạnh chuyển dịch sang năng lượng tái tạo. Giai đoạn nghiên cứu bao hàm nhiều biến động quan trọng về chính sách năng lượng và khí hậu, cũng như các cú sốc kinh tế như khủng hoảng tài chính 2008 và đại dịch COVID-19, có thể ảnh hưởng đến mối quan hệ giữa năng lượng tái tạo và phát thải CO₂.

Nhóm sử dụng phần mềm R (phiên bản 4.4.1) để thực hiện hồi quy dữ liệu bảng, kiểm định Hausman, F và Breusch-Pagan LM được áp dụng để lựa chọn mô hình phù hợp. Các khuyết tật như tương quan chuỗi và phương sai sai số ngẫu nhiên thay đổi được kiểm định và khắc phục bằng phương pháp FLGS.

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

4.1. Thống kê mô tả và ma trận tương quan

Phân tích thống kê mô tả được thực hiện để tổng hợp dữ liệu của tất cả 6 biến nghiên cứu, bao gồm CO₂, RNE, GDP, UPOP, FDI thu thập từ 705 quan sát được trình bày trong Bảng 2:

Biến phụ thuộc CO₂ có giá trị trung bình 7,46 và độ lệch chuẩn 9,06, phản ánh sự chênh lệch lớn giữa các quốc gia. Năng lượng tái tạo trung bình chiếm 18,84% với độ lệch chuẩn 23,81. Tăng trưởng kinh tế có mức trung bình 4,30%, dao động mạnh từ -53,34% đến 37,51%. Mật độ dân số trung bình là 60,26 người/km². FDI trung bình đạt 7,30%, với độ lệch chuẩn cao (31,32), cho thấy sự khác biệt lớn về thu hút đầu tư giữa các nước.

4.2. Kết quả nghiên cứu hồi quy

Bảng 3. Ma trận tương quan giữa các biến

Biến số	CO2	GDP	RNE	UPOP	FDI
CO2	1				
GDP	-0.08**	1			
RNE	-0.51***	0.13***	1		
UPOP	0.62***	-0.21***	-0.74***	1	
FDI	-0,03	0,00	-0.07*	0.07*	1

Nguồn: Số liệu tính toán nội bộ của nhóm tác giả

Hệ số tương quan Pearson được tính từ dữ liệu gốc. Mức ý nghĩa thống kê (*p*-value) đi kèm được ước lượng bằng hàm *pcorr()* trong R. Dấu *, **, *** lần lượt tương ứng với mức ý nghĩa 10%, 5% và 1%.

Bảng 4. Kết quả mô hình

	Hệ số ước lượng	Độ lệch chuẩn của hệ số ước lượng	Giá trị kiểm định z	Giá trị p
RNE	-0,03821	0,00645	-5,9254	3,115 x 10 ⁻⁹ ***
GDP	0,00568	0,00186	3,0629	0,00219 **
UPOP	0,05183	0,02487	2,0843	0,03713 *
FDI	0,00068	0,00033	2,0721	0,03825 *

Signif. codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Total Sum of Squares: 57.735

Ghi chú: *** có ý nghĩa ở mức 0,1%; ** có ý nghĩa ở mức 1%; * có ý nghĩa ở mức 5%

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả với sự hỗ trợ của RStudio

Nghiên cứu đã tiến hành một loạt kiểm định nhằm lựa chọn mô hình hồi quy dữ liệu bảng tối ưu và đảm bảo các giả định của mô hình được thỏa mãn. Kết quả kiểm định F cho thấy p-value < $2,2 \times 10^{-16}$, bác bỏ giả thuyết H₀ về sự đồng nhất giữa các hệ số chặn, từ đó mô hình hiệu ứng cố định được đề xuất thay cho Pooled OLS. Tuy nhiên, kiểm định Hausman (p-value = 0,06858) lại không bác bỏ giả thuyết H₀, cho thấy không có sự tương quan đáng kể giữa sai số và các biến giải thích, dẫn đến việc lựa chọn mô hình hiệu ứng ngẫu nhiên (REM) là phù hợp nhất cho phân tích cuối cùng. Ngoài ra, kiểm định Breusch–Godfrey và Breusch–Pagan lần lượt cho thấy mô hình tồn tại hiện tượng tự tương quan và phương sai sai số thay đổi, với p-value < $2,2 \times 10^{-16}$ ở cả hai kiểm định. Để khắc phục các vấn đề này, nghiên cứu sử dụng phương pháp FGLS giúp mô hình hóa chính xác hơn các cấu trúc dữ liệu phức tạp, từ đó nâng cao tính tin cậy và chính xác của ước lượng trong mô hình hồi quy dữ liệu chéo, kết quả mô hình được thể hiện tại Bảng 4.

4.3. Thảo luận kết quả nghiên cứu

H₁: Sử dụng năng lượng tái tạo giúp giảm phát thải cacbon

Theo giả thuyết 1, nhóm tác giả đã dự đoán

năng lượng tái tạo sẽ làm cản trở tốc độ phát thải cacbon hay nói cách khác khi tỷ lệ sử dụng năng lượng tái tạo tăng lên, lượng phát thải CO₂ giảm xuống. Kết quả ở Bảng 4 đã thể hiện rõ ràng mối quan hệ đó với $= -0,03821 < 0$ và độ chính xác hơn 99% (P-value < $3,115 \times 10^{-9} < 0,05$). Có thể kết luận rằng khi năng lượng tái tạo tăng 1% thì tốc độ phát thải cacbon giảm xấp xỉ 3,8%.

Kết quả của nghiên cứu đúng tương tự như một số nghiên cứu trước đây như là của Bilgili và cộng sự (2016) nghiên cứu tại 17 quốc gia OECD hay là các nghiên cứu sâu rộng về nền kinh tế BRICS của Khan (2023) được chứng minh trong mục xây dựng giả thuyết nêu trên. Cụ thể, sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo dẫn đến làm giảm lượng phát thải CO₂, góp phần bảo vệ môi trường và chống biến đổi khí hậu. Việc thay thế năng lượng hóa thạch bằng năng lượng tái tạo giúp giảm đáng kể lượng khí thải CO₂, từ đó làm chậm quá trình nóng lên toàn cầu và giảm thiểu các hiện tượng thời tiết cực đoan.

H₂: Tăng trưởng kinh tế làm tăng phát thải CO₂

Theo giả thuyết H₂, nhóm nghiên cứu dự đoán tăng trưởng kinh tế làm tăng phát thải CO₂. Kết quả mô hình REM cũng cho thấy mối quan hệ cùng chiều giữa GDP và

lượng phát thải CO₂, với hệ số 0,00568 > 0 và có ý nghĩa thống kê P-value = 0,00219 (< 0,05). Ta có thể kết luận, khi tăng trưởng kinh tế GDP tăng 1 đơn vị thì lượng phát thải CO₂ tăng khoảng 0,00568 đơn vị. Kết quả này phù hợp với lý thuyết Đường cong Môi trường (EKC) ở giai đoạn đầu, khi tăng trưởng kinh tế chủ yếu dựa vào công nghiệp hoá và khai thác tài nguyên dẫn đến phát thải CO₂.

Kết quả của nghiên cứu tương tự như một số nghiên cứu trước đây như nghiên cứu của Chang và cộng sự (2025) ở Trung Quốc hay nghiên cứu của Shaikh và cộng sự (2024) tại các nước Nam Á, củng cố quan điểm rằng tăng trưởng kinh tế nếu không đi kèm với cải cách chính sách về môi trường sẽ tiếp tục là động lực chính làm gia tăng phát thải khí CO₂, đặc biệt tại các nước châu Á- nơi có nhiều nước có quá trình công nghiệp hoá diễn ra nhanh và sử dụng nhiều nguồn nhiên liệu hoá thạch.

H₃: Tăng trưởng đầu tư nước ngoài FDI làm tăng phát thải CO₂

Theo giả thuyết H₃, nhóm nghiên cứu kỳ vọng rằng đầu tư trực tiếp nước ngoài sẽ góp phần làm gia tăng lượng phát thải CO₂ tại các quốc gia đang phát triển. Kết quả từ mô hình REM đã chứng minh mối quan hệ cùng chiều giữa FDI và lượng phát thải CO₂, với hệ số hồi quy là 0,00068 > 0 và có ý nghĩa thống kê ở mức 5% (P-value = 0,03825 < 0,05). Điều này cho thấy rằng, khi FDI tăng thêm 1 đơn vị, lượng phát thải CO₂ tăng khoảng 0,00068 đơn vị.

Kết quả nghiên cứu này phù hợp với lý thuyết “thiên đường ô nhiễm”, theo đó, các công ty đa quốc gia có xu hướng chuyển dịch sản xuất sang các quốc gia đang phát triển nơi có tiêu chuẩn môi trường lỏng lẻo hơn, từ đó dẫn đến sự gia tăng ô nhiễm tại các quốc gia tiếp nhận vốn FDI. Điều này đặc biệt đúng với các quốc gia châu Á, nơi FDI chủ yếu tập trung vào các ngành

công nghiệp chế biến- chế tạo có mức tiêu thụ năng lượng lớn và phát thải CO₂ cao. Ngoài ra, kết quả cũng tương đồng với các nghiên cứu trước như của Zhang và cộng sự (2023) tại khu vực Đông Nam Á, cho thấy FDI, nếu không được kiểm soát bằng các quy định môi trường nghiêm ngặt, có thể góp phần đáng kể vào việc làm trầm trọng thêm tình trạng ô nhiễm không khí và biến đổi khí hậu.

H₄: Sự gia tăng tỷ lệ dân số đô thị làm tăng lượng phát thải CO₂

Phân tích từ mô hình REM trong nghiên cứu này xác nhận giả thuyết H₄ khi cho thấy mối quan hệ tích cực và có ý nghĩa thống kê giữa tỷ lệ dân số đô thị và phát thải CO₂ tại 47 quốc gia châu Á giai đoạn 2007- 2021. Cụ thể, hệ số hồi quy của biến UPOP đạt 0,05183 (p-value = 0,03713*), chỉ ra rằng mỗi 1% gia tăng tỷ lệ dân số đô thị sẽ làm tăng khoảng 5,18% lượng phát thải CO₂ bình quân đầu người. Hệ số dương và có ý nghĩa cao này khẳng định mối quan hệ tích cực giữa đô thị hóa và phát thải CO₂, phù hợp với các cơ chế lý thuyết đã đề cập, như: gia tăng nhu cầu năng lượng trong giao thông và xây dựng (IPCC, 2014), tiêu dùng năng lượng cao hơn ở khu vực đô thị (WRI, 2020), và hệ thống cơ sở hạ tầng chưa hiệu quả tại nhiều thành phố châu Á (IEA, 2022).

Kết quả này nhất quán với nghiên cứu thực nghiệm của Zhang và Lin (2018), cho thấy mối tương quan dương có ý nghĩa giữa tốc độ đô thị hóa và tăng trưởng phát thải CO₂ tại 15 quốc gia Đông Nam Á, đặc biệt trong bối cảnh đô thị hóa thiếu gắn kết với quy hoạch năng lượng sạch.

5. Kết luận và một số khuyến nghị

5.1. Tổng kết và khuyến nghị chính sách

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu bảng từ 47

quốc gia châu Á giai đoạn 2007- 2021 để phân tích mối quan hệ giữa phát thải CO₂ và các yếu tố GDP, UPOP, FDI và RNE. Trên cơ sở các kết quả thực nghiệm, nghiên cứu đề xuất một số khuyến nghị chính sách như sau:

Đối với các quốc gia Châu Á: kết quả nghiên cứu cho thấy sử dụng năng lượng tái tạo giúp giảm phát thải CO₂ (H1 được xác nhận), các quốc gia châu Á cần ưu tiên mở rộng tỷ trọng năng lượng tái tạo trong cơ cấu tiêu dùng quốc gia. Điều này đòi hỏi sự hỗ trợ chính sách thông qua cơ chế giá điện hấp dẫn, khuyến khích đầu tư tư nhân, và tăng cường hạ tầng tích hợp như lưới điện thông minh và lưu trữ năng lượng.

Với việc tăng trưởng GDP, FDI và tỷ lệ dân số đô thị đều góp phần làm gia tăng phát thải CO₂ (các giả thuyết H2, H3, H4 được xác nhận), cần điều chỉnh chiến lược phát triển theo hướng bền vững. Cụ thể, tăng trưởng kinh tế cần đi kèm kiểm soát ô nhiễm và đầu tư công nghệ sạch. FDI cần được chọn lọc, ưu tiên các dự án sử dụng công nghệ tiết kiệm năng lượng và phát thải thấp. Đồng thời, quá trình đô thị hóa cần gắn với quy hoạch xanh, mở rộng giao thông công cộng và xây dựng tiêu chuẩn tiết kiệm năng lượng trong hạ tầng đô thị.

Đối với Việt Nam: cần khẩn trương hoàn thiện khung pháp lý hỗ trợ năng lượng tái tạo, kiểm soát chặt FDI vào các ngành công nghiệp nặng, đồng thời tích hợp chính sách phát triển đô thị với mục tiêu giảm phát thải từ đó tiến tới mục tiêu trung hòa carbon vào năm 2050.

5.2. Hạn chế và đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo

Nghiên cứu còn một số hạn chế. Thứ nhất, mô hình chưa kiểm soát đầy đủ các yếu tố ngoại lai như biến đổi khí hậu hay thay đổi chính sách năng lượng. Thứ hai, phạm vi chỉ giới hạn ở châu Á nên khó khái quát cho toàn cầu. Ngoài ra, sự khác biệt trong định nghĩa năng lượng tái tạo giữa các quốc gia và việc chưa xét đến các yếu tố chính trị- xã hội đặc thù có thể ảnh hưởng đến kết luận. Nghiên cứu cũng chưa phân tích sự khác biệt giữa nhóm nước phát triển nhanh và chậm trong khu vực. Trong tương lai, cần mở rộng theo hướng: (1) phân tích vai trò của thể chế và chính sách; (2) tích hợp đổi mới công nghệ và lưu trữ năng lượng; (3) kết hợp định tính để làm rõ các rào cản và hỗ trợ hoạch định chính sách hiệu quả hơn.■

Tài liệu tham khảo

- Abdelgany, M. F., & Gad-Elhak, A. G. M. Effect of FDI on CO₂ Emissions: Panel Study from Developing Countries. *International Journal of Economy, Energy and Environment*, 7(4), 84–91.
- ADB. (2021). *Asia's Energy Transition: Pathways for Low-Carbon Development*. Asian Development Bank.
- Aluwani, T. (2023). Agricultural economic growth, renewable energy supply and CO₂ emissions Nexus. *Economies*, 11(3), 1–24. https://econpapers.repec.org/article/gamjecom/v_3a11_3ay_3a2023_3ai_3a3_3ap_3a85-3ad_3a1090069.htm
- Androniceanu, A., & Georgescu, I. (2023). The impact of CO₂ emissions and energy consumption on economic growth: A panel data analysis. *Energies*, 16(3), 1342. <https://doi.org/10.3390/en16031342>
- Avazdahandeh, S. (2024). A new look at the CO₂ haven hypothesis using gravity model: European Union and China. *Scientific Reports*, 14, 69611. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69611-0>
- Awais, M., Akram, S., & Safdar, H. (2024). Exploring the relationship between CO₂ emission, economic growth, and energy consumption at aggregate level: A panel data analysis. *Journal of Economic Impact*, 6(3), 218–225. <https://ideas.repec.org/a/adx/journl/v6y2024i3p218-225.html>
- Ben Jebli, M., Farhani, S., & Guesmi, K. (2020). Renewable energy, CO₂ emissions and value added: Empirical evidence from countries with different income levels. *Structural Change and Economic Dynamics*, 53, 402–410. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.12.009>

- Bilalli, A., Gollopeni, K. S., Beka, A., & Gara, A. (2024). The Relationship Between Renewable Energy Consumption, Carbon Dioxide Emissions, Economic Growth, and Foreign Direct Investment: Evidence from Developed European Countries. *International Journal of Sustainable Development & Planning*, 19(1). <https://doi.org/10.18280/ijstdp.190136>
- Bilgili, F., Koçak, E., & Bulut, Ü. (2016). The dynamic impact of renewable energy consumption on CO₂ emissions: a revisited Environmental Kuznets Curve approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 838-845. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>
- Bui, M. T., Nguyen, N. T., & Bui, V. H. (2023). Relationship between carbon emissions, economic growth, renewable energy consumption, foreign direct investment, and urban population in Vietnam. *Heliyon*, 9(6), e17544. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17544>
- Busu, M., & Nedelcu, A. C. (2021). Analyzing the renewable energy and CO₂ emission levels nexus at an EU level: A panel data regression approach. *Processes*, 9(1), 130. <https://doi.org/10.3390/pr9010130>
- Chang, L., Shan, Y., Tan, N., & Yang, Z. (2025). Economic growth targets and carbon emissions: Evidence from 278 cities in China. *Asian Economic Journal*. <https://doi.org/10.1111/asej.12342>
- Constellation. (n.d.). What Are Carbon Emissions & Why Do They Matter?. <https://www.constellation.com/energy-101/energy-innovation/what-are-carbon-emissions.html>
- Destek, M. A., & Sinha, A. (2020). Renewable, non-renewable energy consumption, economic growth, trade openness and ecological footprint: Evidence from Organisation for Economic Co-operation and Development countries. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118537>
- Ecolife. (2011). "Meaning of Carbon Emission". <https://www.ecolife.com/dictionary/carbon-emission>
- Faik Bilgili, Emrah Koçak, Ümit Bulut. (2016). The dynamic impact of renewable energy consumption on CO₂ emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 838-845. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>
- Feriansyah, F., Nugroho, H., Larre, A. A., Septiavin, Q., & Nisa, C. K. (2023). Economic Growth and CO₂ Emission in ASEAN: Panel-ARDL approach. *Economics and Finance in Indonesia*, 69(1), 102–113. <https://doi.org/10.47291/efi.2022.04>
- Gierałtowska, U., Asyngier, R., & Salahodjaev, R. (2022). Renewable energy, urbanization, and CO₂ emissions: A global test. *Energies*, 15(9), 3390. <https://doi.org/10.3390/en15093390>
- Gök, A., Ashraf, A., & Jasinska, E. (2024). The role of carbon emissions on inward foreign direct investment: A nonlinear dynamic panel data analysis. *Sustainability*, 16(13), 5550. <https://doi.org/10.3390/su16135550>
- Grodzicki, T., & Jankiewicz, M. (2022). The impact of renewable energy and urbanization on CO₂ emissions in Europe: Spatiotemporal approach. *Environmental Development*, 44, 100755. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2022.100755>
- IEA. (2023). *World Energy Outlook 2023*. International Energy Agency.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- International Energy Agency (IEA). (2022). *World Energy Outlook 2022*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- International Energy Agency. (2023). *World energy outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- International Monetary Fund. (2018). *World Economic Outlook database: Country and lending groups*. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2018/02/weodata/groups.htm>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). *Renewable Power Generation Costs in 2020*. <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IRENA. (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2021*. International Renewable Energy Agency.
- Khan, R. (2023). The impact of a new techno-nationalism era on eco-economic decoupling. *Resources Policy*, 82, 103452. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103452>
- Kharb, R., Singh, R., & Kaur, G. (2024). Driving environmental sustainability in emerging economies: The role of green finance, foreign direct investment, and innovative green technologies. *Business Strategy & Development*, 7(1), 8. <https://doi.org/10.1002/bsd2.70008>
- Khan, M., & Su, B. (2020). Urbanization and carbon emissions: causality evidence from the newly industrialized countries. *Environment, Development and Sustainability*, 22(8), 8481–8497. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00479-1>
- Li, T., Liu, T., Sawyer, A. O., Tang, P., Loftness, V., Lu, Y., & Xie, J. (2024). Generalized building energy and carbon emissions benchmarking with post-prediction analysis. *Developments in the Built Environment*, 17, 100320. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100320>
- Liu, Y., Zhang, X., & Wang, Z. (2023). FDI and CO₂ emissions in developing countries: The role of human capital. *Natural Hazards*, 115(3), 2949–2968. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05949-4>

- Liu, Z., Ahmad, M., Zhang, X., & Rehman, A. (2023). Re-examining the impact of foreign direct investment on carbon emissions: Evidence from threshold regression. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10, 129. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-01895-5>
- Mahmood, H. (2022). Trade, FDI, and CO₂ emissions nexus in Latin America: the spatial analysis in testing the pollution haven and the EKC hypotheses. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14439–14454. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23154-x>
- Phung, T. Q. (2023). Assessment of impacts of inward and outward FDIs on environmental quality in Vietnam. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 25(2), 2350009. <https://doi.org/10.1142/S1464333223500096>
- Rabnawaz Khan. (2023). The impact of a new techno-nationalism era on eco-economic decoupling. *Resources Policy*, 82, 103452. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103452>
- Rehman, A., Ma, H., Irfan, M., Razzaq, A., & Dagar, V. (2022). Does renewable energy and financial development contribute to carbon neutrality target: A global perspective. *Frontiers in Energy Research*, 10, 872941. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.872941>
- REN21. (2021). *Renewables 2021 global status report*. Paris: REN21 Secretariat. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
- REN21. (2023). *Renewables 2023 Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.
- Sarkodie, S. A., & Strezov, V. (2018). Assessment of contribution of Australia's energy production to CO₂ emissions and environmental degradation using statistical dynamic approach. *Science of The Total Environment*, 639, 888–899. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.204>
- Shaikh, S. S., Amin, N., & Song, H. (2024). Carbon dynamics: A holistic analysis of FDI, trade liberalization, urbanization, economic growth, and effects on CO₂ emissions in South Asia. *Energy & Environment*. <https://doi.org/10.1177/0958305X241291005>
- Singh, S. (2024). The relationship between growth in GDP and CO₂ has loosened; it needs to be cut completely. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/commentaries/the-relationship-between-growth-in-gdp-and-co2-has-loosened-it-needs-to-be-cut-completely>
- Smith, P., Davis, S. J., Creutzig, F., Fuss, S., Minx, J., Gabrielle, B., ... & Yongsung, C. (2016). Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions. *Nature climate change*, 6(1), 42-50. <https://doi.org/10.1038/nclimate2870>
- Li, T., Liu, T., Sawyer, A. O., Tang, P., Loftness, V., Lu, Y., & Xie, J. (2024). Generalized building energy and carbon emissions benchmarking with post-prediction analysis. *Developments in the Built Environment*, 17, 100320. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100320>
- Tran, T., Tran, Q., Vu, N. T., & Vo, D. H. (2023). Renewable Energy, Urbanization, Financial Development and Environmental Degradation in the ASEAN Countries. *Environment and Urbanization ASIA*, 14(1), 10-23. <https://doi.org/10.1177/09754253221151102>
- UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). Emissions Gap Report 2021: The Heat is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered. UNEP. <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>
- Vo, D. H., Tran, Q., & Tran, T. (2023). Renewable Energy, Urbanization, Financial Development and Environmental Degradation in the ASEAN Countries. *South Asian Journal of Macroeconomics and Public Finance*, 14(1). <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/09754253221151102>
- World Bank. (2023). Carbon dioxide (CO₂) emissions excluding LULUCF per capita. <https://data.worldbank.org/indicator/EN.GHG.CO2.PC.CE.AR5>
- World Resources Institute (WRI). (2020). Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future. https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/resource_efficiency_and_climate_change_full_report.pdf
- Zhang, C., & Lin, Y. (2018). Does urbanization cause environmental pollution in developing countries? Evidence from 15 Southeast Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(15), 14089–14101. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32069743/>
- Zoundi, Z. (2017). CO₂ emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve: A panel cointegration approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1067–1075. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.018>