



Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.4.152-162>

***Corresponding author:**

Email address:

tienduc@vnu.edu.vn

Received: 18/04/2026

Received in Revised Form:
03/06/2026

Accepted: 06/06/2026

The nonlinear relationship between income and carbon intensity in developing Asian countries

Nguyen Tien Duc^{1*}, Cu Thi Hien², Nguyen Thien Phuc³, Pham Thi Hong Anh⁴

¹VNU University of Economics and Business, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

²University of Transport Technology, 54 Trieu Khuc Street, Thanh Liet Ward, Hanoi, Vietnam

³Grant Thornton Vietnam Limited, Hanoi, Vietnam

⁴CQ61/61.02, Academy of Finance, Hanoi, Vietnam

Abstract: In low-carbon growth research, carbon intensity captures emissions associated with a country's economic output. This paper examines the nonlinear relationship between income per capita and carbon intensity in 19 developing Asian countries during 2010-2024. The panel data are estimated using OLS, fixed-effects and random-effects models; the main results are interpreted from the fixed-effects model with country-clustered standard errors. The findings indicate an inverted-U-shaped relationship between income per capita and carbon intensity, with the estimated turning point at about USD 2399.71 per capita. The positive effects of FDI and trade openness suggest that carbon pressure may continue to increase when investment inflows and trade activities remain linked to energy-intensive sectors. The study implies that reducing carbon intensity requires more selective FDI attraction, trade upgrading, improved energy efficiency and technological innovation.

Keywords: income per capita, carbon intensity, EKC model, nonlinear relationship, developing Asian countries



Thông tin bài viết
Dạng bài viết:
Bài báo nghiên cứu

DOI:
<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.4.152-162>

*Tác giả liên hệ:
Địa chỉ Email:
tienduc@vnu.edu.vn

Ngày nộp bài: 18/04/2026
Ngày nộp bài sửa: 03/06/2026
Ngày chấp nhận: 06/06/2026

Mối quan hệ phi tuyến giữa thu nhập và cường độ carbon ở các quốc gia đang phát triển châu Á

Nguyễn Tiến Đức^{1*}, Cù Thị Hiền², Nguyễn Thiện Phúc³, Phạm Thị Hồng Ánh⁴

¹Trường Đại học Kinh tế, Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, 54 Triều Khúc, Thanh Liệt, Hà Nội, Việt Nam

³Công ty TNHH Grant Thornton Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

⁴CQ61/61.02, Học viện Tài chính, Hà Nội, Việt Nam

Tóm tắt: Trong nghiên cứu về tăng trưởng carbon thấp, cường độ carbon giúp phản ánh mức phát thải gắn với kết quả kinh tế của mỗi quốc gia. Bài viết phân tích mối quan hệ phi tuyến giữa thu nhập bình quân đầu người và cường độ carbon tại 19 quốc gia đang phát triển ở châu Á trong giai đoạn 2010-2024. Dữ liệu bảng được ước lượng lần lượt bằng các mô hình OLS, FEM và REM; trong đó mô hình FEM với sai số chuẩn điều chỉnh theo cụm quốc gia được sử dụng để diễn giải kết quả chính. Kết quả cho thấy thu nhập và cường độ carbon có quan hệ chữ U ngược, với điểm ngoặt ước lượng khoảng 2399.71 USD/người. Tác động cùng chiều của FDI và độ mở thương mại cho thấy áp lực carbon vẫn có thể gia tăng khi dòng vốn đầu tư và hoạt động thương mại gắn với các ngành thâm dụng năng lượng. Kết quả nghiên cứu hàm ý rằng giảm cường độ carbon cần đi cùng chọn lọc FDI, nâng cấp cơ cấu thương mại, cải thiện hiệu quả năng lượng và đổi mới công nghệ.

Từ khóa: thu nhập bình quân đầu người, cường độ carbon, mô hình EKC, quan hệ phi tuyến, các nước châu Á đang phát triển

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, các quốc gia đang phát triển ở châu Á phải đối mặt với một yêu cầu ngày càng rõ rệt: vừa duy trì tăng trưởng kinh tế để nâng cao thu nhập và cải thiện đời sống dân cư, vừa hạn chế những tác động tiêu cực đến môi trường trong quá trình phát triển. Đây là thách thức lớn, bởi phần lớn các nền kinh tế này vẫn đang trong quá trình công nghiệp hóa, đô thị hóa và mở rộng sản xuất, kéo theo gia tăng nhu cầu năng lượng và áp lực phát thải ngày càng lớn. Vì vậy, vấn đề đặt ra không chỉ là tăng trưởng kinh tế, mà còn là chất lượng của tăng trưởng trong mối quan

hệ với môi trường.

Trong bối cảnh đó, việc xem xét mối quan hệ giữa thu nhập và cường độ carbon có ý nghĩa thực tiễn. Nếu thu nhập gia tăng nhưng cường độ carbon không giảm, điều đó cho thấy quá trình phát triển vẫn dựa nhiều vào mô hình tăng trưởng tiêu tốn năng lượng và phát thải cao. Ngược lại, nếu thu nhập tăng lên đi kèm với xu hướng giảm cường độ carbon, nền kinh tế có thể đang từng bước dịch chuyển theo hướng tăng trưởng bền vững hơn. Do vậy, làm rõ mối quan hệ này là cơ sở quan trọng để đánh giá đặc điểm phát triển của các quốc gia đang phát triển ở châu Á.

Tuy nhiên, tác động của thu nhập đến cường độ carbon có thể không diễn ra theo một chiều cố định. Ở các giai đoạn phát triển khác nhau, sự thay đổi về cơ cấu kinh tế, công nghệ, thương mại, đầu tư và đô thị hóa có thể làm cho mối quan hệ này biến động theo những hướng khác nhau. Điều đó cho thấy cần có một cách tiếp cận phù hợp để nhận diện rõ hơn bản chất mối quan hệ giữa thu nhập và cường độ carbon, thay vì chỉ xem xét theo xu hướng đơn giản.

Xuất phát từ yêu cầu đó, bài viết tập trung làm rõ mối quan hệ giữa thu nhập và cường độ carbon ở các quốc gia đang phát triển châu Á. Từ đó, bài viết hướng tới bổ sung thêm cơ sở thực nghiệm cho việc thảo luận chính sách tăng trưởng theo hướng carbon thấp, đồng thời góp phần làm rõ hơn bài toán hài hòa giữa phát triển kinh tế và bảo vệ môi trường trong bối cảnh các quốc gia đang phát triển ở châu Á vẫn đang phải ưu tiên mục tiêu tăng trưởng.

2. Cơ sở lý luận và tổng quan nghiên cứu

Trong phân tích kinh tế, thu nhập không phải là nhân tố tác động một chiều đến chất lượng môi trường. Ở giai đoạn đầu phát triển, tăng trưởng thường gắn với mở rộng sản xuất, gia tăng sử dụng năng lượng và phát thải; nhưng khi nền kinh tế đạt đến trình độ cao hơn, chuyển dịch cơ cấu, tiến bộ công nghệ và cải thiện thể chế có thể làm áp lực môi trường giảm xuống. Từ đó, giả thuyết đường cong Kuznets môi trường (EKC) được hình thành trên cơ sở mở rộng luận điểm của Kuznets [1] và thường được biểu diễn bằng quan hệ phi tuyến dạng chữ U ngược giữa thu nhập và ô nhiễm môi trường. Tuy nhiên, EKC không phải là một quy luật mang tính phổ quát, mà là giả thuyết cần được kiểm định trong từng bối cảnh cụ thể [2, 3].

Bên cạnh đó, phần lớn các nghiên cứu trước đây sử dụng chỉ tiêu mức độ phát thải CO₂ hoặc phát thải CO₂ bình quân đầu người để nghiên cứu mối quan hệ này. Tuy nhiên, dưới góc độ đánh giá chất lượng tăng trưởng, cường độ carbon có ý nghĩa trực tiếp hơn vì phản ánh lượng phát thải gắn với một đơn vị kết quả kinh tế. Chỉ tiêu này cho phép nhận diện rõ hơn liệu gia tăng thu nhập có đi

kèm với cải thiện hiệu quả môi trường hay không. Nếu thu nhập tăng nhưng cường độ carbon giảm, nền kinh tế có thể đang dịch chuyển theo hướng tăng trưởng carbon thấp; ngược lại, nếu cường độ carbon không giảm, quá trình phát triển vẫn còn dựa nhiều vào mô hình sản xuất tiêu hao năng lượng và phát thải cao.

Trên phương diện thực nghiệm, bằng chứng về EKC vẫn còn nhiều tranh cãi. Một số nghiên cứu cho thấy chất lượng môi trường không nhất thiết suy giảm liên tục cùng với tăng trưởng kinh tế [4]. Sau đó, nhiều nghiên cứu tiếp tục kiểm định giả thuyết này nhưng cho kết quả khác nhau, phụ thuộc vào chỉ tiêu môi trường, phạm vi mẫu và phương pháp ước lượng. Đối với châu Á, Apergis và Ozturk tìm thấy bằng chứng ủng hộ EKC trong mẫu 14 quốc gia [5], còn Ponce và Manlangit cũng ghi nhận kết quả tương tự trong nhóm các nước ASEAN [6]. Ở Việt Nam, một số nghiên cứu đã quan tâm tới chủ đề EKC [7, 8, 9], song biến phụ thuộc chủ yếu vẫn là phát thải carbon, thay vì cường độ carbon.

Trong các nghiên cứu gần đây, chỉ tiêu cường độ carbon ngày càng được chú ý do phản ánh lượng phát thải gắn với một đơn vị kết quả kinh tế, thay vì chỉ thể hiện quy mô phát thải tuyệt đối. Hannesson [10] trực tiếp phân tích mối quan hệ giữa cường độ CO₂ của GDP và GDP bình quân đầu người, qua đó cho thấy quá trình giảm cường độ carbon không diễn ra đồng nhất giữa các nhóm quốc gia. Kết quả này hàm ý rằng tăng trưởng thu nhập không tự động đảm bảo cải thiện hiệu quả môi trường, mà còn phụ thuộc vào trình độ phát triển, cơ cấu năng lượng và khả năng chuyển dịch công nghệ.

Bên cạnh thu nhập, các yếu tố như năng lượng tái tạo, công nghệ, cơ cấu sản xuất và thương mại cũng có thể ảnh hưởng đến cường độ carbon. Mirziyoyeva và Salahodjaev [11] cho thấy năng lượng tái tạo góp phần làm giảm cường độ phát thải CO₂ ở các quốc gia có cường độ carbon cao. Zhang và cộng sự [12] chỉ ra mối quan hệ phi tuyến giữa phát triển kinh tế số và cường độ phát thải carbon trên mẫu 72 quốc gia. Ngoài ra, các

ngiên cứu về thương mại quốc tế cho thấy cường độ carbon còn chịu tác động bởi cơ cấu xuất khẩu, vị trí của quốc gia trong chuỗi giá trị và mức độ nghiêm ngặt của chính sách môi trường [13, 14]. Những kết quả này củng cố sự cần thiết của việc sử dụng cường độ carbon để đánh giá chất lượng môi trường của tăng trưởng.

Từ đó có thể thấy, dù cường độ carbon đã được sử dụng trong một số nghiên cứu gần đây, bằng chứng về mối quan hệ phi tuyến giữa thu nhập và cường độ carbon ở nhóm các quốc gia đang phát triển châu Á vẫn còn hạn chế. Phần lớn nghiên cứu EKC trong khu vực vẫn tập trung vào phát thải CO₂ tuyệt đối hoặc phát thải bình quân đầu người. Vì vậy, việc kiểm định quan hệ này trong giai đoạn 2010-2024 giúp bổ sung thêm bằng chứng thực nghiệm về chất lượng môi trường của tăng trưởng và khả năng chuyển dịch sang mô hình carbon thấp tại các nền kinh tế đang phát triển châu Á.

3. Phương pháp nghiên cứu

Trong mô hình EKC với biến thu nhập gốc, quan hệ chữ U ngược thường được kỳ vọng thể hiện qua hệ số bậc một dương và hệ số bậc hai âm. Tuy nhiên, do nghiên cứu sử dụng biến thu nhập đã được trung tâm hóa trước khi bình phương, dấu của hệ số bậc một không còn có kỳ vọng cố định, mà phản ánh độ dốc của đường cong quanh mức thu nhập trung bình của mẫu. Khi đó, bằng chứng chính về quan hệ chữ U ngược được thể hiện qua hệ số âm của biến bình phương thu nhập.

Do mô hình EKC đưa đồng thời biến thu nhập và bình phương của biến thu nhập vào mô hình, hiện tượng đa cộng tuyến giữa hai biến này có thể xuất hiện do mối liên hệ cơ học giữa biến gốc và biến bình phương. Để hạn chế vấn đề này, nghiên cứu sử dụng biến thu nhập đã được trung tâm hóa trước khi bình phương. Cụ thể, biến $\ln g d p p c$ được xác định bằng chênh lệch giữa $\ln g d p p c$ và giá trị trung bình của $\ln g d p p c$; sau đó, biến $\ln g d p p c 2$ được tạo bằng bình phương của $\ln g d p p c$. Cách xử lý này giúp làm giảm tương

quan giữa biến bậc một và biến bậc hai, đồng thời vẫn giữ nguyên mục tiêu kiểm định quan hệ phi tuyến theo giả thuyết EKC.

Trên cơ sở đó, mô hình nghiên cứu được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \text{carbon}_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln g d p p c_{it} + \beta_2 \ln g d p p c 2_{it} \\ & + \beta_3 f d i_{it} + \beta_4 g o v_{it} + \beta_5 i n d u s t r y_{it} + \beta_6 t r a d e_{it} \\ & + \beta_7 u r b a n_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó, i là quốc gia, t là năm; μ_i phản ánh đặc điểm riêng không quan sát được của từng quốc gia, còn ε_{it} là sai số ngẫu nhiên. Các biến sử dụng trong mô hình, cách đo lường và kỳ vọng dấu được trình bày tại Bảng 1.

Dữ liệu nghiên cứu là dữ liệu của 19 quốc gia đang phát triển châu Á trong giai đoạn 2010-2024, được tổng hợp từ bộ chỉ tiêu phát triển của Ngân hàng Thế giới. Giai đoạn này được lựa chọn không chỉ nhằm đảm bảo tính cập nhật và mức độ sẵn có của dữ liệu, mà còn phản ánh bối cảnh các nền kinh tế đang phát triển ở châu Á đẩy mạnh tăng trưởng, công nghiệp hóa, đô thị hóa và hội nhập thương mại trong điều kiện chịu áp lực ngày càng lớn về chuyển dịch sang mô hình phát triển carbon thấp. Khoảng thời gian 15 năm đảm bảo để quan sát biến động của thu nhập và cường độ carbon, qua đó thực hiện được kiểm định quan hệ phi tuyến theo mô hình EKC. Các quốc gia trong mẫu gồm: Bangladesh, Bhutan, Indonesia, Iran, Iraq, Jordan, Campuchia, Lào, Sri Lanka, Maldives, Myanmar, Mông Cổ, Malaysia, Nepal, Pakistan, Philippines, Thái Lan, Đông Timo và Việt Nam.

Việc lựa chọn mẫu được thực hiện trên cơ sở ba tiêu chí chính: quốc gia thuộc khu vực châu Á, thuộc nhóm nền kinh tế đang phát triển và có dữ liệu tương đối đầy đủ đối với các biến được sử dụng trong mô hình. Với 19 quốc gia trong giai đoạn 2010-2024, số quan sát tối đa theo cấu trúc bảng là 285 quan sát. Tuy nhiên, do một số chỉ tiêu không có đầy đủ dữ liệu cho toàn bộ quốc gia/năm, đặc biệt là chi tiêu chính phủ và độ mở thương mại, bộ dữ liệu có dạng bảng không cân bằng. Sau khi loại các quan sát thiếu dữ liệu ở các biến đưa vào mô hình, số quan sát được sử dụng trong hồi quy

là 249.

Về phương pháp ước lượng, nghiên cứu thực hiện thống kê mô tả và kiểm tra tương quan giữa các biến để khái quát đặc điểm của bộ dữ liệu. Bên cạnh đó, bài viết sẽ thực hiện kiểm định các khuyết tật của mô hình như đa cộng tuyến, phương sai sai số thay đổi và tự tương quan. Sau đó, mô

hình được ước lượng lần lượt bằng OLS, FEM và REM. Kiểm định Hausman được sử dụng để lựa chọn mô hình phù hợp giữa FEM và REM.

Điểm ngoặt của đường cong EKC được xác định theo công thức $-\beta_1/(2\beta_2)$; từ giá trị này, mức thu nhập tại ngưỡng chuyển đổi được suy ra bằng cách lấy số mũ của điểm ngoặt theo logarit.

Bảng 1. Mô tả các biến nghiên cứu

Ký hiệu	Tên biến	Cách đo lường	Kỳ vọng dấu
Biến phụ thuộc			
carbon	Cường độ carbon	Lượng phát thải trên một đơn vị GDP, đo bằng kg CO ₂ trên 1 USD GDP theo PPP cố định	
Biến độc lập			
clngdppc	Sai lệch logarit thu nhập bình quân đầu người so với giá trị trung bình mẫu	$clngdppc_{it} = lngdppc_{it} - \overline{lngdppc_{it}}$, trong đó lngdppc là logarit tự nhiên của GDP bình quân đầu người	+/-
clngdppc2	Bình phương sai lệch logarit thu nhập bình quân đầu người	$clngdppc2_{it} = clngdppc_{it}^2$	-
fdi	Đầu tư trực tiếp nước ngoài	FDI ròng vào, % GDP	+/-
gov	Chi tiêu chính phủ	Chi tiêu tiêu dùng cuối cùng của chính phủ, % GDP	+/-
industry	Tỷ trọng công nghiệp	Giá trị gia tăng công nghiệp, % GDP	+
trade	Độ mở thương mại	Tổng kim ngạch xuất nhập khẩu, % GDP	+/-
urban	Đô thị hóa	Dân số đô thị, % tổng dân số	+/-

Nguồn: Tổng hợp của nhóm tác giả

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Thống kê mô tả được thực hiện trên mẫu hồi quy gồm 249 quan sát sau khi loại các quan sát thiếu dữ liệu. Nhìn chung, bộ dữ liệu cho thấy sự khác biệt khá rõ giữa các quốc gia trong tệp mẫu về mức độ phát thải, thu nhập và đặc điểm kinh tế vĩ mô.

Kết quả trong bảng 2 cho thấy cường độ carbon trung bình đạt 0.2148, nhưng dao động trong khoảng từ 0.0567 đến 0.5725, phản ánh mức phát thải trên một đơn vị GDP không đồng đều giữa các nền kinh tế. Biến clngdppc có giá trị trung bình xấp xỉ 0, phù hợp với cách xây dựng biến theo sai lệch của logarit thu nhập bình quân đầu người so với giá trị trung bình mẫu. Bên cạnh đó, độ phân

tán của FDI, chi tiêu chính phủ, độ mở thương mại và đô thị hóa cho thấy các quốc gia trong mẫu không chỉ khác nhau về trình độ phát triển, mà còn khác nhau về cấu trúc kinh tế, mức độ hội nhập và quá trình đô thị hóa. Những đặc điểm này tạo cơ sở phù hợp để sử dụng dữ liệu bảng nhằm phân tích mối quan hệ giữa thu nhập và cường độ carbon.

Ma trận tương quan thể hiện trong bảng 3 cho thấy cường độ carbon có tương quan dương với clngdppc, FDI, tỷ trọng công nghiệp, độ mở thương mại và đô thị hóa. Trong đó, đô thị hóa có hệ số tương quan cao nhất với cường độ carbon, đạt 0.6363. Đáng chú ý, hệ số tương quan giữa clngdppc và clngdppc2 chỉ là -0.0303 và không có

ý nghĩa thống kê. Kết quả này cho thấy việc trung tâm hóa biến thu nhập trước khi bình phương đã làm giảm đáng kể mối liên hệ cơ học giữa biến bậc một và biến bậc hai.

Bảng 2. Thống kê mô tả các biến nghiên cứu

Biến	Số quan sát	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
carbon	249	0.2148	0.1275	0,0567	0.5725
clngdppc	249	-0.0000	0.6763	-1.4440	1.3579
clngdppc2	249	0.4555	0.5191	0.0000	2.0851
fdi	249	3.2195	6.0447	-37.1727	43.9121
gov	249	15.2744	13.0227	4.8093	103.1635
industry	249	31.5556	11.0614	8.4139	65.2721
trade	249	84.9725	41.9862	24.7016	186.6758
urban	249	50.3739	19.0585	18.7963	92.1180

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả

Bảng 3. Ma trận tương quan giữa các biến

Biến	carbon	clngdppc	clngdppc2	fdi	gov	industry	trade	urban
carbon	1.0000							
clngdppc	0.4806*	1.0000						
clngdppc2	-0.2452*	-0.0303	1.0000					
fdi	0.2006*	0.1116	0.0507	1.0000				
gov	-0.0644	-0.0943	0.0627	-0.0508	1.0000			
industry	0.4090*	0.3540*	-0.5225*	-0.1475*	-0.1973*	1.0000		
trade	0.1735*	0.4465*	0.1087	0.4382*	0.1478*	0.0858	1.0000	
urban	0.6363*	0.4377*	0.0492	-0.0084	-0.1153	0.2290*	0.0268	1.0000

Ghi chú: * biểu thị ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả

Bảng 4. Kết quả kiểm định đa cộng tuyến

Biến	VIF	1/VIF
clngdppc	1.85	0.541950
clngdppc2	1.79	0.557674
industry	1.78	0.560410
trade	1.53	0.654084
fdi	1.38	0.727144
urban	1.34	0.743889
gov	1.13	0.881088
Mean VIF	1.54	

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả

Kết quả kiểm định đa cộng tuyến thể hiện trong bảng 4 cho thấy mô hình sau khi trung tâm hóa biến thu nhập không còn gặp vấn đề nghiêm trọng về đa cộng tuyến. VIF trung bình của mô hình là 1.54, trong đó, clngdppc có VIF cao nhất, đạt 1.85; tiếp đến là clngdppc2 với VIF bằng 1.79 và industry với VIF bằng 1.78. Kết quả này cho thấy việc trung tâm hóa biến thu nhập trước khi bình phương đã giúp làm giảm đáng kể mối liên hệ cơ học giữa biến bậc một và biến bậc hai, đồng thời

vẫn giữ được cấu trúc cần thiết để kiểm định quan hệ phi tuyến theo mô hình EKC.

Sau bước kiểm tra đa cộng tuyến, nhóm nghiên cứu thực hiện các kiểm định lựa chọn mô hình và kiểm tra khuyết tật của dữ liệu bảng.

Kiểm định Hausman trong bảng 5 cho giá trị Prob > chi2 = 0.0351, nhỏ hơn mức ý nghĩa 5%,

nên mô hình tác động cố định được lựa chọn làm mô hình chính. Bên cạnh đó, kiểm định Modified Wald cho thấy tồn tại phương sai sai số thay đổi, còn kiểm định Wooldridge cho thấy có tự tương quan bậc một. Vì vậy, kết quả hồi quy được diễn giải dựa trên sai số chuẩn điều chỉnh theo cụm quốc gia.

Bảng 5. Kết quả kiểm định Hausman, phương sai sai số thay đổi và tự tương quan

Nội dung kiểm định	Tên kiểm định	Kết quả chính	Giá trị p
Kiểm định Hausman	Hausman Test	Prob > chi2	0.0351
Kiểm định phương sai sai số thay đổi	Modified Wald test	Prob > chi2	0.0000
Kiểm định tự tương quan	Wooldridge test	Prob > F	0.0018

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả

Bảng 6. Kết quả hồi quy OLS, FEM và REM

	(OLS) carbon	(FEM) carbon	(REM) carbon
clngdppc	0.0311 (0.0261)	-0.0319 (0.0360)	-0.0277 (0.0310)
clngdppc2	-0.0457 (0.0388)	-0.0659*** (0.0107)	-0.0613*** (0.0113)
fdi	0.0050*** (0.0012)	0.0011** (0.0004)	0.0012*** (0.0004)
gov	0.0008 (0.0006)	-0.0016** (0.0006)	-0.0013** (0.0006)
industry	0.0021 (0.0017)	-0.0020** (0.0008)	-0.0016** (0.0008)
trade	-0.0001 (0.0007)	0.0007** (0.0003)	0.0006** (0.0003)
urban	0.0036*** (0.0012)	0.0015 (0.0016)	0.0021 (0.0014)
Hằng số	-0.0344 (0.0631)	0.1935* (0.0977)	0.1484** (0.0749)
Obs.	249	249	249
R-sq	0.5897	0.2567	0.2711

Ghi chú: Sai số chuẩn trong ngoặc đơn; *, **, *** biểu thị mức ý nghĩa 10%, 5% và 1%.

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả

Bảng 6 trình bày kết quả hồi quy theo OLS, FEM và REM.

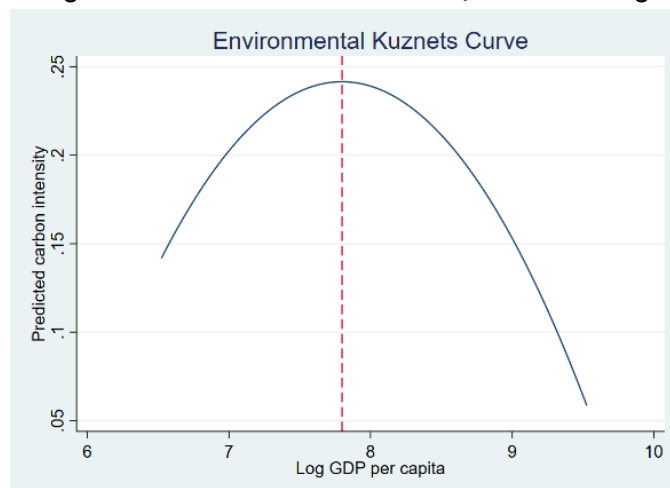
Với mô hình FEM, hệ số của clngdppc2 mang dấu âm và có ý nghĩa thống kê ở mức 1%, đạt -0.0659. Kết quả REM cũng cho hệ số âm và có ý nghĩa thống kê ở mức 1% đối với biến này. Dấu âm của biến bình phương cho thấy mối quan hệ giữa thu nhập và cường độ carbon có dạng

cong xuống, phù hợp với giả thuyết EKC. Trong khi đó, hệ số của clngdppc không có ý nghĩa thống kê trong FEM và REM. Điều này không làm thay đổi kết luận chính, vì sau khi trung tâm hóa, hệ số bậc một chủ yếu phản ánh độ dốc của đường cong quanh mức thu nhập trung bình của mẫu, còn dạng phi tuyến được thể hiện trực tiếp qua biến bình phương.

Trong nhóm biến kiểm soát, FDI có hệ số dương và có ý nghĩa thống kê trong mô hình FEM. Hệ số 0.0011 cho thấy FDI trong mẫu nghiên cứu chưa gắn với xu hướng làm giảm cường độ carbon. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu cho rằng tại các nền kinh tế đang phát triển, FDI có thể làm gia tăng áp lực môi trường khi dòng vốn tập trung vào các ngành sản xuất thâm dụng năng lượng hoặc công nghệ chưa đủ sạch [7]. Tuy nhiên, kết quả này cũng khác với kỳ vọng về hiệu ứng lan tỏa công nghệ sạch của FDI. Sự khác biệt này có thể xuất phát từ đặc điểm của mẫu nghiên cứu, khi nhiều quốc gia đang phát triển ở châu Á vẫn thu hút đầu tư vào các ngành chế biến, chế tạo và khai thác lợi thế chi phí thấp. Vì vậy, tác động của FDI cần được xem xét không chỉ theo quy mô vốn, mà còn theo lĩnh vực tiếp nhận đầu tư, trình độ công nghệ và khả năng lan tỏa công nghệ sạch.

Độ mở thương mại cũng có tác động cùng chiều đến cường độ carbon. Trong mô hình FEM, hệ số của trade là 0.0007 và có ý nghĩa thống kê ở mức 5%. Kết quả này phù hợp với Wang và cộng sự [13] khi cho thấy thương mại quốc tế có thể làm gia tăng cường độ carbon ở một số nhóm quốc gia, đặc biệt khi các nền kinh tế tham gia vào các khâu

sản xuất có mức phát thải cao. Tuy vậy, kết quả này khác với Zhong và cộng sự [14], theo đó mở cửa thương mại có thể làm giảm cường độ carbon của xuất khẩu nếu đi kèm với lựa chọn sản phẩm có giá trị gia tăng cao hơn, ít phát thải hơn và chính sách môi trường nghiêm ngặt hơn. Sự khác biệt này cho thấy tác động của thương mại đến cường độ carbon không phụ thuộc đơn thuần vào mức độ mở cửa, mà còn phụ thuộc vào cơ cấu hàng hóa, vị trí của quốc gia trong chuỗi giá trị và tiêu chuẩn môi trường trong sản xuất. Do đó, mở rộng thương mại chỉ có thể hỗ trợ tăng trưởng carbon thấp nếu đi cùng nâng cấp công nghệ, điều chỉnh cơ cấu xuất khẩu và nâng cao tiêu chuẩn môi trường. Với các biến còn lại, gov và industry mang dấu âm và có ý nghĩa thống kê trong mô hình FEM, trong khi urban không có ý nghĩa thống kê. Kết quả này cho thấy khi kiểm soát hiệu ứng cố định theo quốc gia, vai trò của chi tiêu chính phủ và tỷ trọng công nghiệp khác với kết quả OLS. Tuy nhiên, không nên diễn giải quá mức theo hướng “chi tiêu chính phủ” hay “công nghiệp” luôn làm giảm cường độ carbon, vì tác động thực tế còn phụ thuộc vào chất lượng chi tiêu công, cấu trúc ngành công nghiệp và mức độ đổi mới công nghệ tại từng nền kinh tế.



Hình 1. Đường cong EKC giữa thu nhập và cường độ carbon

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả

Để làm rõ hơn ý nghĩa của kết quả EKC, bài viết tính điểm ngoặt của đường cong từ mô hình FEM. Vì mô hình sử dụng biến thu nhập đã trung tâm hóa, điểm ngoặt trước hết được xác định trên thang đo $\ln gdp_{ppc}$, sau đó quy đổi về thang logarit

của thu nhập bình quân đầu người và cuối cùng chuyển sang đơn vị USD/người. Kết quả trong bảng 7 cho thấy điểm ngoặt tương ứng với mức thu nhập bình quân đầu người khoảng 2399.71 USD. Khoảng tin cậy 95% của điểm ngoặt theo

mức thu nhập là từ 1102.12 đến 3697.30 USD. Điểm ngoặt này nằm trong khoảng biến thiên thực tế của mẫu, nên có thể sử dụng để diễn giải ý nghĩa kinh tế của kết quả ước lượng. Hình 1 minh họa quan hệ dự báo giữa thu nhập và cường độ

carbon. Đường cong có dạng chữ U ngược, với đỉnh tương ứng mức thu nhập bình quân đầu người khoảng 2399.71 USD. Hình này phù hợp với kết quả hồi quy khi hệ số của $clngdppc2$ mang dấu âm và có ý nghĩa thống kê trong mô hình FEM.

Bảng 7. Kết quả tính điểm ngoặt của đường cong EKC

Chỉ tiêu	Hệ số	Sai số chuẩn	z	Giá trị p	Khoảng tin cậy 95%
tp_center	-0.2411	0.2759	-0.88	0.381	[-0.7826; 0.2982]
tp_log	7.7831	0.2759	28.21	0.000	[7.2424; 8.3238]
tp_gdppc	2399.71	662.05	3.62	0.000	[1102.12; 3697.30]

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả

Để đối chiếu điểm ngoặt với phân bố dữ liệu, các quan sát trong mẫu hồi quy được chia thành hai nhóm. Bảng 8 trình bày phân bố các quan sát theo vị trí tương đối so với điểm ngoặt EKC. Kết quả cho thấy có 89 quan sát nằm dưới điểm ngoặt, chiếm 35.74% tổng số quan sát, trong khi 160 quan sát nằm từ điểm ngoặt trở lên, tương ứng 64.26%.

Như vậy, phần lớn quan sát đã vượt qua ngưỡng thu nhập ước lượng. Tuy nhiên, điều này không đồng nghĩa rằng cường độ carbon sẽ tự động giảm. Kết quả về FDI và độ mở thương mại cho thấy áp lực carbon vẫn có thể duy trì nếu tăng trưởng tiếp tục dựa vào các hoạt động đầu tư và thương mại thâm dụng năng lượng.

Bảng 8. Phân bố quan sát theo điểm ngoặt EKC

Nhóm quan sát	Số quan sát	Tỷ lệ (%)
Dưới điểm ngoặt	89	35.74
Từ điểm ngoặt trở lên	160	64.26
Tổng	249	100.00

Nguồn: Tính toán của nhóm tác giả.

Khi xét theo từng quốc gia, vị trí của các nước so với điểm ngoặt có sự khác biệt đáng kể. Một số quốc gia có toàn bộ quan sát trong mẫu hồi quy nằm dưới điểm ngoặt, trong khi một số quốc gia khác đã nằm từ điểm ngoặt trở lên trong toàn bộ giai đoạn có dữ liệu đầy đủ. Ngoài ra, cũng có những quốc gia chuyển từ dưới lên trên điểm ngoặt trong giai đoạn nghiên cứu. Kết quả này cho thấy hàm ý chính sách cần được phân biệt theo vị trí phát triển của từng quốc gia: các nước còn dưới điểm ngoặt cần tránh quỹ đạo tăng trưởng thâm dụng carbon, trong khi các nước đã vượt ngưỡng cần tập trung duy trì xu hướng giảm cường độ carbon thông qua công nghệ, năng lượng sạch và nâng cấp cơ cấu sản xuất.

5. Kết luận và hàm ý chính sách

Bài viết phân tích mối quan hệ giữa thu nhập và cường độ carbon ở 19 quốc gia đang phát triển châu Á trong giai đoạn 2010-2024 bằng mô hình

dữ liệu bảng. Sau khi loại các quan sát thiếu dữ liệu, mẫu hồi quy gồm 249 quan sát. Kết quả ước lượng theo mô hình tác động cố định cho thấy mối quan hệ giữa thu nhập và cường độ carbon có dạng chữ U ngược, qua đó cung cấp bằng chứng ủng hộ giả thuyết đường cong Kuznets môi trường trong bối cảnh nghiên cứu. Điều này cho thấy quan hệ giữa thu nhập và cường độ carbon không diễn ra theo một chiều cố định, mà thay đổi theo trình độ phát triển của các nền kinh tế.

Kết quả tính toán cho thấy điểm ngoặt của đường cong EKC tương ứng với mức thu nhập bình quân đầu người khoảng 2399.71 USD. Điểm ngoặt này nằm trong khoảng quan sát thực tế của mẫu. Khi đối chiếu với phân bố dữ liệu, có 89 quan sát nằm dưới điểm ngoặt, chiếm 35.74%, và 160 quan sát từ điểm ngoặt trở lên, chiếm 64.26%. Điều này cho thấy phần lớn quan sát đã vượt qua ngưỡng thu nhập ước lượng, nhưng không đồng

nghĩa rằng cường độ carbon sẽ tự động giảm nếu tăng trưởng vẫn dựa nhiều vào đầu tư, sản xuất và thương mại thâm dụng năng lượng.

Bên cạnh đó, FDI và độ mở thương mại có tác động cùng chiều đến cường độ carbon. Kết quả này hàm ý rằng dòng vốn đầu tư nước ngoài và hoạt động thương mại tại các quốc gia đang phát triển châu Á vẫn có thể gắn với các ngành tiêu hao nhiều năng lượng và phát thải cao. Vì vậy, giảm cường độ carbon không chỉ phụ thuộc vào tăng trưởng thu nhập, mà còn phụ thuộc vào chất lượng đầu tư, cơ cấu thương mại, hiệu quả sử dụng năng lượng và trình độ công nghệ.

Từ góc độ chính sách, các quốc gia còn dưới điểm ngoặt cần tránh quỹ đạo tăng trưởng thâm dụng carbon ngay từ giai đoạn đầu phát triển. Đối với các quốc gia đã vượt qua điểm ngoặt, trọng tâm chính sách cần chuyển sang duy trì xu hướng giảm cường độ carbon thông qua chọn lọc FDI, nâng cấp cơ cấu thương mại, cải thiện hiệu quả năng lượng, đổi mới công nghệ và nâng cao tiêu chuẩn môi trường trong sản xuất. Nói cách khác, khả năng đi tới quỹ đạo phát triển carbon thấp phụ thuộc không chỉ vào mức thu nhập, mà còn vào cách thức điều chỉnh mô hình tăng trưởng của từng quốc gia.

Tài liệu tham khảo

- [1] S. Kuznets. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, 45(1), 1-28.
- [2] S. Dinda. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431-455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- [3] D.I. Stern. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>
- [4] G.M. Grossman, A.B. Krueger. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- [5] N. Apergis, I. Ozturk. (2015). Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis in Asian countries. *Ecological Indicators*, 52, 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.11.026>
- [6] B.J.H. Ponce, A.T. Manlangit. (2023). Carbon dioxide emissions and the Environmental Kuznets Curve: evidence from the Association of Southeast Asian Nations. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 100037-100045. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29370-3>
- [7] T.B. Minh, T.N. Ngoc, H.B. Van. (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>
- [8] A.-T. Nguyen, S.-H. Lu, P.T.T. Nguyen. (2021). Validating and Forecasting Carbon Emissions in the Framework of the Environmental Kuznets Curve: The Case of Vietnam. *Energies*, 14(11), 3144. <https://doi.org/10.3390/en14113144>
- [9] M. Shahbaz, I. Haouas, T.H.V. Hoang. (2019). Economic growth and environmental degradation in Vietnam: Is the environmental Kuznets curve a complete picture? *Emerging Markets Review*, 38, 197-218. <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2018.12.006>
- [10] R. Hannesson. (2022). Is There a Kuznets Curve for CO₂-Emissions? *Biophysical Economics and Sustainability*, 7(4). <https://doi.org/10.1007/s41247-022-00099-w>
- [11] Z. Mirziyoyeva, R. Salahodjaev. (2022). Renewable energy and CO₂ emissions intensity in the top carbon intense countries. *Renewable Energy*, 192, 507-512. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.04.137>
- [12] Z. Zhang, L. Chen, J. Li, S. Ding. (2024). Digital economy development and carbon emission intensity—mechanisms and evidence from 72 countries. *Scientific Reports*, 14, 28459. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78831-3>
- [13] S. Wang, J. Wang, X. Chen, C. Fang, K.

Hubacek, X. Liu, C. Zhou, K. Feng, Z. Liu. (2023). Impact of International Trade on the Carbon Intensity of Human Well-Being. *Environmental Science & Technology*, 57(17), 6898-6909. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07582>

[14] S. Zhong, T. Goh, B. Su. (2022). Patterns and drivers of embodied carbon intensity in international exports: The role of trade and environmental policies. *Energy Economics*, 114, 106313. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106313>