Journal of Finance - Marketing Research; Vol. 17, Issue 5; 2026
p-ISSN: 1859-3690; e-ISSN: 3030-427X
DOI: https://doi.org/10.52932/jfmr.v17i5

Journal of Finance - Marketing Research
http://jfm.edu.vn

THE IMPACT OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY AND FOREIGN DIRECT INVESTMENT ON ENVIRONMENTAL POLLUTION: THE CASE OF SOUTHEAST ASIAN COUNTRIES

Dang Buu Kiem[1*], Ha Nguyen Tuyet Minh[2]

[1]Saigon University, Vietnam

[2]Nam Can Tho University, Vietnam

ARTICLE INFO

DOI:
10.52932/jfmr.v17i5.853

Received:
March 20, 2025
Accepted:
March 31, 2026
Published:
October 25, 2026

Keywords:
Environmental pollution, Foreign direct investment, Information and communication technology, Southeast Asia

Article classification:
Research paper

JEL codes:
Q53, F21, O33

ABSTRACT

Purpose – This study examines the effects of information and communication technology (ICT) and foreign direct investment (FDI) on environmental pollution in Southeast Asian countries.

Study design/methodology/approach – The study employed panel data from 11 Southeast Asian countries over the period 1990-2023. A composite ICT index is constructed using principal component analysis (PCA) from multiple dimensions of ICT development, including the proportion of individuals using the Internet, fixed broadband subscriptions, mobile cellular subscriptions, Internet users, and secure Internet servers. Environmental pollution is measured by CO_2 emissions per capita. The empirical analysis employs fixed-effects and random-effects models, with Driscoll-Kraay standard errors used to provide robust inference in the presence of heteroskedasticity and serial correlation.

Findings – The results show that both ICT and FDI are positively associated with CO_2 emissions, suggesting that technological development and foreign capital inflows may contribute to greater environmental pressure. Importantly, the interaction results indicate that ICT mitigates the adverse environmental effect of FDI by weakening its positive effect on CO_2 emissions.

Research limitations/implications – The findings have important implications for policymakers seeking to promote sustainable and environmentally friendly economic development.

Originality/contribution – This study contributes to the literature on ICT, FDI, and environmental sustainability in Southeast Asia in two important ways. First, it constructs a composite ICT index using PCA that captures multiple dimensions of ICT infrastructure and usage, thereby providing a more comprehensive measure of ICT development than approaches relying on individual indicators. Second, it extends the existing literature by examining the moderating role of ICT in the relationship between FDI and environmental pollution in Southeast Asia, thereby clarifying whether the level of ICT development can alter the environmental effects of FDI inflows.

**Corresponding author:* Email: dbkiem@sgu.edu.vn

Tạp chí Nghiên cứu Tài chính - Marketing
http://jfm.edu.vn

TÁC ĐỘNG CỦA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN VÀ TRUYỀN THÔNG VÀ ĐẦU TƯ TRỰC TIẾP NƯỚC NGOÀI ĐẾN Ô NHIỄM MÔI TRƯỜNG: TRƯỜNG HỢP CÁC NƯỚC ĐÔNG NAM Á

Đặng Bửu Kiếm[1*], Hà Nguyễn Tuyết Minh[2]
[1]Trường Đại học Sài Gòn
[2]Trường Đại học Nam Cần Thơ

THÔNG TIN

DOI: 10.52932/jfmr.v17i5.853

Ngày nhận bài: 20/03/2025

Ngày chấp nhận: 31/03/2026

Ngày đăng: 25/10/2026

Từ khóa:
Công nghệ thông tin và truyền thông, Đầu tư trực tiếp nước ngoài, Đông Nam Á, Ô nhiễm môi trường

Phân loại bài báo:
Bài nghiên cứu

Mã JEL:
Q53, F21, O33

TÓM TẮT

Mục đích bài viết – Bài báo này phân tích tác động của công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) và đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) đến ô nhiễm môi trường tại các quốc gia Đông Nam Á.

Thiết kế/phương pháp luận/cách tiếp cận – Nghiên cứu sử dụng dữ liệu từ 11 quốc gia Đông Nam Á trong giai đoạn 1990-2023. Chỉ số ICT được tổng hợp thông qua phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) từ các thành phần của ICT như tỷ lệ cá nhân sử dụng internet, thuê bao băng thông rộng cố định, thuê bao di động, người dùng internet, và số lượng máy chủ internet an toàn. Trong khi, mức độ ô nhiễm được đo lường bằng phát thải CO_2 trên đầu người. Các phương pháp ước lượng trong dữ liệu bảng được sử dụng bao gồm FEM, REM và đặc biệt phương pháp ước lượng sai số chuẩn Driscoll-Kraay giúp khắc phục các hiện tượng phương sai thay đổi và tự tương quan.

Kết quả nghiên cứu – Kết quả nghiên cứu cho thấy cả ICT và FDI đều có tác động cùng chiều đến phát thải CO_2, phản ánh sự gia tăng ô nhiễm môi trường liên quan đến phát triển công nghệ và dòng vốn đầu tư trực tiếp nước ngoài. Thêm vào đó, ICT làm giảm tác động tiêu cực của FDI đến phát thải CO_2.

Hàm ý/hạn chế của nghiên cứu – Nghiên cứu của chúng tôi gợi mở một số hàm ý quan trọng cho các nhà làm chính sách trong việc phát triển kinh tế bền vững và thân thiện môi trường.

Điểm độc đáo/đóng góp của bài viết – Nghiên cứu đóng góp vào tài liệu về ICT, FDI và môi trường tại Đông Nam Á trên hai phương diện quan trọng. *Thứ nhất*, nghiên cứu xây dựng chỉ số ICT tổng hợp bằng phương pháp PCA từ nhiều thành phần phản ánh đồng thời hạ tầng và mức độ sử dụng ICT, qua đó cung cấp thước đo toàn diện hơn về phát triển ICT so với cách tiếp cận dựa trên các chỉ số riêng lẻ. *Thứ hai*, nghiên cứu mở rộng tài liệu hiện có bằng cách xem xét vai trò điều tiết của ICT trong mối quan hệ giữa FDI và ô nhiễm môi trường tại Đông Nam Á, từ đó làm rõ liệu mức độ phát triển ICT có thể làm thay đổi tác động môi trường của dòng vốn FDI hay không.

**Tác giả liên hệ:* Email: dbkiem@sgu.edu.vn

1. Giới thiệu

Biến đổi khí hậu và ô nhiễm môi trường đã trở thành những thách thức lớn đối với sự phát triển bền vững của khu vực Đông Nam Á (Trinh và cộng sự, in press). Khi nền kinh tế các quốc gia trong khu vực ngày càng mở rộng, nhu cầu tiêu thụ năng lượng gia tăng nhanh chóng, kéo theo sự gia tăng phát thải CO_2. Xu hướng phát thải CO_2 trên đầu người tại Đông Nam Á từ năm 1990 đến 2023 *(xem Phụ lục 1 online),* với mức trung bình cho giai đoạn này là khoảng 4,13 tấn/người. Tuy nhiên, sự khác biệt giữa các quốc gia là rất lớn, với mức cao nhất lên đến 23,63 tấn/người, điển hình như Brunei – quốc gia có nền kinh tế dựa vào khai thác dầu khí. Trong khi đó, các nước có nền công nghiệp phát triển như Malaysia, Thái Lan và Indonesia cũng ghi nhận mức phát thải cao, phản ánh sự gia tăng tiêu thụ năng lượng trong sản xuất và đô thị hóa. Xu hướng tổng thể cho thấy sự gia tăng dần của phát thải, đặt ra thách thức lớn trong việc cân bằng giữa tăng trưởng kinh tế và bảo vệ môi trường.

FDI là một trong những yếu tố có những ảnh hưởng phức tạp đến chất lượng môi trường. Theo giả thuyết thiên đường ô nhiễm (Pollution Haven Hypothesis – PHH) được phát triển bởi Copeland và Taylor (2004), FDI có thể làm gia tăng ô nhiễm môi trường khi các quốc gia nới lỏng quy định nhằm thu hút đầu tư nước ngoài (Georgescu và cộng sự, 2024; Yao và cộng sự, 2025), đặc biệt là các quốc gia đang phát triển (Osei, 2024). Điển hình ở các quốc gia đang phát triển tại Nam Á, Bekun và cộng sự (2024) cung cấp bằng chứng thực nghiệm cho thấy dòng vốn FDI có mối quan hệ dạng N-shaped với lượng phát thải CO_2, tức là trong ngắn hạn và dài hạn sự gia tăng FDI có thể làm trầm trọng thêm ô nhiễm môi trường, mặc dù trong một khoảng thời gian nào đó FDI có thể làm giảm ô nhiễm môi trường. Nguyên nhân đến từ việc các doanh nghiệp đa quốc gia tận dụng chi phí xử lý ô nhiễm thấp và các quy định lỏng lẻo nhằm gia tăng GDP thông qua đóng góp của FDI tại các nước này (Demena & Afesorgbor, 2020; Kwakwa và cộng sự, 2023). Tuy nhiên, FDI cũng có thể giúp cải thiện chất lượng môi trường nếu đi kèm với công nghệ sạch và tiêu chuẩn quản lý môi trường cao hơn (Bello và cộng sự, 2024; Wijethunga và cộng sự, 2025), nhưng điều này không phải lúc nào cũng đảm bảo (Bello và cộng sự, 2024) và phụ thuộc vào hiệu quả của chính sách quản lý môi trường tại nước nhận đầu tư (Yahya & Rafiq, 2020).

Thêm vào đó, gần đây sự phát triển mạnh mẽ của Công nghệ Thông tin và Truyền thông (ICT) đã mang lại những lợi ích kinh tế và xã hội to lớn nhưng đồng thời cũng đặt ra những thách thức nghiêm trọng về môi trường tại các quốc gia Châu Á (Batool và cộng sự, 2023). Belkhir và Elmeligi (2018) cho rằng, nếu không có các biện pháp kiểm soát phù hợp, phát thải CO_2 từ ngành ICT có thể tăng từ 1-1,6% tổng phát thải vào năm 2007 lên hơn 14% lượng khí thải nhà kính toàn cầu năm 2016 vào năm 2040, thậm chí vượt qua cả ngành giao thông vận tải về lượng khí nhà kính (GHG). Nguyên nhân chính của sự gia tăng này là do mức tiêu thụ năng lượng lớn trong quá trình sản xuất, vận hành thiết bị điện tử và trung tâm dữ liệu, đặc biệt là sự bùng nổ của smartphone và thiết bị kết nối mạng. Bên cạnh đó, Balsalobre-Lorente và cộng sự (2025) cũng cảnh báo việc phát triển ICT có thể làm trầm trọng thêm ô nhiễm môi trường nếu không đi kèm với các chính sách phát triển bền vững và quản lý chặt chẽ lượng phát thải. Do đó, cần có các chính sách như sử dụng năng lượng tái tạo trong trung tâm dữ liệu, đánh thuế carbon lên sản phẩm công nghệ và thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn trong ngành ICT (Cordella và cộng sự, 2021).

Hiện nay, tác động của FDI đối với môi trường tại các quốc gia Đông Nam Á đang được quan tâm nhiều hơn khi mà dòng vốn FDI được dự báo là có xu hướng dịch chuyển về khu vực này khi căng thẳng thương mại giữa Mỹ và Trung Quốc gia tăng. Thêm vào đó, các quốc gia thuộc khu vực này cũng ngày càng quan tâm đến vấn đề về phát triển kinh tế bền vững thông qua phát triển hạ tầng ICT (Latif và cộng sự, 2017). Ảnh hưởng của FDI đến ô nhiễm môi trường tại các quốc gia Đông

Nam Á đã được thực hiện bởi một số nghiên cứu trước (Behera & Dash, 2017; Bekun và cộng sự, 2024; Mai, 2023). Tuy nhiên, tác động của ICT đến ô nhiễm môi trường và vai trò điều tiết của ICT đến mối quan hệ giữa FDI và ô nhiễm môi trường chưa được các nghiên cứu trước xem xét.

Nghiên cứu của chúng tôi nhằm đóng góp vào các tranh luận hiện nay về tác động của ICT và FDI đối với ô nhiễm môi trường tại Đông Nam Á. Một cách cụ thể, nghiên cứu của chúng tôi có ba đóng góp quan trọng. *Thứ nhất*, nghiên cứu này xem xét tác động của ICT đến ô nhiễm môi trường. Dựa trên các chỉ số sẵn có đại diện cho các khía cạnh của ICT như: Thuê bao điện thoại cố định, thuê bao di động, thuê bao băng thông rộng cố định, người dùng Internet, máy chủ Internet an toàn, chúng tôi xây dựng chỉ số ICT tổng hợp bằng phương pháp phân tích thành phần chính (Principal Component Analysis – PCA) thành một chỉ số toàn diện, khắc phục hạn chế của các nghiên cứu trước vốn chỉ sử dụng các chỉ số đơn lẻ. *Thứ hai*, chúng tôi xem xét vai trò điều tiết của ICT đến mối quan hệ giữa FDI và ô nhiễm môi trường. Cả hai vấn đề này chưa được các nghiên cứu trước xem xét. *Thứ ba*, nghiên cứu chúng tôi sử dụng phương pháp ước lượng Driscoll-Kraay standard error (DKSE) để hồi quy các mô hình tác động của ICT và FDI đến ô nhiễm môi trường. Phương pháp DKSE được sử dụng trong một số nghiên cứu gần đây và được xem là phù hợp trong việc giải quyết vấn đề tự tương quan và phương sai sai số thay đổi (Chowdhury và cộng sự, 2023; Dang và cộng sự, 2025; Hussain và cộng sự, 2023).

Các phát hiện của nghiên cứu cho thấy các kết quả thú vị. Sự phát triển ICT và FDI đều làm tăng ô nhiễm môi trường tại các quốc gia Đông Nam Á. Tuy nhiên, ICT làm giảm tác động tiêu cực của FDI đến ô nhiễm môi trường. Chúng tôi cho rằng, kết quả nghiên cứu này sẽ là tài liệu tham khảo phù hợp có giá trị cho các nhà làm chính sách tại các quốc gia Đông Nam Á nhằm phát triển kinh tế bền vững gắn liền với bảo vệ môi trường.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Tác động của ICT đến môi trường

Một số nghiên cứu gần đây cho thấy rằng, công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) có tác động phức tạp đến ô nhiễm môi trường. Trên khía cạnh tích cực, ICT có khả năng làm giảm phát thải CO_2 thông qua kênh kỹ thuật và hiệu quả tài nguyên (Khan và cộng sự, 2020). ICT giúp nâng cao hiệu suất sử dụng năng lượng, tối ưu hóa chuỗi cung ứng và hệ thống vận tải, hỗ trợ phát triển thành phố thông minh, lưới điện thông minh, giao thông thông minh và quy trình sản xuất công nghiệp tiên tiến (Añón Higón và cộng sự, 2017). Danish (2019) cho thấy rằng, ICT giúp giảm phát thải CO_2 thông qua các ứng dụng trong nông nghiệp, năng lượng, giao thông vận tải và tài chính, bằng cách thay thế các phương thức sản xuất kém hiệu quả bằng các công nghệ tiên tiến hơn. Thật vậy, các ứng dụng IoT (Internet of Things) góp phần quan trọng giúp tối ưu hóa hệ thống tưới tiêu trong nông nghiệp, giảm lãng phí nước và năng lượng (Balamurali và cộng sự, 2025; George Princess và cộng sự, 2022). Ngoài ra, ICT còn đóng vai trò giám sát và kiểm soát khí hậu thông qua các hệ thống cảm biến môi trường, vệ tinh, và phân tích dữ liệu lớn (big data) để dự báo và quản lý rủi ro thiên tai (Bhujabal và cộng sự, 2021). Điều này giúp các chính phủ và doanh nghiệp có thể đưa ra các quyết định chính xác hơn trong việc giảm thiểu tác động môi trường.

Tuy nhiên, việc phát triển ICT có thể gây ra một số vấn đề tiêu cực đối với phát thải CO_2. Khan và cộng sự (2020) chỉ ra rằng, trong giai đoạn đầu ICT có thể làm gia tăng ô nhiễm môi trường. Khi ICT được đưa vào doanh nghiệp như một phần của quá trình tăng trưởng, nó có thể làm tăng mức tiêu thụ năng lượng, đặc biệt là trong các ngành công nghiệp đòi hỏi nhiều máy tính và phần mềm (Añón Higón và cộng sự, 2017). Tỷ trọng thực tế đóng góp vào phát thải khí nhà kính toàn cầu của ICT ước tính gần 4% và tiếp tục gia tăng (Freitag và cộng sự, 2021). Do vậy, Belkhir và Elmeligi (2018) dự báo rằng, nếu không có biện pháp kiểm soát

mạnh mẽ, tỷ trọng phát thải của ngành ICT có thể tăng lên tới khoảng 14% tổng phát thải toàn cầu vào năm 2040, tương đương hơn một nửa phát thải hiện tại của toàn bộ ngành giao thông vận tải. Phần lớn phát thải này đến từ trung tâm dữ liệu, mạng lưới truyền thông và vòng đời thiết bị. Các phân tích vòng đời cho thấy smartphone và các thiết bị ICT có vòng đời ngắn, tiêu tốn nhiều tài nguyên từ khâu khai thác nguyên liệu, sản xuất, phân phối đến sử dụng và thải bỏ; riêng giai đoạn sử dụng dịch vụ mạng có thể làm tăng thêm lượng phát thải CO_2 (Cordella và cộng sự, 2021; Ercan và cộng sự, 2016). Nghiên cứu thực nghiệm của Alataş (2021) cho mẫu gồm 93 quốc gia và dùng chỉ tiêu thuê bao điện thoại cố định, di động và người dùng internet làm thước đo cho ICT, tìm thấy ICT có tác động cùng chiều đáng kể đến phát thải CO_2 trong dài hạn. Tương tự, Onyeneke và cộng sự (2024) cho thấy ở châu Phi, mật độ thuê bao di động làm tăng đáng kể phát thải CO_2 trong dài hạn. Chi và Meng (2023) cho rằng, việc đánh giá tác động của ICT đến phát thải CO_2 phải được nhìn nhận chi tiết ở các góc nhìn khác nhau thông qua phân loại phần cứng hoặc phần mềm. Nhóm nghiên cứu này chỉ ra rằng, phần cứng (hạ tầng, thiết bị) thường gắn với gia tăng phát thải, trong khi phần mềm như dịch vụ số lại giúp cải thiện hiệu quả năng lượng và giảm phát thải.

Tóm lại có thể thấy rằng, tác động của ICT đến môi trường phụ thuộc vào trình độ phát triển và chất lượng hạ tầng và cấu trúc năng lượng của mỗi quốc gia (Balsalobre-Lorente và cộng sự, 2025). Ở các nước phát triển, nơi lưới điện có tỷ trọng năng lượng tái tạo cao, hạ tầng mạng hiệu quả và chính sách môi trường chặt chẽ, ICT và số hóa có xu hướng cải thiện chất lượng môi trường hoặc ít nhất làm giảm cường độ phát thải (Jafar và cộng sự, 2025). Trong khi, ở các nền kinh tế đang phát triển, nơi ICT chủ yếu mở rộng thông qua gia tăng nhanh thuê bao di động và băng rộng, nhưng hệ thống điện vẫn dựa vào than, dầu, khí, hiệu suất năng lượng thấp và quản lý chất thải điện tử kém thường dẫn đến các mặt tiêu cực lấn át mặt tích cực của ICT đối với môi trường (Alataş, 2021; Appiah-Otoo và cộng sự, 2023). Đối với các nước Đông Nam Á, nơi mà phần lớn các quốc gia đang phát triển, việc phát triển ICT đang ở giai đoạn đầu (World Bank, 2019). Dòng vốn chủ yếu tập trung mở rộng hạ tầng di động, trung tâm dữ liệu và nhập khẩu thiết bị giá rẻ tiêu tốn nhiều điện, do vậy việc phát triển ICT trong giai đoạn này thường làm tăng phát thải. Trên cơ sở đó, chúng tôi đề xuất kiểm định giả thuyết sau:

Giả thuyết H1: Công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) có tác động thuận chiều đến phát thải CO_2.

2.2. Tác động của FDI đến môi trường

Đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy tăng trưởng kinh tế, tạo việc làm và chuyển giao công nghệ giữa các quốc gia. FDI có thể tác động đến môi trường theo nhiều cách khác nhau, tùy thuộc vào loại hình đầu tư, công nghệ được chuyển giao và chính sách môi trường của nước nhận đầu tư (Demena & Afesorgbor, 2020). Một số nghiên cứu chỉ ra rằng, FDI có thể làm tăng phát thải CO_2 do khuyến khích mở rộng sản xuất công nghiệp và tiêu thụ năng lượng hóa thạch (Wang & Huang, 2022). Ngược lại, FDI cũng có thể mang lại công nghệ xanh, giúp nâng cao hiệu suất năng lượng và giảm ô nhiễm (Bhujabal và cộng sự, 2021). Do đó, tác động của FDI đến môi trường không đồng nhất mà phụ thuộc vào các yếu tố trung gian như chính sách môi trường, cơ cấu ngành kinh tế, và mức độ phát triển của quốc gia nhận đầu tư (Georgescu và cộng sự, 2024).

Giả thuyết thiên đường ô nhiễm (Pollution Haven Hypothesis – PHH) cho rằng, các nước đang phát triển với quy định môi trường lỏng lẻo sẽ thu hút FDI từ các ngành công nghiệp gây ô nhiễm, khi các công ty từ các nước phát triển tìm cách tránh chi phí kiểm soát ô nhiễm cao tại quê nhà (Achuo & Ojong, 2024; Georgescu và cộng sự, 2024). Minh chứng cho PHH, nghiên cứu của Bekun và cộng sự (2024) phát hiện rằng, FDI có thể thúc đẩy ô nhiễm môi trường trong các quốc gia Nam Á, nơi có quy định môi trường yếu kém. Họ kiểm chứng sự tồn tại của

mô hình N-shaped giữa FDI và phát thải CO_2, tức là ban đầu FDI làm tăng ô nhiễm, sau đó tác động này giảm dần nhưng lại tăng trở lại khi đạt đến một mức độ phát triển nhất định. Điều này phản ánh thực tế rằng, các nước đang phát triển có thể trở thành "bãi rác công nghiệp" nếu không có biện pháp kiểm soát FDI hợp lý. Một nghiên cứu khác của Wang và Huang (2022) cũng cho thấy rằng trong ngắn hạn, FDI có tác động làm gia tăng đáng kể đến phát thải CO_2, nhưng trong dài hạn, tác động này không còn có ý nghĩa thống kê. Điều này cho thấy rằng, FDI có thể gây ô nhiễm trong giai đoạn đầu, nhưng về lâu dài, các quốc gia có thể điều chỉnh chính sách để kiểm soát tác động môi trường của dòng vốn đầu tư. Một ví dụ điển hình về tác động làm gia tăng ô nhiễm môi trường của FDI là Trung Quốc, nơi có mức thu hút FDI lớn nhất thế giới, đồng thời cũng là quốc gia phát thải khí nhà kính hàng đầu. Các doanh nghiệp FDI tại Trung Quốc góp phần đáng kể vào phát thải khí CO_2 và các loại khí thải công nghiệp, điều này phản ánh xu hướng dịch chuyển các ngành công nghiệp có cường độ ô nhiễm cao từ các quốc gia phát triển sang Trung Quốc. Hiện tượng này phù hợp với giả thuyết thiên đường ô nhiễm (PHH), trong đó các nước đang phát triển, như Trung Quốc, thu hút đầu tư từ các quốc gia có tiêu chuẩn môi trường nghiêm ngặt hơn, dẫn đến gia tăng ô nhiễm công nghiệp (Chi & Meng, 2023; Demena & Afesorgbor, 2020; Wang & Huang, 2022). Kết quả từ nghiên cứu của Kwakwa và cộng sự (2023) cũng củng cố cho giả thuyết PHH khi chỉ ra rằng tại Ghana, FDI có ảnh hưởng đáng kể đến phát thải CO_2 cả trong ngắn hạn lẫn dài hạn. Điều này được giải thích bởi việc các doanh nghiệp nước ngoài tận dụng các chính sách môi trường lỏng lẻo và nguồn năng lượng hóa thạch giá rẻ tại nước chủ nhà.

Trái ngược với giả thuyết thiên đường ô nhiễm, giả thuyết quầng sáng ô nhiễm (Pollution Halo Hypothesis – PHH) cho rằng, FDI có thể giúp cải thiện môi trường thông qua chuyển giao công nghệ xanh và nâng cao hiệu quả sản xuất (Padhan & Bhat, 2024; Pilatin và cộng sự, 2025; Tabash và cộng sự, 2025). Các công ty nước ngoài thường mang theo quy trình sản xuất tiên tiến, sử dụng năng lượng hiệu quả và công nghệ thân thiện môi trường, từ đó giúp giảm phát thải CO_2 tại nước chủ nhà (Demena & Afesorgbor, 2020). Nghiên cứu của Bhujabal và cộng sự (2021) cho thấy rằng, tại các nước châu Á - Thái Bình Dương, FDI giúp giảm ô nhiễm môi trường nhờ vào công nghệ sản xuất tiên tiến. Kết quả từ phương pháp Pooled Mean Group (PMG) khẳng định rằng, FDI có mối quan hệ nghịch chiều với ô nhiễm môi trường, tức là càng nhiều FDI, lượng phát thải CO_2 càng giảm. Hơn nữa, nghiên cứu của Georgescu và cộng sự (2024) tại khu vực Mỹ Latinh cũng tìm thấy bằng chứng mạnh mẽ ủng hộ giả thuyết quầng sáng ô nhiễm, khi một số quốc gia như Chile và Costa Rica đã thành công trong việc thu hút FDI xanh vào các ngành năng lượng tái tạo và công nghệ sạch. Điều này giúp giảm đáng kể dấu chân carbon và hướng tới phát triển bền vững.

Đối với khu vực Đông Nam Á, mục tiêu ưu tiên tăng trưởng kinh tế thường dẫn đến sự đánh đổi về chất lượng môi trường, thể hiện qua xu hướng gia tăng tiếp nhận các dự án FDI có rủi ro phát thải cao (Nguyen và cộng sự, 2023). Đặc biệt, khu vực này trở thành điểm đến hấp dẫn cho các dự án bị hạn chế tại các quốc gia sở tại do các quy định môi trường nghiêm ngặt (Chi & Meng, 2023; Demena & Afesorgbor, 2020; Wang & Huang, 2022). Do vậy, chúng tôi đề xuất kiểm định giả thuyết:

Giả thuyết H2: Đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) có tác động cùng chiều đến phát thải CO_2.

2.3. Vai trò điều tiết của ICT đến mối quan hệ giữa FDI và ô nhiễm môi trường

Hiện nay, có ít nghiên cứu thảo luận sâu sắc về vai trò điều tiết quan trọng của ICT đối với mối quan hệ giữa FDI và phát thải CO_2. Mặc dầu vậy, trong số những tài liệu hiện có cho thấy rằng, ICT có thể ảnh hưởng hai mặt đến mối quan hệ trên. Một mặt, ICT có thể làm giảm tác động cùng chiều của FDI đến phát thải CO_2 thông qua một số cơ chế sau: *Thứ nhất*, ICT giúp giảm bất cân xứng thông tin và tối ưu hóa hiệu quả kỹ thuật. Đặc biệt, các giải pháp

phần mềm giúp thu hẹp khoảng cách thông tin giữa doanh nghiệp FDI và đối tác nội địa, từ đó tối ưu hóa chuỗi cung ứng và giảm chi phí giao dịch. Sự minh bạch thông tin này khuyến khích các doanh nghiệp FDI chuyển dịch từ mô hình "sản xuất bẩn - chi phí thấp" sang áp dụng các công nghệ sạch và quy trình tinh gọn, qua đó giảm lãng phí năng lượng và phát thải (Chi & Meng, 2023). Đồng thời, hạ tầng phần cứng (như lưới điện thông minh, hệ thống vận tải thông minh) giúp tăng năng suất lao động và hiệu quả sử dụng tài nguyên trong các dự án FDI. *Thứ hai*, ICT thúc đẩy quá trình "phi vật chất hóa" nền kinh tế. Thông qua chuyển đổi số, các ứng dụng như hội nghị trực tuyến và thương mại điện tử giúp thay thế các sản phẩm/dịch vụ hữu hình bằng các giải pháp vô hình (Chi & Meng, 2023). Điều này làm giảm đáng kể nhu cầu di chuyển, không gian văn phòng vật lý và tiêu thụ vật chất, từ đó cắt giảm lượng khí thải carbon gắn liền với các hoạt động vận hành truyền thống của doanh nghiệp FDI. *Thứ ba*, ICT nâng cao năng lực giám sát và thực thi chính sách môi trường. Một hệ thống ICT phát triển cung cấp công cụ cho các cơ quan quản lý theo dõi lượng phát thải khí nhà kính của khu vực FDI một cách chính xác và kịp thời. Việc ứng dụng dữ liệu lớn và mạng lưới cảm biến môi trường giúp phát hiện sớm các nguồn ô nhiễm, buộc các doanh nghiệp nước ngoài phải tuân thủ nghiêm ngặt quy định sở tại (Chi & Meng, 2023). Cơ chế này ngăn chặn hiệu quả hành vi lợi dụng các "thiên đường ô nhiễm" để tối đa hóa lợi nhuận mà bỏ qua chi phí sinh thái. Thứ tư, ICT tạo động lực cho công nghệ xanh và gia tăng áp lực xã hội. Sự hoàn thiện của hạ tầng số tại quốc gia tiếp nhận tạo điều kiện thuận lợi cho việc khuếch tán công nghệ xanh, hỗ trợ doanh nghiệp FDI tiếp cận các giải pháp năng lượng bền vững (Islam & Ali, 2024). Quan trọng hơn, sự phổ cập của internet và truyền thông xã hội giúp nâng cao nhận thức cộng đồng. Người dân và các tổ chức phi chính phủ có thể dễ dàng giám sát và tạo áp lực xã hội, buộc các doanh nghiệp FDI phải thực hiện trách nhiệm môi trường theo các tiêu chuẩn quốc tế (Danish, 2019; Heyes & King, 2020).

Ở khía cạnh khác, ICT cũng có thể làm tăng tác động cùng chiều của FDI đến phát thải CO_2. ICT phát triển làm giảm mạnh các chi phí thông tin, tìm kiếm địa điểm và giao dịch quốc tế. Trước áp lực mục tiêu thúc đẩy tăng trưởng kinh tế, một số quốc gia đang phát triển có thể nới lỏng các quy định về môi trường, điều này khiến dòng FDI, kể cả FDI vào ngành bẩn, vào các quốc gia này mạnh hơn (Jakada và cộng sự, 2023). Thêm nữa, trong bối cảnh nhiều doanh nghiệp FDI có chất lượng xấu, gây ô nhiễm, ICT chủ yếu được dùng để tăng sản xuất chứ chưa phải để quản lý môi trường, giám sát phát thải hay tối ưu năng lượng. Khi đó, ICT trở thành "đòn bẩy" làm khuếch đại tác động cùng chiều của FDI đến phát thải CO_2 (Jakada và cộng sự, 2023).

Đối với trường hợp của các nước Đông Nam Á, chúng tôi hướng đến quan điểm lập luận ICT có thể làm tăng tác động cùng chiều của FDI đến phát thải CO_2. Do vậy, chúng tôi đề xuất kiểm định giả thuyết nghiên cứu sau:

Giả thuyết H3: ICT có vai trò làm tăng tác động cùng chiều của FDI đến phát thải CO_2.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Mô hình nghiên cứu

Dựa trên việc tham khảo ý tưởng từ mô hình của các nghiên cứu trước (Bhujabal và cộng sự, 2021; Jakada và cộng sự, 2023; Shehzad và cộng sự, 2021) nhóm tác giả đề xuất mô hình hồi quy đánh giá tác động của ICT và FDI đến ô nhiễm môi trường như sau:

$$LnCO_{2it} = \alpha_0 + \beta_1 ICT_{it} + \beta_2 FDI_{it} + \beta_3 ICT^{*} FDI_{it} + \beta_4 GDP_{it} + \beta_5 FD_{it} + \beta_6 GCF_{it} + \beta_7 TRA_{it} + \lambda_i + \mu_t + \varepsilon_{it}$$

Trong đó: i biểu thị cho quốc gia, t biểu thị cho thời gian, λi biểu thị các hiệu ứng cố định của quốc gia; μ_t biểu thị các hiệu ứng cố định theo thời gian, ε_{it} biểu thị cho sai số.

Chi tiết về các biến được định nghĩa như ở Phụ lục 2 *(xem Phụ lục 2 online).*

Tác động của một số yếu tố khác đến ô nhiễm môi trường:

Tăng trưởng kinh tế (GDP) được đo bằng tăng trưởng GDP bình quân đầu người, có tác động đáng kể đến ô nhiễm môi trường. Ô nhiễm tăng trong giai đoạn đầu của tăng trưởng kinh tế do mở rộng các hoạt động công nghiệp, nhưng có thể giảm khi các quốc gia đạt mức thu nhập cao hơn nhờ đầu tư vào công nghệ sạch và chính sách môi trường hiệu quả (Arif và cộng sự, 2025; Grossman & Krueger, 1995). Các nghiên cứu cho thấy, GDP bình quân đầu người thường làm tăng phát thải CO_2 ở các nước đang phát triển, bao gồm cả Đông Nam Á, do nhu cầu năng lượng cao trong quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa (Jahanger & Usman, 2023; Weimin và cộng sự, 2022). Việc đưa GDP vào mô hình giúp kiểm soát tác động của tăng trưởng kinh tế, đảm bảo đánh giá chính xác ảnh hưởng của ICT và FDI đến phát thải CO_2.

Phát triển tài chính (FD), đo bằng tín dụng nội địa cho khu vực tư nhân (% GDP), ảnh hưởng đến ô nhiễm môi trường thông qua việc hỗ trợ các hoạt động kinh tế. Phát triển tài chính có thể làm tăng CO_2 bằng cách cung cấp tín dụng cho các ngành công nghiệp sử dụng nhiều năng lượng, nhưng cũng có tiềm năng giảm ô nhiễm nếu tín dụng được định hướng vào các dự án công nghệ xanh và bền vững (Langa và cộng sự, 2023; Shaikh và cộng sự, 2023). Trong bối cảnh Đông Nam Á, phát triển tài chính đóng vai trò quan trọng trong việc thu hút FDI và hỗ trợ đầu tư vào hạ tầng ICT, nhưng có thể làm tăng ô nhiễm nếu không đi kèm với các chính sách môi trường (Khatri Chettri, 2022). FD được đưa vào mô hình để kiểm soát ảnh hưởng của hệ thống tài chính đến ô nhiễm, giúp cô lập tác động của ICT và FDI.

Tổng tích lũy vốn (GCF), đo bằng tổng tích lũy vốn (% GDP), phản ánh mức độ đầu tư vào cơ sở hạ tầng và thiết bị, có thể làm tăng phát thải CO_2 do mở rộng các hoạt động sản xuất công nghiệp (Sepehrdoust và cộng sự, 2023). Trong giai đoạn phát triển ban đầu của các quốc gia Đông Nam Á, GCF thường liên quan đến các dự án sử dụng năng lượng hóa thạch, dẫn đến gia tăng ô nhiễm. Tuy nhiên, nếu được định hướng vào các dự án bền vững, như cơ sở hạ tầng năng lượng tái tạo, GCF có thể góp phần giảm phát thải (Sepehrdoust và cộng sự, 2023). Việc đưa GCF vào mô hình giúp kiểm soát tác động của đầu tư vốn đến ô nhiễm môi trường, hỗ trợ kiểm soát các yếu tố khác để làm rõ tác động của ICT và FDI.

Thương mại quốc tế (TRA), đo bằng thương mại (% GDP), có tác động kép đến ô nhiễm môi trường. Theo lý thuyết về thương mại và môi trường, mở cửa thương mại có thể làm tăng CO_2 do mở rộng sản xuất hàng xuất khẩu hoặc nhập khẩu công nghệ gây ô nhiễm, nhưng cũng có thể giảm ô nhiễm nếu các quốc gia nhập khẩu công nghệ sạch hoặc áp dụng các tiêu chuẩn môi trường quốc tế (You và cộng sự, 2022). Ở Đông Nam Á, nơi hội nhập kinh tế quốc tế phát triển mạnh, TRA có thể làm tăng phát thải do các ngành công nghiệp xuất khẩu sử dụng nhiều năng lượng, nhưng cũng có tiềm năng cải thiện chất lượng môi trường thông qua chuyển giao công nghệ xanh (Cutcu và cộng sự, 2023). TRA được đưa vào mô hình để kiểm soát ảnh hưởng của thương mại quốc tế, giúp đánh giá chính xác hơn tác động của ICT và FDI.

3.2. Nguồn dữ liệu

Mẫu nghiên cứu bao gồm 11 quốc gia Đông Nam Á: Brunei Darussalam, Indonesia, Cambodia, Lao PDR, Myanmar, Malaysia, Philippines, Singapore, Thailand, Timor-Leste và Vietnam; với dữ liệu thu thập từ Ngân hàng Thế giới (World Bank) trong giai đoạn 1990-2023. Đặc trưng của mẫu nghiên cứu được trình bày trong Phụ lục 3 *(xem Phụ lục 3 online)*. Cụ thể, biến $LnCO_2$ có giá trị thấp nhất là -6,13 và cao nhất là 3,16. Biến FDI có giá trị thấp nhất là -32,96 và cao nhất là 34,95. Biến ICT có giá trị thấp nhất là -3,12 và cao nhất là 6,09, cho thấy sự chênh lệch lớn trong phát triển hạ tầng ICT giữa các quốc gia. Các kết quả này cho thấy sự khác biệt giữa các quốc gia trong khu vực Đông Nam Á về các yếu tố ICT, FDI và phát thải CO_2.

Kết quả tương quan giữa các biến chính trong mô hình nghiên cứu *(xem Phụ lục 4 online)* cho thấy, mối tương quan giữa ICT và CO_2 (0,80) phản ánh rằng sự phát triển của công nghệ thông tin có thể đi kèm với sự gia tăng phát thải khí CO_2, do sự mở rộng hạ tầng ICT và nhu cầu tiêu thụ năng lượng gia tăng. Tương tự, mối tương quan giữa FDI và CO_2 (0,28) cho thấy dòng vốn đầu tư nước ngoài có thể tác động đến mức độ phát thải trong khu vực, đặc biệt là khi FDI hướng vào các ngành công nghiệp nặng và sử dụng nhiều năng lượng. Ngoài ra, mối tương quan giữa phát triển tài chính (FD) và CO_2 (0,68) phản ánh vai trò của hệ thống tài chính trong việc hỗ trợ các ngành công nghiệp có mức tiêu thụ năng lượng cao, từ đó góp phần vào sự gia tăng ô nhiễm. Tuy nhiên, hệ số tương quan giữa các biến độc lập đều không vượt quá 0,80 cho thấy vấn đề đa cộng tuyến không nghiêm trọng (Gujarati, 2009).

3.3. Phương pháp ước lượng

Nghiên cứu này vận dụng mô hình hồi quy dữ liệu bảng để đánh giá ảnh hưởng của công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) và đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) đối với ô nhiễm môi trường ở các quốc gia Đông Nam Á, thông qua việc áp dụng mô hình hiệu ứng cố định (FEM) và mô hình hiệu ứng ngẫu nhiên (REM), được cho là hiệu quả với dữ liệu không cân bằng (Wibowo & Sinu, 2017). Tuy nhiên, cả hai mô hình đều có thể gặp phải các vấn đề như phương sai thay đổi và tự tương quan, làm ảnh hưởng đến tính chính xác của các ước lượng. Do đó, nhóm nghiên cứu thực hiện kiểm định Modified Wald test để phát hiện phương sai thay đổi, Wooldridge test để kiểm tra tự tương quan trong sai số và kiểm định Hausman để tìm ra mô hình phù hợp. Nếu một hoặc cả hai vấn đề này xuất hiện, việc sử dụng ước lượng tiêu chuẩn có thể không còn đảm bảo độ tin cậy của kết quả. Để khắc phục các hạn chế, nghiên cứu áp dụng phương pháp ước lượng sai số chuẩn Driscoll-Kraay (DKSE) được đề xuất bởi Driscoll and Kraay (1998), giúp xử lý đồng thời phương sai thay đổi và tự tương quan, đảm bảo kết quả đáng tin cậy hơn (Chowdhury và cộng sự, 2023; Dang và cộng sự, 2025; Hussain và cộng sự, 2023) và phù hợp với dữ liệu bảng không cân bằng (Minh Ha và cộng sự, 2022).

4. Kết quả nghiên cứu

Kết quả kiểm định Modified Wald test và Wooldridge test ở Bảng 1 chỉ ra rằng, mô hình có thể gặp vấn đề phương sai thay đổi và tự tương quan. Ngoài ra, kiểm định Hausman ủng hộ việc lựa chọn FEM thay vì REM. Do đó, nhóm nghiên cứu áp dụng phương pháp ước lượng sai số chuẩn Driscoll-Kraay (DKSE) trong mô hình FEM để khắc phục các hạn chế trên. Kết quả hồi quy được trình bày trong Bảng 6 sẽ là cơ sở chính để phân tích và thảo luận trong nghiên cứu này.

Bảng 1. *Kết quả hồi quy bằng phương pháp FEM và REM*

Biến	FEM			REM		
	Hệ số	Thống kê t	p-value	Hệ số	Thống kê z	p-value
ICT	0,0544**	2,05	0,04	0,0795***	2,61	0,01
FDI	0,0096**	2,02	0,05	0,0086	1,62	0,10
ICTFDI	-0,0023	-1,47	0,15	-0,0021	-1,18	0,24
GDP	0,0056*	1,83	0,07	0,0048	1,36	0,17
FD	0,0105***	9,65	0,00	0,0099***	8,06	0,00
GCF	-0,0079**	-2,48	0,02	-0,0067*	-1,87	0,06
TRA	0,0009	1,23	0,22	0,0012	1,47	0,14

Biến	FEM			REM		
	Hệ số	Thống kê t	p-value	Hệ số	Thống kê z	p-value
Giai đoạn mẫu	1990–2023			1990–2023		
Số quan sát	110			110		
R^2	0,66			0,66		

Lưu ý: Các mô hình được hồi quy bằng ước lượng FEM, REM; *, ** và *** biểu thị ý nghĩa thống kê ở mức 10%, 5% và 1%. Biến tương tác ICTFDI = ICT*FDI.

Bảng 2. *Kết quả các kiểm định lựa chọn mô hình*

Kiểm định	Giả thuyết H0	Thống kê kiểm định	p-value	Kết luận
Modified Wald	Phương sai sai số không đổi	138,71	0,0000	Có phương sai thay đổi
Wooldridge	Không có tự tương quan	41,285	0,0002	Có tự tương quan
Hausman	REM là phù hợp	$\chi^2 = 31,04$	0,0001	Chọn FEM

Bảng 3. *Kết quả hồi quy bằng phương pháp DKSE*

Biến	DKSE		
	Hệ số	Thống kê t	p-value
ICT	0,0544**	2,77	0,02
FDI	0,0096**	2,35	0,04
ICTFDI	-0,0023***	-3,2	0,01
GDP	0,0056***	3,42	0,00
FD	0,0105***	7,19	0,00
GCF	-0,0079**	-2,31	0,04
TRA	0,0009	1,85	0,09
Giai đoạn mẫu	1990–2023		
Số quan sát	110		
R^2	0,66		

Lưu ý: Các mô hình được hồi quy bằng ước lượng DKSE; *, ** và *** biểu thị ý nghĩa thống kê ở mức 10%, 5% và 1%. Biến tương tác ICTFDI = ICT*FDI.

Bảng 6 trình bày kết quả ước lượng tác động của ICT và FDI đến phát thải CO_2 bằng phương pháp DKSE. Hệ số xác định ($R^2 = 0,66$) cho thấy mô hình có độ phù hợp cao, phản ánh rằng các biến độc lập giải thích được 66% sự biến động của phát thải CO_2. Các giá trị t-stat và p-value xác nhận rằng hầu hết các biến đều có ý nghĩa thống kê ở mức 1%, 5% và 10%, cho thấy tính ổn định của kết quả.

Hệ số hồi quy ICT là 0,0544 và có ý nghĩa thống kê ở mức 5% (p = 0,02) cho thấy rằng, sự phát triển của ICT có xu hướng làm gia tăng phát thải CO_2. Kết quả nghiên cứu ủng hộ giả thuyết H1: Công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) có tác động thuận chiều đến phát thải CO_2. Phát hiện của nghiên cứu phù hợp với nghiên cứu của Belkhir và Elmeligi (2018), khi chỉ ra rằng ngành ICT có thể trở thành một

nguồn phát thải đáng kể, với mức tiêu thụ năng lượng ngày càng tăng từ trung tâm dữ liệu, thiết bị mạng và hạ tầng viễn thông, dự báo có thể chiếm hơn 14% tổng lượng phát thải toàn cầu vào năm 2040. Ngoài ra, trong giai đoạn đầu phát triển hạ tầng ICT có thể dẫn đến lượng tiêu thụ điện năng lớn hơn (Añón Higón và cộng sự, 2017; Balsalobre-Lorente và cộng sự, 2025), các thiết bị ICT cũng có vòng đời sản phẩm ngắn, dẫn đến mức tiêu thụ tài nguyên lớn từ khai thác nguyên liệu thô đến sản xuất, phân phối, sử dụng và tái chế (Cordella và cộng sự, 2021) từ đó làm tăng phát thải CO_2. Thêm vào đó, ở Đông Nam Á chủ yếu là các quốc gia đang phát triển, việc phát triển ICT vẫn đang ở giai đoạn đầu (World Bank, 2019), thông qua gia tăng nhanh thuê bao di động và băng rộng, nhưng hệ thống điện vẫn dựa vào than, dầu, khí, hiệu suất năng lượng thấp và quản lý chất thải điện tử kém thường dẫn đến các mặt tiêu cực lấn át mặt tích cực của ICT đối với môi trường (Alataş, 2021; Appiah-Otoo và cộng sự, 2023). Do vậy, chúng tôi đồng ý với quan điểm của Shehzad và cộng sự (2021) khi cho rằng phát triển ICT không đi kèm với chính sách phát triển bền vững có thể tác động tiêu cực đến môi trường nhiều hơn các lợi ích mà nó mang lại. Nói cách khác, kết quả nghiên cứu của chúng tôi nhấn mạnh rằng việc phát triển ICT cần có sự kiểm soát hợp lý để giảm thiểu tác động gia tăng ô nhiễm môi trường, đặc biệt là trong giai đoạn đầu mở rộng hạ tầng số.

Tác động của FDI đến môi trường với hệ số hồi quy dương 0,0096 và có ý nghĩa thống kê ở mức 5% (p = 0,04), cho thấy rằng FDI làm gia tăng phát thải CO_2. Kết quả này dẫn đến ủng hộ giả thuyết H2: Đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) có tác động thuận chiều đến phát thải CO_2. Như vậy kết quả nghiên cứu của chúng tôi củng cố giả thuyết Thiên đường ô nhiễm (Pollution Haven Hypothesis – PHH), theo đó các nước đang phát triển có thể trở thành điểm đến của các ngành công nghiệp gây ô nhiễm do tiêu chuẩn môi trường thấp hơn (Georgescu và cộng sự, 2024). Cơ chế này xảy ra khi các quốc gia có chính sách thu hút FDI nới lỏng, tạo điều kiện cho các ngành sản xuất sử dụng nhiều năng lượng như khai thác tài nguyên, luyện kim và công nghiệp nặng mở rộng hoạt động (Wang & Huang, 2022). Nghiên cứu của Kwakwa và cộng sự (2023) cũng xác nhận rằng FDI có thể góp phần làm tăng phát thải CO_2 trong cả ngắn hạn và dài hạn khi dòng vốn này chảy vào các lĩnh vực có mức tiêu thụ năng lượng cao mà không đi kèm với quy định môi trường nghiêm ngặt. Điều này nhấn mạnh rằng tác động của FDI đến môi trường phụ thuộc vào chính sách quản lý và định hướng đầu tư, thay vì chỉ dựa vào mức độ thu hút FDI đơn thuần. Nói cách khác, Chính phủ các quốc gia cần phải thực hiện các khâu lựa chọn, sàn lọc các dự án FDI có chất lượng tốt, hướng đến việc ưu tiên các dự án FDI có thể giúp cải thiện môi trường thông qua chuyển giao công nghệ sạch, xanh và nâng cao hiệu quả sản xuất (Padhan & Bhat, 2024; Pilatin và cộng sự, 2025; Tabash và cộng sự, 2025).

Điểm đáng chú ý trong kết quả hồi quy là biến ICTFDI có hệ số hồi quy -0,0023 và có ý nghĩa thống kê 1% (p = 0,01), cho thấy ICT có vai trò làm giảm tác động cùng chiều của FDI đến ô nhiễm môi trường. Kết quả này trái ngược với giả thuyết H3 của chúng tôi (ICT có vai trò làm tăng tác động cùng chiều của FDI đến phát thải CO_2). Phát hiện của nghiên cứu tương đồng với một số nghiên cứu trước đây như Phạm Đức Huy (2024) cho trường hợp của Việt Nam và Chi và Meng (2023) cho trường hợp của Trung Quốc, và phù hợp với trường hợp thực tế tại Malaysia và Singapore, khi FDI đã được liên kết với mức phát thải CO_2 thấp hơn nhờ công nghệ sạch (Kisswani & Zaitouni, 2023). Nói cách khác, các kết quả nghiên cứu ủng hộ lập luận rằng một hệ thống ICT phát triển có thể cải thiện hiệu quả giám sát và thực thi các chính sách môi trường, giúp các cơ quan quản lý theo dõi lượng phát thải khí nhà kính từ các doanh nghiệp FDI một cách chính xác và kịp thời. Việc áp dụng dữ liệu lớn và cảm biến môi trường có thể giúp phát hiện các nguồn ô nhiễm và buộc các doanh nghiệp nước ngoài tuân thủ nghiêm ngặt các quy định về môi trường (Chi & Meng, 2023). Điều này có thể làm giảm nguy cơ các doanh nghiệp FDI lợi dụng chính sách môi trường lỏng lẻo tại nước sở tại để tối đa

hóa lợi nhuận mà không quan tâm đến tác động sinh thái. Bên cạnh đó, việc phát triển cơ sở hạ tầng ICT có thể tạo ra tác động gián tiếp trong việc thúc đẩy nhu cầu sử dụng công nghệ xanh tại các doanh nghiệp FDI. Khi cơ sở hạ tầng số ngày càng được hoàn thiện, các doanh nghiệp sẽ có nhiều cơ hội tiếp cận các giải pháp tiết kiệm năng lượng và tối ưu hóa quy trình sản xuất thông minh. Mặc dù công nghệ của các doanh nghiệp FDI có thể đã tiên tiến, nhưng sự phát triển của ICT tại quốc gia tiếp nhận vẫn có thể đóng góp vào việc nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên và giảm phát thải, đồng thời hỗ trợ quá trình chuyển đổi sang năng lượng xanh bền vững (Islam & Ali, 2024). Ngoài ra, ICT có thể đóng vai trò quan trọng trong nâng cao nhận thức và áp lực xã hội về môi trường đối với các doanh nghiệp FDI. Khi tỷ lệ sử dụng internet và phương tiện truyền thông số cao, người dân có thể dễ dàng tiếp cận thông tin và theo dõi hoạt động của các doanh nghiệp nước ngoài, tạo ra áp lực xã hội để các công ty này tuân thủ nghiêm ngặt hơn các tiêu chuẩn môi trường quốc tế (Danish, 2019). Đồng thời, các nền tảng công nghệ số cũng giúp các tổ chức phi chính phủ và cộng đồng dễ dàng giám sát, báo cáo và thúc đẩy trách nhiệm môi trường của doanh nghiệp FDI (Heyes & King, 2020).

Các biến kiểm soát cho thấy có những tác động khác nhau đến ô nhiễm môi trường. Chẳng hạn GDP (hệ số hồi quy 0,0056, $p < 0,01$) làm tăng phát thải CO_2 dẫn đến ô nhiễm cao hơn (Bhujabal và cộng sự, 2021). Phát triển tài chính (FD) (hệ số hồi quy 0,0105, $p < 0,01$) cũng có tác động làm gia tăng ô nhiễm môi trường do mở rộng tín dụng vào các ngành công nghiệp sử dụng nhiều năng lượng (Dogan & Seker, 2016). Ngược lại, tổng tích lũy vốn (GCF) (hệ số hồi quy -0,0079, $p < 0,05$) giúp giảm phát thải, phản ánh vai trò của đầu tư vào công nghệ sạch và cơ sở hạ tầng bền vững (Baek, 2016). Thương mại quốc tế (TRA) (hệ số hồi quy 0,0009, $p = 0,09$) không có tác động rõ ràng đến phát thải CO_2, tùy thuộc vào cơ cấu xuất nhập khẩu (Karasoy & Akçay, 2019). Kết quả này nhấn mạnh rằng, tăng trưởng kinh tế và phát triển tài chính có thể làm tăng ô nhiễm nếu không có chính sách kiểm soát hợp lý, trong khi đầu tư vào hạ tầng bền vững có thể giúp giảm thiểu tác động môi trường.

5. Kết luận và hàm ý chính sách

Nghiên cứu này nhằm đánh giá tác động của công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) và đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) đến ô nhiễm môi trường tại các quốc gia Đông Nam Á trong giai đoạn từ 1990 đến 2023. Nghiên cứu sử dụng các phương pháp ước lượng tin cậy trong dữ liệu bảng bao gồm ước lượng FEM, REM và ước lượng sai số chuẩn Driscoll-Kraay. Các phát hiện của nghiên cứu chỉ ra rằng, ICT và FDI đều làm tăng sự ô nhiễm môi trường. Tuy nhiên, ICT có vai trò làm giảm tác động tiêu cực của FDI đến ô nhiễm môi trường.

Các kết quả nghiên cứu của chúng tôi đã làm rõ những đóng góp quan trọng trong các tranh luận hiện nay về tác động của ICT và FDI đối với ô nhiễm môi trường ở khu vực Đông Nam Á. *Thứ nhất*, nghiên cứu đã thông qua phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) từ các biến thành phần như tỷ lệ cá nhân sử dụng internet, thuê bao băng thông rộng cố định, thuê bao di động, người dùng internet, và số lượng máy chủ internet an toàn, để đánh giá tác động tổng thể của ICT đến môi trường. *Thứ hai*, chúng tôi phát hiện rằng mặc dù tác động của ICT và FDI có thể làm tăng ô nhiễm, nhưng sự kết hợp giữa ICT và FDI có thể giúp giảm ô nhiễm. Kết quả này cung cấp thêm bằng chứng thực nghiệm và lý thuyết quan trọng, đặc biệt trong bối cảnh các quốc gia Đông Nam Á đang đẩy mạnh phát triển công nghệ và thu hút FDI.

Dựa trên các kết quả tìm thấy, nghiên cứu có một số hàm ý chính sách cho Chính phủ các quốc gia Đông Nam Á.

Thứ nhất, Chính phủ các quốc gia nên có chính sách phát triển ICT bền vững. Mặc dù, ICT có vai trò rất quan trọng đối với tăng trưởng kinh tế, đặc biệt là các nước có thu nhập chưa cao (Appiah-Otoo & Song, 2021). Tuy nhiên, như kết quả nghiên cứu của chúng tôi chỉ ra rằng, ICT góp phần làm tăng phát thải CO_2

do mức tiêu thụ năng lượng ngày càng tăng từ trung tâm dữ liệu, thiết bị mạng và hạ tầng viễn thông (Añón Higón và cộng sự, 2017; Belkhir & Elmeligi, 2018). Đây là một thực trạng tồn tại ở những quốc gia đang trong giai đoạn đầu phát triển ICT (Khan và cộng sự, 2020), bao gồm cả khu vực Đông Nam Á (World Bank, 2019). Do vậy, việc xây dựng và ban hành chính sách phát triển bền vững về hiệu suất sử dụng năng lượng đối với ICT là cần thiết (Shehzad và cộng sự, 2021). Thêm vào đó, Chính phủ cũng nên hướng đến khuyến khích phát triển các ứng dụng của ICT trong hoạt động sản xuất và vận hành kinh tế và giám sát để giảm thiểu ô nhiễm môi trường (Añón Higón và cộng sự, 2017; Balamurali và cộng sự, 2025; Bhujabal và cộng sự, 2021; Danish, 2019; George Princess và cộng sự, 2022).

Thứ hai, Chính phủ các quốc gia nên xem xét việc định hướng các dự án FDI có chất lượng tốt, ít gây ô nhiễm môi trường. Hầu hết các quốc gia Đông Nam Á đều thuộc nhóm các quốc gia đang phát triển, do vậy thường là điểm đến của các ngành công nghiệp gây ô nhiễm do tiêu chuẩn môi trường thấp hơn (Georgescu và cộng sự, 2024). Vì vậy, để giảm thiểu những tác động tiêu cực của FDI đến môi trường, Chính phủ nên có chính sách quy định về môi trường nghiêm ngặt hơn, việc lựa chọn phê duyệt và cấp phép các dự án FDI cần được xem xét đến yếu tố môi trường.

Thêm vào đó, Chính phủ có thể cân nhắc gắn kết khuyến khích thu hút FDI với tiêu chuẩn số hóa. Như kết quả nghiên cứu chúng tôi chỉ ra rằng ICT làm giảm tác động tiêu cực của FDI đến CO_2. Do vậy, triển khai hệ thống ICT tiên tiến là yếu tố then chốt giúp tăng cường hiệu quả giám sát và thực thi chính sách môi trường. Điều này cho phép các cơ quan chức năng theo dõi chính xác và kịp thời lượng phát thải khí nhà kính từ các doanh nghiệp FDI. Bên cạnh đó, việc tích hợp công nghệ dữ liệu lớn và mạng lưới cảm biến môi trường không chỉ đẩy nhanh quá trình phát hiện các nguồn gây ô nhiễm mà còn thúc đẩy sự tuân thủ nghiêm ngặt các quy định bảo vệ môi trường từ phía các nhà đầu tư nước ngoài (Chi & Meng, 2023).

Mặc dù nghiên cứu này đóng góp quan trọng trong việc hiểu tác động của ICT và FDI đối với ô nhiễm môi trường, nhưng vẫn tồn tại một số hạn chế. *Thứ nhất*, nghiên cứu này chỉ tập trung vào các quốc gia Đông Nam Á, điều này hạn chế khả năng áp dụng kết quả vào các khu vực khác rộng lớn và đa dạng hơn. Nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng mẫu nghiên cứu để so sánh tác động của ICT và FDI tại các khu vực khác nhau. *Thứ hai*, nghiên cứu này chưa hoàn toàn xử lý các vấn đề nội sinh, và việc áp dụng phương pháp GMM trong các nghiên cứu tiếp theo có thể giúp đưa ra kết quả chắc chắn và tin cậy hơn.

Báo cáo tài trợ: Nghiên cứu này không nhận được bất kỳ khoản tài trợ cụ thể nào.

Tính khả dụng của dữ liệu: Dữ liệu sẽ được cung cấp khi có yêu cầu hợp lý (gửi email cho tác giả liên hệ).

Tuyên bố về sử dụng AI: Tác giả tuyên bố không sử dụng bất kỳ công cụ AI tạo sinh nào trong quá trình thực hiện nghiên cứu và soạn thảo bài báo này.

Tài liệu tham khảo

Achuo, E., & Ojong, N. (2024). Foreign direct investment, economic growth and environmental quality in Africa: Revisiting the pollution haven and environmental Kuznets curve hypotheses. *Journal of Economic Studies*, *52*(4), 673–691. https://doi.org/10.1108/JES-02-2024-0065

Alataş, S. (2021). The role of information and communication technologies for environmental sustainability: Evidence from a large panel data analysis. *Journal of Environmental Management*, *293*, 112889. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112889

Añón Higón, D., Gholami, R., & Shirazi, F. (2017). ICT and environmental sustainability: A global perspective. *Telematics and Informatics*, *34*(4), 85–95. https://doi.org/10.1016/j.tele.2017.01.001

Appiah-Otoo, I., Acheampong, A. O., Song, N., & Chen, X. (2023). The impact of information and communication technology (ICT) on carbon dioxide emissions: Evidence from heterogeneous ICT countries. *Energy & Environment*, *34*(8), 3080–3102. https://doi.org/10.1177/0958305X221118877

Appiah-Otoo, I., & Song, N. (2021). The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries. *Telecommunications Policy*, *45*(2), 102082. https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102082

Arif, A., Arif, U., Shaheen, S., Habib, M. D., Bekun, F. V., & Haseki, M. I. (2025). Climate change and Environment Kuznets Curve in developing economies (D-8 Nations). *International Journal of Environmental Science and Development*, *16*(3), 174–181. https://doi.org/10.18178/ijesd.2025.16.3.1523

Baek, J. (2016). A new look at the FDI–income–energy–environment nexus: Dynamic panel data analysis of ASEAN. *Energy Policy*, *91*, 22-27. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.12.045

Balamurali, D., Chakankar, S., Sharma, G., Pagey, A. P., Natarajan, M., Shaik, S., Gnanavendan, S., & Arıcı, M. (2025). A solar-powered, internet of things (IoT)-controlled water irrigation system supported by rainfall forecasts utilizing aerosols: A review. *Environment, Development and Sustainability*. https://doi.org/10.1007/s10668-024-05953-z

Balsalobre-Lorente, D., Nur, T., Topaloglu, E. E., & Pilař, L. (2025). Do ICT and green technology matter in sustainable development goals?. *Sustainable Development*, *33*(1), 1545–1574. https://doi.org/10.1002/sd.3185

Batool, Z., Ahmed, N., & Luqman, M. (2023). Examining the role of ICT, transportation energy consumption, and urbanization in CO2 emissions in Asia: A threshold analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(32), 78482–78494. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27995-y

Behera, S. R., & Dash, D. P. (2017). The effect of urbanization, energy consumption, and foreign direct investment on the carbon dioxide emission in the SSEA (South and Southeast Asian) region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *70*, 96–106. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.201

Bekun, F. V., Gyamfi, B. A., Olasehinde-Williams, G., & Yadav, A. (2024). Revisiting the foreign direct investment-CO2 emissions nexus within the N-EKC framework: Evidence from South Asian Countries. *Sustainable Futures*, *8*, 100357. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100357

Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT global emissions footprint: Trends to 2040 & recommendations. *Journal of Cleaner Production*, *177*, 448–463. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239

Bello, M. O., Jimoh, S. O., Ch'ng, K. S., & Oyerinola, D. S. (2024). Environmental sustainability in ASEAN: What roles do energy consumption, economic growth, and foreign direct investment play?. *Environment, Development and Sustainability, 28,* 6831–6857. https://doi.org/10.1007/s10668-024-05250-9

Bhujabal, P., Sethi, N., & Padhan, P. C. (2021). ICT, foreign direct investment and environmental pollution in major Asia Pacific countries. *Environmental Science and Pollution Research*, *28*(31), 42649–42669. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13619-w

Chi, F., & Meng, Z. (2023). The effects of ICT and FDI on CO2 emissions in China. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(2), 3133–3145. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22422-0

Chowdhury, M. A. F., Abdullah, M., Nazia, N. N. C., & Roy, D. (2023). The nonlinear and threshold effects of IT investment on the banking sector of Bangladesh. *Economic Change and Restructuring*, *56*(6), 4253–4283. https://doi.org/10.1007/s10644-023-09541-5

Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2004). Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic Literature*, *42*(1), 7–71. https://doi.org/10.1257/002205104773558047

Cordella, M., Alfieri, F., & Sanfelix, J. (2021). Reducing the carbon footprint of ICT products through material efficiency strategies: A life cycle analysis of smartphones. *Journal of Industrial Ecology*, *25*(2), 448–464. https://doi.org/10.1111/jiec.13119

Cutcu, I., Beyaz, A., Gerlikhan, S. G., & Kilic, Y. (2023). Is ecological footprint related to foreign trade? Evidence from the top ten fastest developing countries in the global economy. *Journal of Cleaner Production*, *413*, 137517. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137517

Dang, B. K., Anh, H. N., & Pham, T. V. T. (2025). The impact of policy uncertainty and economic freedom on bank stability: Global evidence. *Journal of International Commerce, Economics and Policy*, *16*(1), 2550005. https://doi.org/10.1142/S179399332550005X

Danish (2019). Effects of information and communication technology and real income on CO2 emissions: The experience of countries along Belt and Road. *Telematics and Informatics*, *45*, 101300. https://doi.org/10.1016/j.tele.2019.101300

Demena, B. A., & Afesorgbor, S. K. (2020). The effect of FDI on environmental emissions: Evidence from a meta-analysis. *Energy Policy*, *138*, 111192. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111192

Dogan, E., & Seker, F. (2016). An investigation on the determinants of carbon emissions for OECD countries: empirical evidence from panel models robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Environmental Science and Pollution Research, 23*(14), 14646–14655. https://doi.org/10.1007/s11356-016-6632-2

Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. *The Review of Economics and Statistics*, *80*(4), 549–560. https://doi.org/10.1162/003465398557825

Ercan, M., Malmodin, J., Bergmark, P., Kimfalk, E., & Nilsson, E. (2016). Life cycle assessment of a smartphone. *In Proceedings of ICT for Sustainability 2016* (pp. 124–133). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/ict4s-16.2016.15

Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S., & Friday, A. (2021). The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations. *Patterns*, *2*(9), 100340. https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340

George Princess, T., Poovammal, E., & Kothai, G. (2022). Smart energy conservation in irrigation management for greenhouse agriculture. In P. K. Paul, A. Choudhury, A. Biswas, & B. K. Singh (Eds.), *Environmental Informatics: Challenges and Solutions* (pp. 125–140). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2083-7_7

Georgescu, I. A., Bâra, A., & Oprea, S.-V. (2024). Challenges for low-carbon economies in Latin America. Testing pollution haven hypothesis in developing countries. *Energy Reports*, *12*, 5280–5299. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.11.009

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, *110*(2), 353–377. https://doi.org/10.2307/2118443

Gujarati, D. N. (2009). *Basic econometrics.* McGraw-Hill.

Heyes, A., & King, B. (2020). Understanding the organization of green activism: Sociological and economic perspectives. *Organization & Environment*, *33*(1), 7–30. https://doi.org/10.1177/1086026618788859

Hussain, S., Gul, R., & Ullah, S. (2023). Role of financial inclusion and ICT for sustainable economic development in developing countries. *Technological Forecasting and Social Change*, *194*, 122725. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122725

Islam, M. T., & Ali, A. (2024). Sustainable green energy transition in Saudi Arabia: Characterizing policy framework, interrelations and future research directions. *Next Energy*, *5*, 100161. https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100161

Jafar, S. H., Acharyya, A., Joshi, D., Malik, M. Y., & Hemat, W. (2025). The role of ICT, renewable energy, per capita income, manufacturing activity, governance quality and uncertainty in achieving environmental sustainability in OECD countries. *Discover Sustainability*, *6*(1), 1021. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01521-1

Jahanger, A., & Usman, M. (2023). Investigating the role of information and communication technologies, economic growth, and foreign direct investment in the mitigation of ecological damages for achieving sustainable development goals. *Evaluation Review*, *47*(4), 653–679. https://doi.org/10.1177/0193841X221135673

Jakada, A. H., Mahmood, S., Ali, U. A., & Ismail Aliyu, D. (2023). The moderating role of ICT on the relationship between foreign direct investment and the quality of environment in selected African countries. *Cogent Economics & Finance*, *11*(1), 2197694. https://doi.org/10.1080/23322039.2023.2197694

Karasoy, A., & Akçay, S. (2019). Effects of renewable energy consumption and trade on environmental pollution. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *30*(2), 437–455. https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2018-0081

Khan, F. N., Sana, A., & Arif, U. (2020). Information and communication technology (ICT) and environmental sustainability: a panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(29), 36718–36731. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09704-1

Khatri Chettri, K. (2022). Financial institutions depth and growth in Nepal: Sensitivity to the choice of depth proxy. *Cogent Economics and Finance*, *10*(1), 2087288. https://doi.org/10.1080/23322039.2022.2087288

Kisswani, K. M., & Zaitouni, M. (2023). Does FDI affect environmental degradation? Examining pollution haven and pollution halo hypotheses using ARDL modelling. *Journal of the Asia Pacific Economy*, 28(4), 1406–1432. https://doi.org/10.1080/13547860.2021.1949086

Kwakwa, P. A., Adzawla, W., Alhassan, H., & Oteng-Abayie, E. F. (2023). The effects of urbanization, ICT, fertilizer usage, and foreign direct investment on carbon dioxide emissions in Ghana. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(9), 23982–23996. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23765-4

Langa, E. S., Manjama, L. E., & Nhampule, C. M. (2023). Impact of money supply, domestic credit to the private sector and investment on economic well-being in Mozambique: An application of the cointegration approach. *Prometeica*, *28*, 288–306. https://doi.org/10.34024/prometeica.2023.28.15798

Latif, Z., Xin, W., Khan, D., Iqbal, K., Pathan, Z. H., Salam, S., & Jan, N. (2017). ICT and sustainable development in South Asian countries. *Human Systems Management*, *36*(4), 353–362. https://doi.org/10.3233/HSM-17166

Mai, T. N. (2023). Renewable Energy, GDP (gross domestic product), FDI (foreign direct investment) and CO2 emissions in Southeast Asia countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *13*(2), 284–289. https://doi.org/10.32479/ijeep.14022

Minh Ha, N., Tan Minh, P., & Binh, Q. M. Q. (2022). The determinants of tax revenue: A study of Southeast Asia. *Cogent Economics and Finance*, *10*(1), 2026660. https://doi.org/10.1080/23322039.2022.2026660

Nguyen, Y., Le, S., Ngo, N., & Nguyen, H. (2023). Impacts of FDI and environmental pollution in Asean countries: The role of institutions. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *13*(5), 242–250. https://doi.org/10.32479/ijeep.14614

Onyeneke, R. U., Chidiebere-Mark, N. M., & Ayerakwa, H. M. (2024). Impact of Information and Communication Technologies and Renewable Energy Consumption on Carbon Emissions in Africa. *Carbon Research*, *3*(1), 53. https://doi.org/10.1007/s44246-024-00130-3

Osei, A. (2024). Investing for a greener future: Unpacking the dual impact of FDI on carbon emissions and the transformative role of renewable energy. *SN Business & Economics*, *5*(1), 14. https://doi.org/10.1007/s43546-024-00779-3

Padhan, L., & Bhat, S. (2024). Pollution haven or pollution halo in the context of emerging economies: A two-step system GMM approach. *Environment, Development and Sustainability, 28,* 17023–17043. https://doi.org/10.1007/s10668-024-05616-z

Phạm Đức Huy (2024). Ảnh hưởng của phát triển tài chính, đầu tư trực tiếp nước ngoài đến lượng phát thải carbon ở Việt Nam: Xem xét vai trò của công nghệ thông tin và viễn thông. *Tạp chí Kinh tế và Phát triển*, *321*(2), 100–108. https://doi.org/10.33301/JED.VI.1689

Pilatin, A., Ayaydın, H., Soto, G. H., & Pala, F. (2025). Foreign direct investment and growth impact on pollution in the EU countries: Empirical analysis of the Ekc and pollution Halo hypothesis. *Geological Journal,* 1–18. https://doi.org/10.1002/gj.70200

Sepehrdoust, H., Tartar, M., Zamani Shabkhaneh, S., & Heydari Parvin, S. (2023). Environmental sustainability in selected OPEC countries: Do the influence of FDI and ICT matter? *Environmental Health Insights*, *17*, 11786302231188244. https://doi.org/10.1177/11786302231188244

Shaikh, E., Tunio, M. N., & Dagar, V. (2023). Funding liquidity on bank lending growth: The case of India. *Journal of Entrepreneurship, Management and Innovation*, *19*(4), 218–239. https://doi.org/10.7341/20231947

Shehzad, K., Xiaoxing, L., & Sarfraz, M. (2021). Envisaging the asymmetrical association among FDI, ICT, and climate change: A case from developing country. *Carbon Management*, *12*(2), 123–137. https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1890449

Tabash, M. I., Farooq, U., Hassen, M., & El Refae, G. A. (2025). Do technological innovation and financial development determine environmental quality? Empirical evidence from Arab countries. *Review of Accounting and Finance*, *24*(2), 177–192. https://doi.org/10.1108/RAF-02-2024-0050

Trinh, T. H. T., Dang, B. K., & Ha, N. T. M. (in press). Do economic freedom and the shadow economy matter for CO_2 emissions? Evidence from Asian countries. *Managing Global Transitions*.

Wang, Y., & Huang, Y. (2022). Impact of foreign direct investment on the carbon dioxide emissions of East Asian countries based on a panel ARDL method. *Frontiers in Environmental Science*, *10*, 937837. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.937837

Weimin, Z., Chishti, M. Z., Rehman, A., & Ahmad, M. (2022). A pathway toward future sustainability: Assessing the influence of innovation shocks on CO2 emissions in developing economies. *Environment, Development and Sustainability*, *24*(4), 4786–4809. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01634-3

Wibowo, W., & Sinu, E. B. (2017). Gross regional domestic product estimation: Application of two-way unbalanced panel data models to economic growth in East Nusa Tenggara province. *AIP Conference Proceedings, 1825*(1), 020026. https://doi.org/10.1063/1.4978995

Wijethunga, A. W. G. C. N., Rahman, M. M., & Sarker, T. (2025). Analyzing financial development's moderating role on the investment-environmental quality nexus: Evidence from Australia using Autoregressive Distributed Lag approach. *Environmental and Sustainability Indicators*, *25*, 100568. https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100568

World Bank (2019). The digital economy in Southeast Asia: Strengthening the foundations for future growth. https://documents1.worldbank.org/curated/en/328941558708267736/pdf/The-Digital-Economy-in-Southeast-Asia-Strengthening-the-Foundations-for-Future-Growth.pdf

Yahya, F., & Rafiq, M. (2020). Brownfield, greenfield, and renewable energy consumption: Moderating role of effective governance. *Energy & Environment*, *31*(3), 405–423. https://doi.org/10.1177/0958305X19872936

Yao, H., Ding, H., Li, Z., & Shoukat, A. (2025). The criticality of exports sophistication and CO2 emissions: A new path towards sustainable environmental management. *Journal of Environmental Management*, *373*, 123542. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123542

You, C., Khattak, S. I., & Ahmad, M. (2022). Do international collaborations in environmental-related technology development in the U.S. pay off in combating carbon dioxide emissions? Role of domestic environmental innovation, renewable energy consumption, and trade openness. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(13), 19693–19713. https://doi.org/10.1007/s11356-021-17146-6