
ĐẦU TƯ TRỰC TIẾP NƯỚC NGOÀI, SỐ HÓA VÀ THỂ CHẾ TRONG MỐI QUAN HỆ VỚI CHẤT LƯỢNG MÔI TRƯỜNG TẠI CHÂU Á

Nguyễn Việt Hồng Anh*

Trường Đại học Tài chính – Marketing

Email: nvhanh@ufm.edu.vn

Phạm Thanh Truyền

Trường Đại học Tài chính – Marketing

Email: phamtruyen@ufm.edu.vn

Mã bài báo: JED-2817

Ngày nhận: 31/12/2025

Ngày nhận bản sửa: 06/02/2026

Ngày duyệt đăng: 23/03/2026

Mã DOI: 10.33301/JED.VI.2817

Tóm tắt:

Nghiên cứu này phân tích tác động của đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI), mức độ số hóa và chất lượng thể chế đến sự phát thải CO₂ bằng việc áp dụng phương pháp ước lượng S-GMM trên dữ liệu bảng động của 40 quốc gia châu Á trong giai đoạn 2010-2023. Kết quả nghiên cứu cho thấy FDI có xu hướng làm giảm phát thải, trong khi số hóa làm gia tăng ô nhiễm không khí khi xét riêng lẻ từng yếu tố. Tuy nhiên, tác động của FDI đến chất lượng môi trường không chỉ phụ thuộc vào sự điều tiết của thể chế mà hiệu quả điều tiết này còn thay đổi theo mức độ số hóa. Theo đó, số hóa không trực tiếp cải thiện môi trường, nhưng góp phần nâng cao hiệu quả điều tiết của thể chế đối với FDI tại các nước châu Á. Từ đó, một số hàm ý chính sách cải thiện môi trường thông qua hiệu ứng từ FDI được đề xuất nhấn mạnh sự cần thiết của cách tiếp cận tương tác đa chiều trong nghiên cứu và hoạch định chính sách.

Từ khóa: Số hóa, FDI, chất lượng thể chế, S-GMM, tương tác 3 chiều.

Mã JEL: Q56, F21, O43, O33.

Foreign direct investment, digitalization, and institutions in relation to environmental quality in Asia

Abstract:

This study analyzes the impact of foreign direct investment (FDI), the level of digitalization, and institutional quality on CO₂ emissions by applying the S-GMM estimation method to dynamic panel data from 40 Asian countries between 2010 and 2023. The results show that FDI tends to reduce emissions, while digitalization tends to increase air pollution when each factor is considered individually. However, the impact of FDI on environmental quality depends not only on institutional regulation but also on the degree of digitalization. Therefore, digitalization does not directly improve the environment, but it contributes to enhancing the effectiveness of institutional regulation of FDI in Asian countries. From this, several policy implications for improving the environment through FDI are proposed, emphasizing the need for a multidimensional, interactive approach to research and policy planning.

Keywords: Digitalization, FDI, institutional quality, S-GMM, three-way interaction.

JEL codes: Q56, F21, O43, O33.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, châu Á là khu vực chịu áp lực ô nhiễm môi trường khá nghiêm trọng khi sở hữu các thành phố ô nhiễm nhất thế giới nằm ở Ấn Độ, Pakistan, Việt Nam, Bangladesh (IQAir, 2025). Ngoài ra, hơn 90% dân số châu Á sinh sống tại các khu vực có nồng độ bụi mịn PM_{2.5} vượt ngưỡng an toàn khuyến nghị (UNEP, 2024). Điều này đã khiến việc cải thiện chất lượng môi trường (CLMT) trở thành mục tiêu ưu tiên hàng đầu trong chiến lược phát triển bền vững của nhiều quốc gia châu Á. Song song với áp lực môi trường ngày càng lớn, châu Á cũng là điểm đến quan trọng của dòng vốn đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI) và là khu vực có nhiều quốc gia sở hữu quá trình chuyển đổi số khá nhanh chóng (UNCTAD, 2023). Tính đến tháng 12 năm 2023, doanh thu kinh tế số của các nước Đông Nam Á dự kiến đạt 100 tỷ USD, tăng khoảng 8 lần so với doanh thu năm 2016 (Cục Thương mại điện tử và kinh tế số, 2023).

Nhiều nghiên cứu thực nghiệm đã chứng minh việc thu hút FDI có thể cải thiện hoặc làm trầm trọng hơn tình trạng ô nhiễm của các nước nhận đầu tư (Huynh & Hoang, 2018; Murshed & cộng sự, 2022). Mặt khác, xét trong bối cảnh số hóa đang diễn ra mạnh mẽ tại nhiều quốc gia, một số nghiên cứu chỉ ra rằng phát triển hạ tầng số giúp tối ưu hóa quy trình sản xuất, giảm phát thải CO₂ trong dài hạn (Bhujabal & cộng sự, 2021). Tuy nhiên, quá trình số hóa có thể làm gia tăng nhu cầu năng lượng thông qua việc mở rộng hạ tầng công nghệ, dẫn đến ảnh hưởng tiêu cực lên CLMT, đặc biệt tại các nền kinh tế đang phát triển (Eid, 2024). Theo Zhou & cộng sự (2022), trình độ phát triển công nghệ số có khả năng định hình cách thức FDI ảnh hưởng đến CLMT thông qua mục tiêu đầu tư và chất lượng ứng dụng công nghệ hiện đại. Bên cạnh đó, tại các nước Đông Nam Á và khu vực Sub-Saharan châu Phi, chất lượng thể chế (CLTC) quốc gia được chứng minh có vai trò điều tiết những ảnh hưởng tạo ra phát thải từ hoạt động FDI hoặc công nghệ số thông qua hiệu quả quản lý của Nhà nước trong việc thực thi các chính sách về CLMT (Imam & cộng sự, 2024; Jinapor & cộng sự, 2024; Nguyen & cộng sự, 2023).

Như vậy, có thể thấy hiệu ứng môi trường của FDI vẫn còn nhiều tranh luận và có thể phụ thuộc vào những điều kiện nền tảng ở nước nhận đầu tư như CLTC và bối cảnh chuyển đổi số. Nghiên cứu này tập trung phân tích những ảnh hưởng của FDI đến CLMT tại các quốc gia châu Á – khu vực có mức độ ô nhiễm không khí nặng nề và sở hữu mức độ phát triển số hóa khá nhanh chóng trong những năm gần đây. Đồng thời, vai trò điều tiết của thể chế đối với dòng vốn FDI trong bối cảnh số hóa tác động đến CLMT cũng được làm rõ nhằm đề xuất các hàm ý chính sách phù hợp, vừa đảm bảo thu hút đầu tư vừa cải thiện CLMT tại các nước châu Á.

2. Cơ sở lý thuyết và tổng quan nghiên cứu thực nghiệm

2.1. Tác động của FDI và số hóa đến chất lượng môi trường

Tác động của FDI đến CLMT thường được giải thích thông qua hiệu ứng quy mô với giả thuyết “thiên đường ô nhiễm” (*pollution haven*). Theo đó, các doanh nghiệp đa quốc gia có xu hướng chuyển các hoạt động gây ô nhiễm sang những nơi có tiêu chuẩn môi trường thấp, khiến FDI làm gia tăng ô nhiễm tại nước tiếp nhận thông qua sự phát triển các ngành công nghiệp nặng (Cole & cộng sự, 2006; Kellenberg, 2009). Ngược lại, giả thuyết “cải thiện ô nhiễm” (*pollution halo*) lập luận rằng FDI mang theo hiệu ứng công nghệ sạch cùng các chuẩn mực quản trị công nghệ tiên tiến và sức ép tuân thủ tiêu chuẩn môi trường quốc tế, qua đó góp phần cải thiện CLMT ở những nơi nhận đầu tư (Nguyen Thanh & cộng sự, 2022; Wang & cộng sự, 2023). Tuy nhiên, các bằng chứng thực nghiệm cho thấy tác động của FDI không đồng nhất và phụ thuộc vào điều kiện bối cảnh như cơ cấu ngành, trình độ phát triển và năng lực quản trị của quốc gia tiếp nhận (Guoyan & cộng sự, 2022; Kutlu Furtuna & Atis, 2024). Trong bối cảnh nhiều quốc gia châu Á vẫn đối mặt với áp lực ô nhiễm lớn và tiêu chuẩn môi trường chưa đồng đều, nghiên cứu này kỳ vọng rằng FDI có xu hướng làm gia tăng phát thải.

Giả thuyết H₁: FDI có tác động cùng chiều đến CLMT, hàm ý rằng FDI tăng được kỳ vọng có xu hướng làm gia tăng phát thải CO₂ tại các quốc gia châu Á.

Bên cạnh đó, số hóa ngày càng đóng vai trò quan trọng trong tăng trưởng kinh tế hiện đại. Theo lý thuyết tăng trưởng nội sinh (Lucas, 1988; Romer, 1990), tiến bộ công nghệ giúp nâng cao năng suất và tối ưu hóa

việc sử dụng nguồn lực. Trong lĩnh vực môi trường, số hóa có thể góp phần cải thiện CLMT thông qua việc tối ưu hóa quy trình sản xuất, giảm chi phí giao dịch và thúc đẩy đổi mới sáng tạo xanh (Zhang & cộng sự, 2023). Tuy nhiên, quá trình số hóa cũng có thể làm gia tăng nhu cầu năng lượng do sự mở rộng của hạ tầng công nghệ và các thiết bị số, từ đó làm tăng phát thải, đặc biệt tại các quốc gia phụ thuộc nhiều vào năng lượng hóa thạch (Eid, 2024; Majeed & Sharif, 2024). Do đó, tương tự FDI, tác động của số hóa đến môi trường là không đồng nhất và phụ thuộc vào điều kiện thể chế, cấu trúc kinh tế. Trong bối cảnh châu Á, nơi quá trình chuyển đổi số diễn ra nhanh chóng, song hành với áp lực môi trường lớn, nghiên cứu này kỳ vọng số hóa có thể làm gia tăng phát thải trong ngắn hạn.

Giả thuyết H₂: Số hóa có tác động cùng chiều đến CLMT, hàm ý rằng mức độ số hóa tăng được kỳ vọng có xu hướng làm gia tăng phát thải CO₂ tại các quốc gia châu Á.

2.2. Vai trò của chất lượng thể chế và cơ chế điều tiết trong mối quan hệ FDI – môi trường

Theo North (1990), CLTC phản ánh hệ thống các quy tắc và cơ chế thực thi nhằm điều chỉnh hành vi kinh tế – xã hội. Trong lĩnh vực môi trường, thể chế hiệu quả giúp nâng cao năng lực giám sát, thực thi và tuân thủ các quy định môi trường, qua đó hạn chế các hoạt động gây ô nhiễm. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy CLTC cao có thể góp phần giảm phát thải thông qua việc tăng cường thực thi pháp luật và nâng cao hiệu quả quản lý môi trường. Trong bối cảnh thu hút FDI, CLTC đóng vai trò đặc biệt quan trọng trong việc định hướng dòng vốn đầu tư. Tại các quốc gia có thể chế tốt, cơ quan quản lý có khả năng sàng lọc và kiểm soát các dự án FDI, ưu tiên các ngành ít phát thải và yêu cầu tuân thủ tiêu chuẩn môi trường nghiêm ngặt hơn. Ngược lại, tại các quốc gia có thể chế yếu, các doanh nghiệp FDI có thể tận dụng các lỗ hổng trong hệ thống quản lý để giảm chi phí tuân thủ môi trường, làm gia tăng phát thải (Khan & cộng sự, 2022; Nguyen & cộng sự, 2023). Do đó, nghiên cứu này kỳ vọng CLTC không chỉ tác động trực tiếp đến CLMT mà còn đóng vai trò điều tiết trong mối quan hệ giữa FDI và môi trường.

Giả thuyết H₃: CLTC có tác động nghịch chiều đến CLMT, hàm ý rằng CLTC tăng được kỳ vọng có xu hướng làm giảm phát thải CO₂ tại các nước châu Á.

Giả thuyết H₄: CLTC điều tiết mối quan hệ giữa FDI và CLMT, hàm ý rằng CLTC tăng được kỳ vọng sẽ điều tiết tác động của FDI làm giảm phát thải CO₂ tại các nước châu Á.

Bên cạnh đó, cơ chế điều tiết của CLTC có thể được giải thích thông qua một số kênh chính. Thứ nhất, CLTC tốt giúp cải thiện khả năng giám sát và minh bạch thông tin, từ đó giảm bất cân xứng thông tin và nâng cao hiệu quả kiểm soát phát thải. Thứ hai, CLTC tốt sẽ nâng cao năng lực thực thi thông qua việc tăng cường kiểm tra và xử phạt các hành vi vi phạm môi trường. Thứ ba, CLTC tốt tạo điều kiện cho việc chuyển giao công nghệ sạch từ doanh nghiệp FDI sang khu vực nội địa. Thứ tư, CLTC tốt góp phần định hướng cơ cấu kinh tế theo hướng ít phát thải hơn thông qua các chính sách khuyến khích và điều tiết phù hợp.

2.3. Vai trò của số hóa trong nâng cao hiệu quả điều tiết của thể chế trong mối quan hệ FDI – môi trường

Trong bối cảnh chuyển đổi số, số hóa không chỉ là một yếu tố tác động trực tiếp đến môi trường mà còn có thể làm thay đổi cách thức vận hành của các thể chế. Theo quan điểm về quản trị số, công nghệ số giúp cải thiện tính minh bạch, giảm chi phí giám sát và nâng cao hiệu quả thực thi chính sách (Goldfarb & Tucker, 2019). Điều này hàm ý rằng số hóa có thể đóng vai trò nâng cao năng lực của thể chế trong việc kiểm soát các tác động môi trường của FDI.

Cụ thể, số hóa hỗ trợ thể chế thông qua nhiều kênh khác nhau. Các nền tảng số và hệ thống chính phủ điện tử giúp cải thiện khả năng giám sát và theo dõi phát thải theo thời gian thực, qua đó nâng cao hiệu quả thực thi chính sách môi trường (Al-Aiban, 2024; Eid, 2024). Đồng thời, công nghệ số thúc đẩy chuyển giao công nghệ và đổi mới sáng tạo xanh, giúp các doanh nghiệp áp dụng các quy trình sản xuất sạch hơn (Aminu & Alabi, 2024). Bên cạnh đó, số hóa còn hỗ trợ đầu tư môi trường và sản xuất thông minh, giúp giảm cường độ phát thải và tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng. Ngoài ra, số hóa có thể làm thay đổi cơ cấu ngành kinh tế theo hướng gia tăng tỷ trọng các ngành ít phát thải như dịch vụ số hoặc công nghệ cao. Tuy nhiên, tác động này không phải lúc nào cũng tích cực. Trong bối cảnh thể chế yếu hoặc khi FDI tập trung vào các ngành

thâm dụng năng lượng, số hóa có thể đi kèm với gia tăng phát thải, cho thấy vai trò hỗ trợ của thể chế là yếu tố quyết định (Aminu & Alabi, 2024).

Các nghiên cứu trước đây chủ yếu xem xét vai trò của thể chế hoặc số hóa một cách riêng lẻ trong mối quan hệ giữa FDI và môi trường. Trong khi đó, hiệu quả điều tiết của thể chế có thể không cố định mà phụ thuộc vào mức độ phát triển của hạ tầng số – yếu tố ngày càng quan trọng trong bối cảnh chuyển đổi số. Do đó, việc xem xét đồng thời sự tương tác giữa FDI, chất lượng thể chế và số hóa cho phép làm rõ liệu số hóa có đóng vai trò nâng cao năng lực quản trị môi trường của thể chế hay không.

Trong nghiên cứu này, CLMT được xem là kết quả của sự tương tác giữa các động lực kinh tế và năng lực quản trị. FDI có thể tác động đến môi trường thông qua nhiều kênh khác nhau, trong khi CLTC đóng vai trò điều tiết trung tâm. Mức độ số hóa, thông qua việc nâng cao năng lực giám sát, minh bạch và thực thi chính sách, có thể làm thay đổi hiệu quả của cơ chế điều tiết này, qua đó hình thành một cơ chế điều tiết có điều kiện.

Giả thuyết H₃: Vai trò điều tiết của CLTC trong mối quan hệ giữa FDI và CLMT phụ thuộc vào mức độ số hóa của nền kinh tế.

3. Mô hình và phương pháp nghiên cứu

Bài viết xây dựng mô hình nghiên cứu trên cơ sở lập luận về mối quan hệ giữa FDI và CLMT của giả thuyết “thiên đường ô nhiễm”, lý thuyết tăng trưởng nội sinh (Romer, 1990) và quan điểm của North (1990) nhấn mạnh vai trò số hóa cũng như CLTC; đồng thời, kế thừa các nghiên cứu thực nghiệm của Khan & cộng sự (2022), Zhang & cộng sự (2023), Imam & cộng sự (2024), Jinapor & cộng sự (2024). Do sự biến động của lượng phát thải CO₂ được xem là quá trình mang tính động và có độ trễ trước sự thay đổi chính sách cũng như các cú sốc kinh tế nên biến phụ thuộc trễ đóng vai trò như 1 biến độc lập trong mô hình (Dinda, 2004; Grossman & Krueger, 1991).

3.1. Đặc tả mô hình nghiên cứu

Mô hình (1) được thiết lập nhằm kiểm định tác động riêng phần của FDI, mức độ số hóa và CLTC đến phát thải CO₂ tại các quốc gia Châu Á theo các giả thuyết H₁, H₂, H₃ đã đề xuất. Cụ thể như sau:

$$co2_{it} = \alpha co2_{it-1} + \beta_1 fdi_{it} + \beta_2 idi_{it} + \beta_3 ins_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Nếu như Mô hình (1) giả định rằng tác động của FDI, số hóa và thể chế là độc lập đến môi trường trong khi trên thực tế, hiệu ứng của FDI có thể phụ thuộc vào bối cảnh thể chế và mức độ phát triển số hóa. Để kiểm định giả thuyết H₄ và H₅ cũng như làm rõ vai trò điều tiết của thể chế đối với tác động của FDI lên CLMT phụ thuộc vào mức độ số hóa, nghiên cứu đưa vào Mô hình (1) các biến tương tác để hình thành Mô hình (2) nhằm kiểm định cơ chế tương tác, điều tiết có điều kiện giữa các yếu tố này như sau:

$$co2_{it} = \alpha co2_{it-1} + \beta_1 fdi_{it} + \beta_2 idi_{it} + \beta_3 ins_{it} + \beta_4 (fdi_{it} \times idi_{it}) + \beta_5 (fdi_{it} \times ins_{it}) + \beta_6 (idi_{it} \times ins_{it}) + \beta_7 (fdi_{it} \times ins_{it} \times idi_{it}) + \gamma X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Trong cả 2 mô hình, $co2_{it-1}$ phản ánh độ trễ của mức phát thải CO₂. Với i đại diện cho mỗi quốc gia trong mẫu nghiên cứu gồm 40 quốc gia châu Á. Và t đại diện cho từng thời điểm quan sát trong mô hình theo năm, từ 2010 đến 2023; μ_i là hiệu ứng không quan sát đặc thù của quốc gia; ε_{it} là sai số ngẫu nhiên. Biến X đại diện cho các biến kiểm soát.

Biến phụ thuộc (co2): được đo lường bằng lượng phát thải CO₂ bình quân đầu người (tấn/người), thu thập từ cơ sở dữ liệu của World Development Indicators (World Bank).

Các biến độc lập chính:

(1) *Đầu tư trực tiếp nước ngoài (fdi):* được đo lường bằng dòng vốn FDI ròng vào 1 quốc gia, tính theo tỷ lệ % trên tổng sản phẩm quốc nội (GDP).

(2) *Số hóa (idi):* được đo lường trên cơ sở Chỉ số phát triển công nghệ thông tin do Liên minh Viễn thông Quốc tế (ITU) công bố trước năm 2023 thông qua phương pháp Entropy để xác định chỉ số tổng hợp, phản ánh 3 khía cạnh của 1 quốc gia: (1) Khả năng tiếp cận công nghệ số; (2) Khả năng sử dụng nền tảng công

nghe số; (3) Kỹ năng ứng dụng công nghệ số. Cụ thể như sau:

(i) *Khả năng tiếp cận công nghệ số (trọng số 40%)* bao gồm các chỉ số thành phần: số thuê bao điện thoại cố định (trên 100 người), số thuê bao di động (trên 100 dân), băng thông Internet quốc tế trên mỗi người dùng và tỷ lệ hộ gia đình có máy tính và có truy cập Internet (%).

(ii) *Khả năng sử dụng nền tảng công nghệ số (trọng số 40%)* bao gồm các chỉ số thành phần: tỷ lệ cá nhân sử dụng Internet (%), số lượng thuê bao băng thông rộng cố định và số thuê bao băng thông rộng di động đang hoạt động.

(iii) *Kỹ năng ứng dụng công nghệ số (trọng số 20%)* bao gồm các chỉ số thành phần: số năm học trung bình, tỷ lệ nhập học trung học phổ thông và tỷ lệ nhập học đại học.

Sau khi thực hiện Entropy, biến số (idi) được chuẩn hóa giá trị trong khoảng [0;1] phản ánh mức độ sẵn sàng công nghệ và năng lực ứng dụng số của nền kinh tế tương ứng trong khoảng [0%-100%].

(3) *CLTC (ins)*: Khác với biến số hóa (idi) được xây dựng theo phương pháp Entropy nhằm bảo toàn cấu trúc khái niệm của chỉ số phát triển công nghệ do ITU đề xuất, thể chế (ins) được đo lường bằng chỉ số tổng hợp xây dựng thông qua phương pháp phân tích thành tố chính (Principal Components Analysis – PCA) từ 06 chỉ số Quản trị Toàn cầu (Worldwide Governance Indicators – WGI) vốn có mức độ tương quan cao và cùng đo lường một khái niệm thể chế. Sau khi áp dụng phương pháp PCA, biến số này được chuẩn hóa giá trị theo thang đo của bộ chỉ số WGI là [-2,5;2,5], thể hiện CLTC quốc gia từ thấp đến cao. Chi tiết đo lường các biến trong mô hình được tổng hợp tại Bảng 1.

Bảng 1. Chi tiết các biến trong mô hình nghiên cứu

Tên biến	Ký hiệu	Đo lường	Kỳ vọng
<i>Biến phụ thuộc:</i>			
CLMT	co2	Tỷ lệ phát thải khí CO ₂ bình quân đầu người (tấn/người), lấy logarit	
<i>Biến độc lập chính:</i>			
Đầu tư trực tiếp nước ngoài	fdi	Tỷ lệ % dòng vốn vào của đầu tư trực tiếp trên GDP	+
CLTC	ins	PCA trên 6 chỉ số thành phần của bộ chỉ số quản trị công WGI, nhận thang đo từ -2,5 đến 2,5.	-
Số hóa	idi	Phương pháp Entropy để tính chỉ số tổng hợp dựa trên Chỉ số phát triển công nghệ thông tin của ITU, nhận thang đo từ 0 đến 1.	+
<i>Các biến kiểm soát (X)</i>			
Năng lượng tiêu thụ	eng	Năng lượng tiêu thụ bình quân đầu người, lấy logarit	+
Tăng trưởng kinh tế	gdp	GDP bình quân đầu người, lấy logarit	+
Mức độ công nghiệp hóa	ind	Tỷ trọng ngành công nghiệp/GDP	+
Độ mở thương mại	open	(Xuất khẩu + Nhập khẩu)/GDP	+
Mức độ đô thị hóa	urb	Tỷ lệ % dân số thành thị trong tổng dân số	+

Nguồn: Nhóm nghiên cứu tổng hợp.

3.2. Phương pháp nghiên cứu

Do mô hình (1) và mô hình (2) có dạng động với biến phụ thuộc trễ và khả năng tồn tại nội sinh giữa các biến, nghiên cứu sử dụng phương pháp System Generalized Method of Moments (S-GMM) do Arellano & Bover (1995); Blundell & Bond (1998) đề xuất, cho phép sử dụng các độ trễ thích hợp của các biến nội sinh làm công cụ. Việc lựa chọn S-GMM phù hợp với đặc điểm dữ liệu bảng có số đơn vị quan sát lớn và số năm tương đối ngắn. Độ tin cậy của ước lượng được đánh giá thông qua kiểm định Hansen về tính hợp lệ của biến công cụ và kiểm định Arellano-Bond đối với tự tương quan bậc hai (AR(2)) của sai số.

Để kiểm định vai trò điều tiết của CLTC đến tác động của FDI lên CLMT phụ thuộc vào mức độ số hóa

ở giả thuyết H_5 , hiệu ứng thành phần tương tác 3 chiều giữa 3 biến (fdi – ins – idi) trong mô hình (2) được phân tích và minh họa tác động biên của biến (fdi) lên sự phát thải (co2) theo mức độ điều tiết của CLTC (ins), tại các bối cảnh số hóa (idi) khác nhau. Hơn nữa, nhằm làm giảm đáng kể tương quan giữa các thành phần tương tác khi đưa vào mô hình hồi quy biến tương tác bậc cao, nhóm nghiên cứu đã thực hiện phương pháp chuẩn hóa biến liên tục (centering) trước khi tạo thành phần tương tác bằng cách trừ đi một hằng số từ mỗi giá trị của biến theo đề xuất của Aiken & công sự (1991). Hằng số được chọn trong việc chuẩn hóa các biến trong thành phần tương tác ở nghiên cứu này là giá trị trung bình của biến đó trong mẫu nghiên cứu. Các biến trong thành phần tương tác sau khi được chuẩn hóa bằng phương pháp centering sẽ có ký hiệu như sau: fdi_c; idi_c; ins_c.

Ngoài ra, kết quả kiểm định tính dừng của các biến (Phụ lục A) sau khi thực hiện kiểm định sự phụ thuộc chéo cho thấy ngoài biến (ind) dừng tại sai phân bậc 1 (I(1)), tất cả các biến còn lại đều dừng ở bậc gốc (I(0)). Đồng thời, việc thực hiện kiểm định đồng liên kết Westerlund cũng chỉ ra rằng không có đồng liên kết dài hạn giữa các biến trong mô hình. Vì vậy, phương pháp S-GMM được xem là phù hợp trong bối cảnh này, giúp nhận diện rõ tác động khác nhau giữa những quan sát của mẫu nghiên cứu trong ngắn hạn.

4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

4.1. Mô tả dữ liệu nghiên cứu

Kết quả thống kê mô tả dữ liệu tại Bảng 2 cho thấy giá trị trung bình của biến CO₂ là 1,347 tương đương 7,43 tấn/người. Hơn nữa, giá trị cao nhất của CO₂ trong giai đoạn nghiên cứu là 3,704 tương đương hơn 40 tấn CO₂ bình quân đầu người chứng tỏ mức độ ô nhiễm không khí tại châu Á khá nghiêm trọng. Bên cạnh đó, giá trị trung bình của biến fdi là 6,469% GDP chứng tỏ dòng vốn đầu tư nước ngoài chảy vào các nước châu Á cũng còn hạn chế. Bối cảnh số hóa tại châu Á giai đoạn 2010-2023 được đánh giá khá cao với điểm số trung bình các nước trong mẫu nghiên cứu khoảng 0,476 tương đương 47,6%. Điều này cho thấy chuyển đổi số đang diễn ra khá mạnh mẽ tại châu Á trong khi CLTC trung bình của các nước trong khu vực còn thấp với điểm số -0,399 trên thang điểm [-2,5; 2,5].

Bảng 2. Thống kê mô tả các biến trong mô hình

Các biến	Số quan sát	Giá trị trung bình	Độ lệch chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
co2	560	1,347	1,280	-1,810	3,704
fdi	560	6,469	33,161	-296,013	431,788
idi	560	0,476	0,251	0,000	1,000
ins	560	-0,399	1,062	-2,5	2,5
eng	560	3,269	0,539	1,976	4,363
gdp	560	3,774	0,563	2,709	4,814
ind	560	34,344	13,872	9,985	74,812
urb	560	60,291	24,350	16,768	100,000
open	560	88,217	55,986	11,855	379,099

Nguồn: Nhóm tác giả tính toán.

Kết quả phân tích tương quan theo Bảng 3 cho thấy hệ số tương quan giữa các biến độc lập trong mô hình nghiên cứu đều có giá trị khá thấp (<0,8) nên có thể kết luận hiện tượng đa cộng tuyến trong mô hình (1) không quá nghiêm trọng.

4.2. Kết quả đánh giá tác động của FDI, số hóa và thể chế đến CLMT tại các nước Châu Á

Theo Arellano & Bover (1995) và Baum (2006), kết quả kiểm định AR(2) và kiểm định thống kê J của Hansen tại Bảng 4 của cả 2 mô hình đều chứng tỏ kết quả hồi quy của mô hình và các biến công cụ làm đại diện là phù hợp.

Kết quả ước lượng từ mô hình (1) tại Bảng 4 minh họa những ảnh hưởng riêng lẻ của FDI, CLTC và số hóa đến sự phát thải CO₂ cho thấy biến (fdi) có hệ số âm (-0,001) và có ý nghĩa thống kê, hàm ý rằng việc

Bảng 3. Ma trận tương quan

Các biến	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
(1) co2	1,000								
(2) fdi	0,051	1,000							
(3) idi	0,058	-0,056	1,000						
(4) ins	0,525***	0,033	-0,008	1,000					
(5) eng	0,940***	0,036	0,018	0,579***	1,000				
(6) gdp	0,865***	0,036	0,012	0,776***	0,694***	1,000			
(7) ind	0,615***	0,035	-0,078*	0,068*	0,596***	0,451***	1,000		
(8) urb	0,834***	-0,001	0,003	0,647***	0,639***	0,670***	0,397***	1,000	
(9) open	0,288***	0,020	-0,045	0,496***	0,392***	0,376***	0,088**	0,324***	1,000

Ghi chú: *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$.

Nguồn: Nhóm tác giả tính toán.

Bảng 4. Kết quả hồi quy S-GMM của Mô hình (1) và Mô hình (2)

Các biến	Mô hình 1	Mô hình 2
lco2	0,984*** (250,70)	0,933*** (74,51)
fdi	-0,001*** (-11,77)	
fdi_c		-0,002*** (-6,23)
idi	0,031*** (15,24)	
idi_c		0,028*** (3,50)
ins	-0,046*** (-21,32)	
ins_c		-0,091** (-2,30)
c.fdi_c#c.idi_c		-0,002*** (-6,23)
c.fdi_c#c.ins_c		-0,012*** (-4,94)
c.idi_c#c.ins_c		0,029 (1,30)
c.fdi_c#c.idi_c#c.ins_c		-0,009*** (-4,65)
eng	0,119*** (8,31)	0,225*** (4,70)
gdp	-0,127*** (-12,04)	-0,158*** (-3,04)
ind	0,001 (1,36)	0,001 (0,88)

thu hút dòng vốn FDI càng nhiều sẽ có xu hướng làm giảm lượng phát thải CO₂ tại châu Á. Phát hiện này tuy không ủng hộ giả thuyết H₁ đã đề xuất nhưng lại phù hợp với giả thuyết “cải thiện sự ô nhiễm” (pollution halo) và các nghiên cứu thực nghiệm trước đây như Wang & cộng sự (2023), Nguyen Thanh & cộng sự (2022). Điều này cho thấy FDI có thể mang theo công nghệ sạch và cải thiện hiệu quả môi trường tại các nước tiếp nhận đầu tư ở châu Á. Ngược lại, hệ số của số hóa (idi) mang dấu dương (0,031) và có ý nghĩa thống kê, cho thấy quá trình chuyển đổi số làm gia tăng phát thải trong ngắn hạn, có thể do sự mở rộng tiêu thụ năng lượng từ hạ tầng công nghệ. Kết quả này ủng hộ giả thuyết H₂ và kết quả nghiên cứu thực nghiệm của Majeed & Sharif (2024), Eid (2024). Tuy nhiên, CLTC (ins) có tác động nghịch chiều (-0,046 < 0), khẳng định rằng CLTC cao hơn góp phần làm giảm phát thải CO₂ tại các nước châu Á. Điều này ủng hộ giả thuyết

H_3 và phản ánh vai trò tích cực của thể chế trong việc kiểm soát ô nhiễm.

So với kết quả ở mô hình (1), khi đưa các biến tương tác vào mô hình (2), hệ số của FDI vẫn mang dấu âm nhưng có giá trị tuyệt đối lớn hơn (-0,002) cho thấy tác động cải thiện môi trường của FDI trở nên rõ ràng hơn khi xét đến các yếu tố điều kiện. Đồng thời, hệ số của thể chế tăng về trị tuyệt đối (-0,091), phản ánh vai trò của thể chế trở nên quan trọng hơn khi được đặt trong mối quan hệ tương tác với các yếu tố khác. Hệ số của số hóa vẫn duy trì dấu dương (0,028), cho thấy tác động trực tiếp của số hóa đến phát thải không thay đổi đáng kể.

Bên cạnh đó, kết quả cho thấy hệ số của biến tương tác $FDI \times INS$ mang dấu âm (-0,012), nghĩa là CLTC có vai trò điều tiết làm giảm tác động phát thải của FDI và ủng hộ giả thuyết H_4 . Ngược lại, hệ số của $FDI \times IDI$ là rất nhỏ (-0,002), cho thấy số hóa không trực tiếp đóng vai trò điều tiết mạnh mẽ trong mối quan hệ giữa FDI và CLMT. Kết quả này hàm ý rằng nếu chỉ xem xét các tương tác 2 chiều một cách riêng lẻ ($FDI \times INS$; $FDI \times IDI$), có thể dẫn đến những đánh giá chưa đầy đủ cơ chế tác động của FDI đến CLMT. Đáng chú ý, kết quả nghiên cứu ở hệ số của biến tương tác ba chiều ($FDI \times INS \times IDI$) mang dấu âm và có ý nghĩa thống kê (-0,009). Điều này cho thấy vai trò điều tiết của CLTC trong mối quan hệ giữa FDI và phát thải CO_2 không cố định mà phụ thuộc vào mức độ số hóa.

Cụ thể, trong khi thể chế có thể làm giảm tác động môi trường của FDI, hiệu quả điều tiết này trở nên mạnh hơn tại các quốc gia có mức độ số hóa cao. Kết quả nghiên cứu cho thấy số hóa không trực tiếp điều tiết FDI một cách rõ rệt, mà đóng vai trò khuếch đại hiệu quả điều tiết của CLTC.

Tác động biên của FDI đến phát thải CO_2 trong mô hình (2) được xác định như sau:

$$\frac{\partial CO_2}{\partial FDI} = -0,002 - 0,012INS - 0,002IDI - 0,009(INS \times IDI)$$

Theo đó, có thể xác định tác động biên của FDI dưới sự điều tiết của CLTC tại các mức khác nhau của số hóa. Kết quả này cho thấy vai trò điều tiết của thể chế trở nên mạnh hơn trong bối cảnh mức độ số hóa cao. Nói cách khác, tại các quốc gia có mức số hóa cao, vai trò của thể chế trong việc kiểm soát tác động môi trường của FDI được tăng cường đáng kể so với các quốc gia có mức số hóa thấp. Kết quả nghiên cứu ủng hộ giả thuyết H_5 đã đề xuất.

Mặc dù hệ số trực tiếp của số hóa (idi) trong cả 2 mô hình đều mang dấu dương (>0), cho thấy quá trình chuyển đổi số có thể làm gia tăng phát thải CO_2 trong ngắn hạn, kết quả từ mô hình (2) cho thấy số hóa vẫn đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện hiệu quả điều tiết của thể chế. Cụ thể, với kết quả hồi quy hệ số biến tương tác 3 chiều âm, số hóa không trực tiếp làm giảm phát thải, mà hoạt động như một công cụ hỗ trợ nâng cao năng lực quản trị và giám sát, qua đó góp phần giảm tác động tiêu cực của FDI đến môi trường. Sự khác biệt về dấu giữa tác động trực tiếp và tác động điều tiết của yếu tố số hóa trong mô hình (2) nhấn mạnh rằng số hóa không có tác động môi trường đơn nhất, mà đồng thời tạo ra áp lực phát thải và nâng cao năng lực điều tiết của CLTC, qua đó làm thay đổi tác động của FDI theo hướng phụ thuộc bối cảnh.

5. Kết luận và hàm ý chính sách

5.1. Kết luận của nghiên cứu

Từ góc độ học thuật, kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ sự không nhất quán trong các nghiên cứu trước đây về mối quan hệ giữa FDI, số hóa, CLTC và CLMT. Cụ thể, kết quả cho thấy FDI có xu hướng làm giảm phát thải CO_2 , trong khi số hóa lại làm gia tăng phát thải khi xét riêng lẻ, phản ánh tính chất hai mặt của quá trình chuyển đổi số trong bối cảnh các nền kinh tế châu Á.

Tuy nhiên, đóng góp quan trọng của nghiên cứu không nằm ở các tác động riêng lẻ, mà ở việc chỉ ra rằng mối quan hệ giữa FDI và CLMT mang tính phụ thuộc bối cảnh đa chiều. Thông qua mô hình tương tác ba chiều, nghiên cứu cung cấp bằng chứng rằng vai trò điều tiết của CLTC đối với tác động môi trường của FDI không cố định, mà thay đổi theo mức độ số hóa của nền kinh tế. Cụ thể, hệ số âm và có ý nghĩa thống kê của biến tương tác ba chiều cho thấy số hóa không trực tiếp làm giảm phát thải, nhưng có khả năng khuếch đại hiệu quả điều tiết của CLTC, qua đó làm giảm tác động tiêu cực đến CLMT của FDI.

Kết quả này hàm ý rằng số hóa vừa có thể làm gia tăng phát thải thông qua hiệu ứng quy mô và tiêu thụ năng lượng, vừa đóng vai trò hỗ trợ nâng cao năng lực quản trị và giám sát, giúp CLTC kiểm soát tốt hơn các hoạt động gây ô nhiễm từ FDI. Do đó, nghiên cứu không chỉ cung cấp bằng chứng thực nghiệm mới tại các quốc gia châu Á, mà còn nhấn mạnh sự cần thiết của cách tiếp cận tương tác ba chiều trong việc phân tích mối quan hệ giữa FDI và CLMT để đánh giá toàn diện cơ chế tác động hơn là chỉ xem xét các tương tác hai chiều riêng lẻ.

5.2. Hàm ý chính sách

Dựa trên kết quả thực nghiệm, nghiên cứu đề xuất một số hàm ý chính sách nhằm hướng đến mục tiêu nâng cao CLMT, giảm phát thải CO₂ tại các quốc gia châu Á.

Thứ nhất, các quốc gia cần chuyển từ chiến lược thu hút FDI theo số lượng sang chú trọng chất lượng, ưu tiên các dự án có hàm lượng công nghệ cao và thân thiện với môi trường. Kết quả nghiên cứu cho thấy FDI có thể góp phần cải thiện CLMT, nhưng hiệu quả này phụ thuộc vào điều kiện CLTC và bối cảnh số hóa. Do đó, việc thiết lập các tiêu chí môi trường rõ ràng trong lựa chọn và giám sát dự án FDI là cần thiết để phát huy hiệu ứng “cải thiện ô nhiễm”.

Thứ hai, chuyển đổi số cần được triển khai gắn với mục tiêu quản trị môi trường. Mặc dù số hóa có thể làm gia tăng phát thải trong ngắn hạn, nhưng nó lại đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả điều tiết của CLTC. Kết quả nghiên cứu gợi ý rằng hiệu quả môi trường của FDI phụ thuộc vào khả năng hấp thụ thể chế trong điều kiện số hóa. Do đó, các quốc gia cần thúc đẩy ứng dụng công nghệ số trong giám sát môi trường, minh bạch hóa thông tin và nâng cao năng lực thực thi chính sách, đồng thời kiểm soát tiêu thụ năng lượng từ hạ tầng số, các chính sách thu hút FDI cần gắn với việc nâng cao năng lực quản trị số, thay vì chỉ tập trung vào ưu đãi đầu tư truyền thống

Thứ ba, nâng cao CLTC cần được xem là yếu tố trung tâm trong chiến lược giảm phát thải. Điều này hàm ý rằng cải thiện thể chế – thông qua tăng cường thực thi pháp luật, nâng cao năng lực quản trị và minh bạch chính sách – là điều kiện tiên quyết để chuyển hóa lợi ích từ FDI và số hóa thành cải thiện môi trường.

Cuối cùng, các quốc gia cần tiếp cận chính sách theo hướng tích hợp, trong đó FDI, số hóa và thể chế không được xem là các yếu tố độc lập mà là các thành phần có mối quan hệ tương tác chặt chẽ. Đặc biệt, tại các nền kinh tế có mức độ số hóa cao, việc tiếp tục nâng cao CLTC sẽ giúp khuếch đại hiệu quả kiểm soát môi trường của FDI. Ngược lại, trong bối cảnh thể chế yếu, việc thúc đẩy số hóa hoặc thu hút FDI một cách riêng lẻ có thể không mang lại lợi ích môi trường như kỳ vọng.

PHỤ LỤC

Bảng A1. Kết quả kiểm định tính dừng của các biến

Các biến	I (0)	I (1)
co2	-1,867***	
fdi	-1,724***	
idi	-1,818***	
ins	-1,849***	
eng	-2,048***	
gdp	-1,632**	
ind		-3,540***
urb	-1,655**	
open	-1,738***	

Ghi chú: *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,1$.

Nguồn: Nhóm tác giả tính toán.

Tài liệu tham khảo

- Aiken, L.S., West, S.G. & Reno, R.R. (1991). Multiple regression: Testing and interpreting interactions. SAGE.
- Al-Aiban, K.M. (2024). Sustainable growth in expanded BRICS: linking institutional performance, digital governance, and green finance to environmental impact. *The Asian Bulletin of Contemporary Issues in Economics and Finance*, 4(1), 81-102.
- Aminu, T.A. & Alabi, M.K. (2024). Investigating the role of institutions in the FDI-ecological footprint linkage in Sub-Saharan Africa: is there a threshold for institutional quality?. *Ilorin Journal of Economic Policy*, 11(2), 1-18.
- Arellano, M. & Bover, O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error-components models. *Journal of econometrics*, 68(1), 29-51.
- Baum, C.F. (2006). *An introduction to modern econometrics using Stata*. Stata press.
- 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.
- Blundell, R. & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of econometrics*, 87(1), 115-143.
- Cole, M.A., Elliott, R.J. & Fredriksson, P.G. (2006). Endogenous pollution havens: Does FDI influence environmental regulations?. *Scandinavian Journal of Economics*, 108(1), 157-178.
- Cục Thương mại điện tử và kinh tế số (2023). *Kinh tế số là động lực tăng trưởng kinh tế khu vực ASEAN*. Hà Nội.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecological economics*, 49(4), 431-455.
- Eid, B.M. (2024). Digitalization, FDI, and sustainability: Exploring the impact of digital foreign direct investment on environmental and social well-being in Uzbekistan. *Ilmiy Elektron Journal*, 1(2), 38-48.
- Goldfarb, A. & Tucker, C. (2019). Digital economics. *Journal of economic literature*, 57(1), 3-43.
- Grossman, G.M. & Krueger, A.B. (1991). *Environmental impacts of a North American free trade agreement*. National Bureau of economic research Cambridge, Mass. USA.
- Guoyan, S., Khaskheli, A., Raza, S.A. & Shah, N. (2022). Analyzing the association between the foreign direct investment and carbon emissions in MENA countries: a pathway to sustainable development. *Environment, Development and Sustainability*, 24(3), 4226-4243.
- Huynh, C.M. & Hoang, H.H. (2018). Foreign direct investment and air pollution in Asian countries: does institutional quality matter?. *Applied Economics Letters*, 26(17), 1388-1392. <https://doi.org/10.1080/13504851.2018.1563668>
- Imam, M.A., Saini, W., Ibrahim, S. & Mohamad, W.N.W. (2024). Institutional Quality, Income, and FDI: Unravelling Their Impact on Environmental Degradation in Developing Economies. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 14(9). <http://dx.doi.org/10.6007/IJARBS/v14-i9/22902>
- IQAir (2025). *Delhi among top 10 most polluted cities in the world*. <https://www.iqair.com/newsroom/delhi-among-top-10-most-polluted-cities-in-the-world-12-28-2025>
- Jinapor, J.A., Abor, J.Y. & Graham, M. (2024). FDI, industrialisation and environmental quality in SSA - the role of institutional quality towards environmental sustainability. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1), 1-15.
- Kellenberg, D.K. (2009). An Empirical Test of the Pollution Haven Hypothesis with Strategic Environment and Trade Policy. *Journal of International Economics*, 78(2), 242-255.
- Khan, H., Weili, L. & Khan, I. (2022). The role of institutional quality in FDI inflows and carbon emission reduction: evidence from the global developing and belt road initiative countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(20), 30594-30621.
- Kutlu Furtuna, O. & Atis, S. (2024). Does foreign direct investment affect environmental degradation: Evidence from largest carbon intense countries. *PLoS One*, 19(11), e0314232.

-
- Lucas Jr, R.E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of monetary economics*, 22(1), 3-42.
- Majeed, M.T. & Sharif, F. (2024). The role of digitalization in driving green growth: A global panel data perspective. *Pakistan Journal of Commerce Social Sciences*, 18(2), 435-467.
- Murshed, M., Elheddad, M., Ahmed, R., Bassim, M. & Than, E.T. (2022). Foreign direct investments, renewable electricity output, and ecological footprints: do financial globalization facilitate renewable energy transition and environmental welfare in Bangladesh?. *Asia-Pacific Financial Markets*, 29(1), 33-78.
- Nguyen Thanh, N., Chin, K.H. & Nguyen, V. (2022). Does the pollution halo hypothesis exist in this “better” world? The evidence from STIRPAT model. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15.
- 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.
- North, D.C. (1990). *Institutions, Institutional Change, Economic performance*. New York.
- Romer, P.M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of political Economy*, 98(5), 71-102.
- UNCTAD (2023). *World Investment Report 2023*. <https://unctad.org/publication/world-investment-report-2023>
- UNEP (2024). *How Asian countries could save lives, boost growth by tackling air pollution*. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-asian-countries-could-save-lives-boost-growth-tackling-air-pollution>
- Wang, Q., Yang, T., Li, R. & Wang, X. (2023). Reexamining the impact of foreign direct investment on carbon emissions: does per capita GDP matter?. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1), 1-18.
- Zhang, Z., Ding, Z., Geng, Y., Pan, L. & Wang, C. (2023). The impact of digital economy on environmental quality: Evidence from China. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1120953.
- Zhou, X., Zhou, D., Zhao, Z. & Wang, Q. (2022). A framework to analyze carbon impacts of digital economy: The case of China. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 357-369.

***Tác giả liên hệ: Nguyễn Việt Hồng Anh. Email: nvhanh@ufm.edu.vn**