

Working Paper 2023.2.1.14
- Vol 2, No 1

**TÁC ĐỘNG CỦA CÔNG NGHỆ THÔNG TIN TRUYỀN THÔNG ĐẾN
LƯỢNG PHÁT THẢI CO₂ GIAI ĐOẠN 2000 – 2020**

Nguyễn Yến Nhi¹, Võ Thị Thanh Thảo, Nguyễn Khánh Ngọc, Vũ Ngọc Thúy

Sinh viên K60 Kinh tế quốc tế - Khoa Kinh tế quốc tế

Trường Đại học Ngoại Thương, Hà Nội, Việt Nam

Hoàng Sơn Hải

Sinh viên K60 Kinh tế - Viện Kinh tế và Kinh doanh quốc tế

Trường Đại học Ngoại Thương, Hà Nội, Việt Nam

Nguyễn Hương Thảo

Sinh viên K61 Kinh tế quốc tế - Khoa Kinh tế quốc tế

Trường Đại học Ngoại Thương, Hà Nội, Việt Nam

Lê Huyền Trang

Giảng viên Khoa Kinh tế quốc tế

Trường Đại học Ngoại Thương, Hà Nội, Việt Nam

Tóm tắt

Công nghệ thông tin - truyền thông (CNTT–TT) đang ngày càng phát triển và giữ vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế; tuy nhiên, điều này cũng đặt ra nhiều thách thức đối với các quốc gia trong việc bảo vệ môi trường và ổn định lượng phát thải CO₂. Mục đích nghiên cứu nhằm phân tích tác động của CNTT–TT đến lượng phát thải CO₂ trong giai đoạn 2000 - 2020. Bên cạnh đó,

¹ Tác giả liên hệ, Email: k60.2111410100@ftu.edu.vn

tác động của tăng trưởng kinh tế, đầu tư trực tiếp nước ngoài, độ mở thương mại và quy mô dân số đến lượng phát thải CO₂ cũng được đề cập trong bài. Phương pháp ước lượng Driscoll-Kraay với dữ liệu bảng được tổng hợp từ 161 quốc gia, vùng lãnh thổ trong giai đoạn 2000 – 2020. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng sự phát triển của CNTT-TT có tác động tích cực đến lượng phát thải CO₂, điều này hàm ý rằng CNTT-TT dẫn đến tình trạng môi trường trở nên xấu hơn. Dựa vào kết quả, nghiên cứu cũng đưa ra những đề xuất một số chính sách phù hợp để phát triển CNTT-TT, đồng thời giảm thiểu lượng phát thải CO₂.

Từ khóa: Công nghệ thông tin – truyền thông (CNTT – TT/ICT), phát thải CO₂

JEL: C38, O33, Q53, Q55

THE IMPACT OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGIES ON CO₂ EMISSIONS IN 2000 – 2020

Abstract

Information and communication technology is increasingly developing and plays a vital role in economic development; however, the rapid development of ICT also poses many challenges for countries in protecting the environment and stabilizing CO₂ emissions. This study analyzes the impact of ICT on CO₂ emissions from 2000 to 2020. Besides, the effect of economic growth, foreign direct investment, trade openness, and population size on CO₂ emissions is also mentioned in the article. The study uses the Driscoll-Kraay estimation method with panel data collected from 161 countries and territories in the period 2000-2020. The experimental results identify the development of information technology-communication positively impacts CO₂ emissions. In other words, ICT leads to environmental degradation. Based on the analysis of these results, the authors have also proposed several appropriate policies to develop ICT and reduce CO₂ emissions.

Keywords: Information and communication technology (ICT), CO₂ emissions.

1. Giới thiệu chung

Công nghệ thông tin và truyền thông (ICT) ngày càng phát triển mang lại hiệu quả kinh tế cao, nhưng đây cũng là một thách thức lớn đối với vấn đề môi trường và đặc biệt trong đảm bảo lượng phát thải CO₂ ở mức ổn định. Theo nghiên cứu từ Đại học Lancaster, tác động của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂ đang trở nên đáng lo ngại hơn. Ngành CNTT-TT, chịu trách nhiệm về tỷ lệ phát thải khí nhà kính lớn hơn ước tính trước đây, vào khoảng 2,1-3,9% (lớn hơn lượng phát thải của ngành hàng không).

Nghiên cứu tác động của CNTT-TT đối với lượng phát thải CO₂, nhiều nhà nghiên cứu cũng đã chỉ ra ICT có thể giúp giảm lượng khí thải CO₂ thông qua cải tiến công nghệ, tối ưu hóa quy trình sản xuất và quá trình phi vật chất hóa, nhờ đó giúp giảm ô nhiễm môi trường (Atsu & cộng sự, 2021; Danish, 2019; Kouton, 2019; Ahmed & Le, 2020). Mặt khác, nhiều quan điểm cho rằng những lợi thế phát sinh từ việc ứng dụng ICT sẽ làm giảm giá sản phẩm và dịch vụ, từ đó kích thích tiêu dùng, thúc đẩy các hoạt động kinh tế và công nghiệp hóa, làm tăng mức tiêu thụ năng lượng

và khí thải (Aldakhil & cộng sự, 2019; Haftu, 2019). Việc chưa đồng nhất các kết quả nghiên cứu này có thể được lý giải bởi việc sử dụng các biến đại diện cho CNTT-TT giữa các bài nghiên cứu là khác nhau, phạm vi nghiên cứu về cả không gian và thời gian của các bài nghiên cứu cũng khác nhau. Hơn nữa, hầu hết các bài nghiên cứu chỉ mới đưa ra tác động của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂ nhưng chưa chỉ rõ sự khác biệt về tác động đến từng nhóm quốc gia.

Vì thế, nhóm tác giả quyết định lựa chọn đề tài: “Tác động của công nghệ thông tin truyền thông đến lượng phát thải CO₂ giai đoạn 2000-2020”. Nghiên cứu sử dụng phương pháp kết hợp định tính và định lượng, nghiên cứu số liệu của 161 quốc gia, vùng lãnh thổ trong giai đoạn 2000-2020. Nguồn số liệu được thu thập chủ yếu từ World Development Indicators (WDI), International Telecommunication Union (ITU) với mong muốn đưa ra đến cách nhìn tổng quát hơn, kết quả nghiên cứu có thể là bằng chứng và đề xuất chính sách để các quốc gia phát triển CNTT-TT, đồng thời giảm thiểu lượng khí thải CO₂.

2. Tổng quan nghiên cứu và cơ sở lý thuyết

2.1. Tổng quan nghiên cứu

Trong thời đại công nghệ phát triển hiện nay, những lợi ích tiềm năng của CNTT-TT đã được nhận thức rõ ràng trên khắp thế giới (Niebel, 2018; Majeed & Khan, 2019). Tuy nhiên, người ta ít chú ý đến một vấn đề quan trọng không kém, đó là làm thế nào để sự phát triển của CNTT-TT quyết định biến đổi khí hậu. Các tài liệu hiện có về CNTT-TT và môi trường rất đa dạng, phức tạp và xung đột, mối quan hệ giữa CNTT-TT và lượng phát thải CO₂, nhưng kết quả đưa ra vẫn chưa có sự thống nhất trong các nghiên cứu trước đây.

Godil & cộng sự (2020) nghiên cứu trong phạm vi Pakistan hay gần nhất là Xuân & Hưng (2023) nghiên cứu cho Việt Nam về tác động của ICT, phát triển tài chính và chất lượng thể chế đến lượng phát thải CO₂, chỉ ra rằng trong dài hạn, thu nhập quốc dân và chất lượng thể chế có tác động tích cực đến lượng phát thải CO₂, trong khi CNTT-TT và phát triển tài chính có tác động tiêu cực đến lượng khí thải CO₂ ở bất kỳ mức phát thải cao hay thấp, điều này cho thấy nếu tăng cường phát triển tài chính và CNTT-TT sẽ làm giảm lượng khí thải CO₂. Ngoài ra, nghiên cứu của Zafar & cộng sự, 2022 cũng công nhận tác động ngược chiều dài hạn của ICT đến khí thải CO₂.

Với góc nhìn khác về ICT, nghiên cứu của Haseeb & cộng sự (2019) hay nghiên cứu của Muntasir (2020) cũng đã tập trung vào tác động của việc mở cửa thương mại CNTT-TT đến việc sử dụng năng lượng tái tạo và giảm phát thải CO₂ ở Châu Á. Nghiên cứu chỉ ra rằng CNTT-TT có tác động tích cực trong việc giảm lượng phát thải khí nhà kính như CO₂ bằng cách tăng truy cập đến năng lượng tái tạo, hiệu quả năng lượng, nhiên liệu sạch và hỗ trợ theo dõi ô nhiễm không khí và lưu trữ cacbon.

Tuy nhiên, một số nghiên cứu lại cho thấy sự phát triển của CNTT-TT làm cho chất lượng môi trường trở nên xấu đi do tăng lượng khí thải CO₂ (Avom & cộng sự, 2020; Asongu & cộng sự,

2018; Lee & Brahmasrene, 2014). Thêm vào đó, Elmi & Arianfar (2023) chỉ ra rằng sử dụng internet và thương mại đều làm tăng lượng phát thải CO₂. Ngoài ra, nghiên cứu cũng chỉ ra mức độ thu nhập của mỗi người dân trong các quốc gia xuất khẩu dầu của OPEC Plus cũng có tác động đến lượng phát thải CO₂, theo mô hình của đường cong môi trường Kuznets, tức là khi mức thu nhập của mỗi người dân tăng lên, lượng phát thải CO₂ cũng tăng lên, nhưng sau đó sẽ giảm xuống khi mức thu nhập đạt đến một ngưỡng nhất định.

Một số nghiên cứu xem xét đến mức thu nhập của các quốc gia và cho rằng CNTT-TT cải thiện tính bền vững môi trường ở các quốc gia có chất lượng CNTT-TT cao, thường là các nước đã phát triển; trong khi làm suy giảm môi trường ở các quốc gia có chất lượng CNTT-TT trung bình và thấp, điển hình cho các nền kinh tế đang phát triển (Appiah-Otoo & cộng sự, 2022; Majeed, 2018). Ngoài ra, Appiah-Otoo & cộng sự (2022) còn chỉ ra tồn tại mối quan hệ nhân quả hai chiều giữa CNTT-TT và lượng khí thải cacbon ở các quốc gia có chất lượng CNTT-TT cao và trung bình, trong khi có mối quan hệ nhân quả một chiều từ phát thải cacbon đến CNTT-TT ở các quốc gia có chất lượng CNTT-TT thấp.

Mặt khác, có nghiên cứu chỉ ra việc sử dụng điện thoại di động và internet không ảnh hưởng đến lượng phát thải CO₂ (Asongu & cộng sự, 2018), trong khi có nghiên cứu chỉ ra tác động nhân quả hai chiều hay một chiều đến CO₂ (Haseeb & cộng sự, 2019).

Qua quá trình tổng hợp, phân tích các nghiên cứu đi trước cho thấy mối quan hệ giữa CNTT-TT và lượng phát thải CO₂ rất phức tạp và chưa có sự đồng nhất, điều này có thể được lý giải bởi việc sử dụng các biến để đại diện cho CNTT-TT giữa các bài nghiên cứu là khác nhau. Một lý do khác có thể là sự khác nhau trong phạm vi nghiên cứu về cả không gian và thời gian. Vì thế, nghiên cứu nhằm đo lường tác động của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂, đánh giá xem nhóm các quốc gia theo thu nhập đang ở vị trí nào theo đường cong Kuznets, qua đó đề xuất một số giải pháp để phát triển CNTT-TT, đồng thời làm giảm thiểu lượng CO₂ thải ra môi trường, cải thiện chất lượng môi trường.

2.2. *Khái quát về CNTT-TT và phát thải CO₂*

2.2.1. *Khái niệm*

Phát thải CO₂

Lượng phát thải CO₂ là một trong các chỉ số được dùng để đo lường sự xuống cấp của môi trường (Tsaurai, 2019). Theo Cơ quan quản lý Năng lượng và Môi trường Pháp, lượng phát thải CO₂ được tính:

$$\text{Lượng CO}_2 \text{ phát thải} = \sum_j (\text{Fuel}_j \times \text{EF}_j)$$

Trong đó: j là loại nhiên liệu; Fuel là lượng nguyên, nhiên liệu tiêu thụ phục vụ sử dụng; EF là hệ số phát thải (hay hệ số chuyển đổi) trên một đơn vị cần tính toán.

Công nghệ thông tin và truyền thông

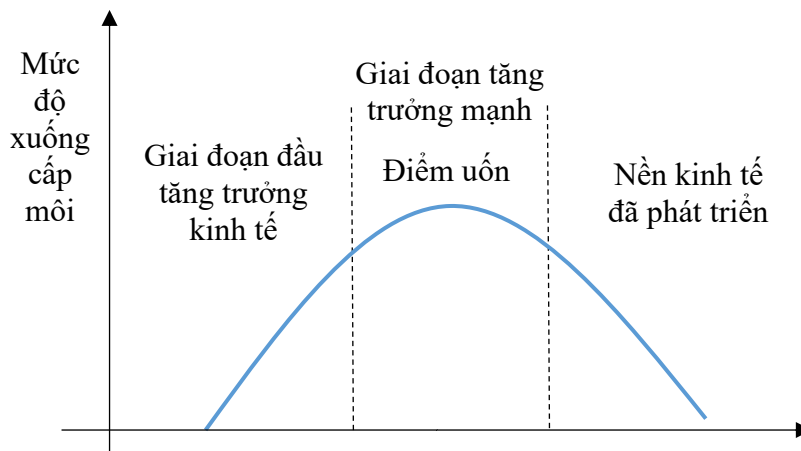
Theo Bộ thông tin và truyền thông, công nghệ thông tin và truyền thông là một thuật ngữ được kết hợp giữa công nghệ thông tin và công nghệ truyền thông, chỉ chung cho tất cả các loại công nghệ cho phép người dùng tạo, truy cập và thao tác với thông tin. ICT bao gồm tất cả phương tiện kỹ thuật dùng để xử lý thông tin và hỗ trợ liên lạc như điện thoại, mạng máy tính, viễn thông (đường dây điện thoại và tín hiệu không dây), thiết bị xử lý âm thanh, video và các phương tiện truyền thông khác.

2.2.2. Ảnh hưởng của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂

Lý thuyết đường cong Kuznets

Nghiên cứu về tác động của ICT đến lượng phát thải CO₂ được mô tả bằng một đường cong hình chữ U ngược tương tự như Đường cong Môi trường Kuznets.

Lý thuyết đường cong Kuznets bắt đầu được ứng dụng trong các phân tích liên quan đến kinh tế học môi trường từ đầu những năm 1990. Lý thuyết chỉ ra: tăng trưởng kinh tế không phải là mối đe dọa, mà nó là phương tiện nhằm cải thiện môi trường trong tương lai (Galeotti & Lanza, 2005). Cụ thể, ô nhiễm môi trường tăng lên trong giai đoạn đầu phát triển kinh tế, tuy nhiên qua một mốc thu nhập nào đó, chất lượng môi trường được cải thiện và mức độ các chất thải giảm dần, có hình dạng U ngược (Hình 1).



Hình 1: Đồ thị mối quan hệ giữa môi trường và tăng trưởng kinh tế

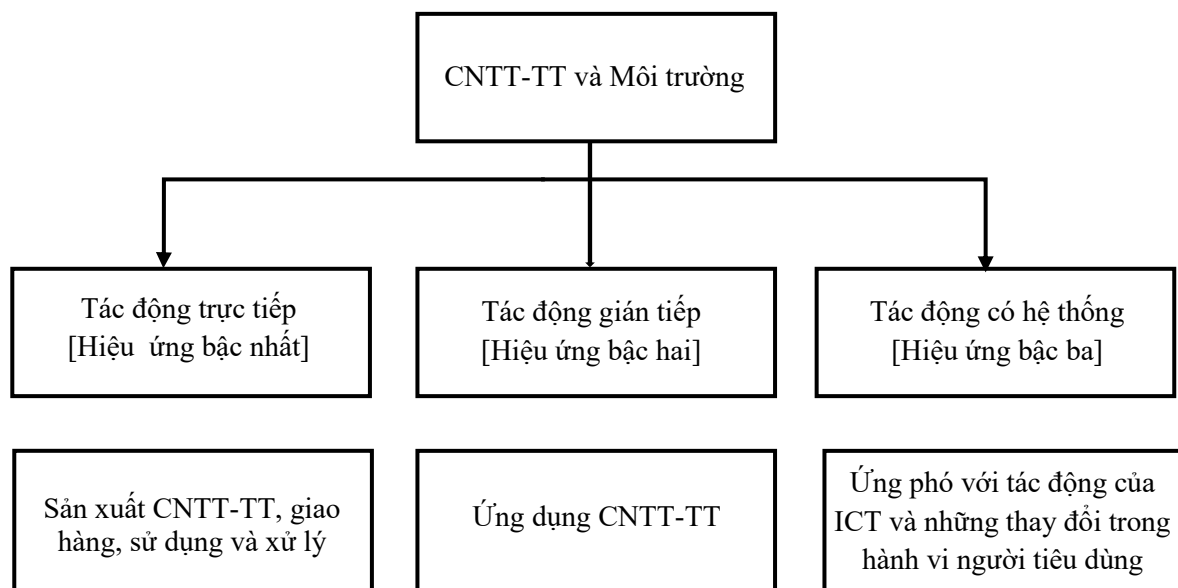
Nguồn: Uchiyama, K., 2016

Tương tự với mối quan hệ giữa môi trường và tăng trưởng kinh tế, mối quan hệ giữa ICT và lượng phát thải CO₂ cũng được mô tả bằng Đường cong Môi trường Kuznets. Xét về các yếu tố trong mô hình tăng trưởng Solow (1956), công nghệ được nghiên cứu là một yếu tố của tăng trưởng kinh tế. Công nghệ cho phép sản xuất hiệu quả hơn khi tạo ra sản lượng cao hơn với cùng lượng lao động và tư bản, làm cho nền kinh tế tiếp tục phát triển.

Như vậy, mối quan hệ theo Kuznets cho thấy rằng áp dụng CNTT-TT ban đầu làm môi trường xuống cấp trầm trọng hơn cho đến một ngưỡng nhất định, sau đó việc áp dụng CNTT-TT có thể giúp giảm lượng phát thải CO₂, cải thiện chất lượng môi trường. Tuy nhiên, sau ngưỡng này, việc thâm nhập sâu hơn của CNTT-TT càng tiên tiến làm giảm suy thoái môi trường (Grossman & Krueger, 1991, 1995). Do đó, suy thoái môi trường là một điều không thể tránh khỏi trên con đường phát triển của các quốc gia. Ngoài ra, tiến bộ công nghệ có thể là một lý do để giảm lượng khí thải khi một quốc gia đạt đến giai đoạn thu nhập cao. Điều này có nghĩa là khi các quốc gia trở nên giàu có hơn, họ có nhiều nguồn lực hơn để cải thiện công nghệ của họ, khi đó các công nghệ gây ô nhiễm có thể được thay thế bằng các công nghệ thân thiện với môi trường (Galeotti & Lanza, 2005).

Lý thuyết hiệu ứng phục hồi

Mối liên hệ của CNTT-TT với môi trường cũng phụ thuộc vào tác động phục hồi của CNTT-TT. Lý thuyết về hiệu ứng phục hồi ngụ ý rằng những tác động tích cực của công nghệ có thể được bù đắp trong thời gian dài (Muhammad, 2018). Sơ đồ dưới đây chỉ ra tác động phục hồi của CNTT-TT có thể được phân loại thành ba cấp là: tác động trực tiếp, tác động gián tiếp, và tác động hệ thống.



Hình 2: Các khía cạnh sinh thái của CNTT-TT

Nguồn: Muhammad Tariq Majeed, 2018

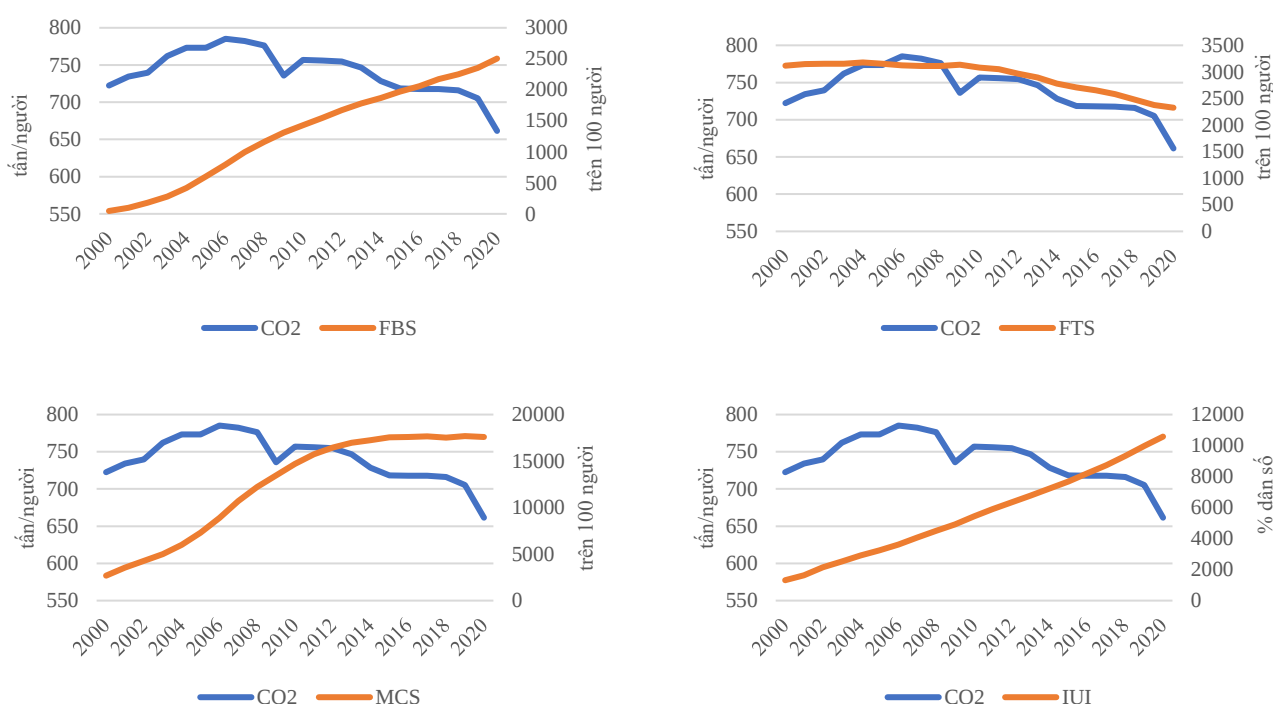
Ở cấp thứ nhất, sự phát triển của CNTT làm môi trường xấu đi thông qua việc tăng cường sản xuất, sử dụng và thải bỏ các sản phẩm CNTT-TT. Vòng đời của các sản phẩm liên quan đến CNTT trải dài từ “sản xuất, phân phối, vận chuyển, sử dụng và thải bỏ”, gợi ý rằng một số giai đoạn trong vòng đời của CNTT sẽ dẫn đến ô nhiễm. Ví dụ, việc tăng lượng rác thải điện tử và sử dụng năng lượng nhiều hơn trong sản xuất gây ra những ảnh hưởng xấu đến chất lượng môi trường.

Tuy nhiên CNTT-TT còn tác động gián tiếp đến môi trường. Ứng dụng CNTT-TT giúp nền kinh tế chuyển đổi từ cung cấp sản phẩm vật chất sang cung cấp dịch vụ, do đó, sẽ giúp con người giảm chi phí vật lý. Ngoài ra, CNTT còn cung cấp giải pháp thông minh và tự động trong các lĩnh vực khác nhau như sản xuất điện, giao thông và xây dựng. Vì vậy, CNTT được coi là công cụ hỗ trợ phát thải cacbon thấp và yếu tố quyết định chính của sự bền vững môi trường.

Bên cạnh đó, CNTT được coi là giải pháp tăng cường bảo vệ môi trường, giúp con người nâng cao nhận thức về vấn đề môi trường. Việc sử dụng công nghệ xanh, thân thiện với môi trường thông qua việc cung cấp kiến thức, thông tin, qua đó giảm thiểu những tác động tiêu cực do hoạt động của con người tạo ra đối với môi trường và giải quyết những thách thức môi trường quan trọng như biến đổi khí hậu.

Tóm lại, phát triển CNTT-TT có thể làm tăng lượng phát thải CO₂ cũng có thể cải thiện chất lượng môi trường theo tác động trực tiếp hay gián tiếp. Ngoài ra, việc áp dụng CNTT-TT ban đầu có thể làm chất lượng môi trường trầm trọng hơn và sự cải thiện có thể đến sau đó.

3. Thực trạng ảnh hưởng của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂ giai đoạn 2000-2020



Hình 3: Tác động của FBS, FTS, MCS, IUI đến lượng phát thải CO₂ giai đoạn 2000-2020

Nguồn: Nhóm tác giả tự tổng hợp

Hình 3 cho thấy mối tương quan nhiều chiều giữa mức phát thải CO₂ bình quân đầu người và ICT trong giai đoạn 2000-2020. Trong giai đoạn 2000-2008 khi lượng CO₂ bình quân đầu người

có sự gia tăng từ 720 tấn/người lên 780 tấn/người khi tăng FBS, MCS và IUI, hàm ý ICT làm tăng CO2 trong thời kỳ đầu tư và phát triển công nghệ.

Ngược lại, trong điều kiện phát triển hạ tầng công nghệ cao (2010 – 2020), FBS, MCS, IUI tương quan ngược chiều đến khí thải CO2. Ngược lại, FTS và lượng khí thải CO2 cùng giảm trong giai đoạn này. Theo IEA (2017), việc sử dụng CNTT-TT cũng được kỳ vọng sẽ đẩy nhanh quá trình chuyển đổi sang sử dụng năng lượng tái tạo, từ đó sẽ giảm thiểu phát thải CO2 toàn cầu. Ngoài ra, phần mềm CNTT-TT và các gói mô phỏng đã nâng cao hiệu quả sử dụng vật liệu và các nguồn lực khác trong sản xuất, nông nghiệp, tài chính, xây dựng và các lĩnh vực khác các ngành công nghiệp bằng cách giảm tổn thất vật chất trong ngành. Tương tự, cảm biến ICT cung cấp ứng dụng IoT (internet of thing) có thể cải thiện nhiều khía cạnh của cuộc sống con người, từ các thành phố thông minh bền vững đến các quy trình kinh doanh nâng cao, tiêu dùng và sản xuất bền vững.

Bên cạnh đó, xu hướng phát triển CNTT-TT giai đoạn 2000-2020 theo biểu đồ cho thấy việc sử dụng thuê bao di động (MSC) cao hơn các chỉ số khác CNTT-TT, lĩnh vực chủ yếu thúc đẩy nhu cầu về các công cụ liên lạc từ xa.

4. Phương pháp nghiên cứu

4.1. Mô hình nghiên cứu

4.1.1. Xây dựng mô hình nghiên cứu

Một số mô hình đã được phát triển để đánh giá tác động của các hoạt động nhân tạo đối với môi trường. Đầu năm 1971, Ehrlich & Holdren đề xuất phương trình IPAT. Theo các tác giả này, tác động môi trường (I) là một hàm tuyến tính của quy mô dân số (P); Sự giàu có (A) và Công nghệ (T). Mặc dù, mô hình IPAT đã được sửa đổi và cải tiến, tất cả các biến thể không dễ dàng cho phép hiệu ứng không đơn điệu hoặc không tỷ lệ của các động lực (York & cộng sự, 2003). Vì vậy, nghiên cứu sử dụng mô hình STIRPAT (Stochastic Impact by Regression on Population, Affluence and Technology) do Dietz & Rosa (1997) đề xuất cho phép linh hoạt hơn các biến thể khác. Mô hình STIRPAT cơ bản được viết là:

$$I_{it} = aP_{it}^b A_{it}^c T_{it}^d \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Với a là hằng số, trong khi b, c và d là các tham số liên quan đến P, A và T tương ứng và ε là sai số. Các chỉ số i và t tương ứng cho quốc gia và khoảng thời gian.

Để giải thích cho các biến bổ sung, mô hình STIRPAT được mở rộng như sau:

$$I_{it} = aP_{it}^b A_{it}^c T_{it}^d Z_{it}^e \varepsilon_{it} \quad (2)$$

Trong đó Z là viết tắt của các biến bổ sung có ảnh hưởng đến chất lượng môi trường e là tham số liên quan đến Z

Biểu diễn dạng tuyến tính như sau:

$$\ln I_{it} = \alpha + b \ln P_{it} + c \ln A_{it} + d \ln T_{it} + e \ln Z_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Trong đó $\ln()$ là log tự nhiên.

Để nghiên cứu ảnh hưởng của ICT đối với lượng khí thải CO₂, mô hình được sử dụng (Avom & cộng sự, 2020) như sau:

$$\ln CO_{2it} = \alpha + \beta \ln ICT_{it} + \sum_j \varphi_j \ln X_{jit} + \delta Z_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Trong đó: CO₂ là lượng phát thải CO₂ theo đầu người; ICT là chỉ số CNTT-TT; X_j là biến độc lập thứ j bao gồm: GDP bình quân đầu người (GDP), đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI), độ mở thương mại (Open), dân số (Pop). Z_i đại diện cho tác động riêng có của mô hình. i minh hoạ cho các nước; t là chỉ số thời gian; ε_{it} là sai số của mô hình.

4.1.2. Phương pháp nghiên cứu

Bài nghiên cứu sử dụng các phương pháp ước lượng cho dữ liệu bảng bao gồm: mô hình hồi quy gộp POLS, mô hình tác động cố định FEM và mô hình tác động ngẫu nhiên REM. Tiếp đến, để lựa chọn mô hình phù hợp nhất cho bộ dữ liệu, nhóm tác giả thực hiện các kiểm định bao gồm: kiểm định nhân tử Lagrange và kiểm định Hausman. Cuối cùng, sử dụng mô hình hồi quy Driscoll – Kraay để kiểm soát các khuyết tật như phương sai sai số thay đổi và tự tương quan trong mô hình.

4.2. Dữ liệu và biến số

Nghiên cứu này phân tích tác động của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂ trong giai đoạn từ 2000 đến 2020, đây là giai đoạn bùng nổ và phát triển công nghệ nhưng lượng phát thải CO₂ tăng cao toàn cầu gây ra nhiều hậu quả nghiêm trọng. Do hạn chế về số liệu nên nhóm tác giả lấy số liệu 161 quốc gia: 53 nước thu nhập cao, 47 nước thu nhập trung bình cao, 45 nước thu nhập trung bình thấp, và 16 nước thu nhập thấp.

4.2.1. Biến phụ thuộc

Lượng phát thải CO₂ bình quân đầu người được bằng tổng lượng khí CO₂ của quốc gia, lãnh thổ chia cho tổng dân số, đại diện cho suy thoái môi trường, được lấy từ World Development Indicators (WDI).

4.2.2. Biến giải thích

Để phân tích tác động của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂, nhóm tác giả đã sử dụng các biến giải thích ICT được tổng hợp từ 4 chỉ số phụ bằng phương pháp phân tích thành phần chính (PCA - Principal components analysis).

PCA được sử dụng để giảm số lượng biến trong tập dữ liệu thành một số 'thứ nguyên' nhỏ hơn, làm giảm tính chiều hướng của tập dữ liệu, tăng khả năng diễn giải của nó, nhưng đồng thời giảm thiểu mất thông tin. Ngoài ra, PCA cũng là một phương pháp thích hợp và thường được sử dụng

trong các nghiên cứu ICT trước đây (Appiah-Otoo & Song, 2021; Dabbous, 2018; Khan & cộng sự, 2020).

Chỉ số ICT index được tính toán từ ba thành phần phụ của ICT thông qua phân tích thành phần chính (PCA) để tránh vấn đề đa tuyến (Dabbous, 2018): số thuê bao điện thoại cố định – FTS, số thuê bao điện thoại di động – MCS, tỷ lệ người sử dụng Internet – IUI (Khan & cộng sự, 2020; Appiah-Otoo & Song, 2021).

Bảng 1: Biến số, định nghĩa, đơn vị, nguồn dữ liệu

Ký hiệu	Định nghĩa	Đơn vị	Nguồn dữ liệu
FBS	Số thuê bao băng rộng cố định	Số thuê bao/100 người	ITU; WDI
FTS	Số thuê bao điện thoại cố định	Số thuê bao/100 người	
MCS	Số thuê bao di động	Số thuê bao/100 người	
IUI	Tỷ lệ dân số sử dụng Internet	%	

Nguồn: Nhóm tác giả tự tổng hợp

4.2.3. Biến kiểm soát

Các biến kiểm soát được đưa vào mô hình để kiểm soát mọi đóng góp đáng kể của các biến này đến lượng phát thải CO₂ của các quốc gia, vùng lãnh thổ trong khoảng thời gian nghiên cứu. Các biến kiểm soát được thu thập từ bộ dữ liệu thứ cấp của WDI, bao gồm: thu nhập bình quân đầu người (GDP), đầu tư trực tiếp nước ngoài (FDI), độ mở thương mại (Open), quy mô dân số (Pop), được trình bày ở bảng.

Ngoài ra, để so sánh sự khác biệt trong tác động của CNTT-TT lên lượng phát thải CO₂ giữa các nhóm quốc gia, vùng lãnh thổ phân theo thu nhập, nghiên cứu đã dựa vào cách phân chia mức thu nhập của World Development Indicators (WDI), và lượng hóa với biến giả Type. Trong đó:

Type=1: Quốc gia có mức thu nhập cao

Type=2: Quốc gia có mức thu nhập trung bình thấp

Type=3: Quốc gia có mức thu nhập trung bình cao

Type=4: Quốc gia có mức thu nhập thấp

Bảng 2: Ký hiệu, giải thích, kỳ vọng dấu, nguồn dữ liệu, nguồn tham khảo biến số

Ký hiệu biến số	Giải thích	Dấu kỳ vọng	Nguồn dữ liệu	Nguồn tham khảo
-----------------	------------	-------------	---------------	-----------------

lnCO2	Lượng phát thải CO ₂ bình quân đầu người (tấn/người), lấy logarit tự nhiên.		WDI	
lnICT	Chỉ số tổng hợp CNTT-TT theo phương pháp PCA từ 4 chỉ số: FBS, FTS, MCS, IUI.	+		Appiah-Otoo & cộng sự (2022), Asongu & cộng sự (2018), Lee & Brahmasrene (2014)
lnGDP	GDP bình quân đầu người, PPP, giá cố định năm 2017 (\$/người), lấy logarit tự nhiên.	+	WDI	Knight & Schor (2014) Holtz-Eakin & Selden (1995), Aşıcı (2013), Hassan (2015)
lnFDI	Đầu tư trực tiếp nước ngoài (%GDP), lấy logarit tự nhiên.	+	WDI	Pao & Tsai (2011), Lee (2013), Huang & cộng sự (2019), Kim & Seok (2023), Salahuddin & cộng sự (2018)
lnOpen	Độ mở thương mại (%), lấy logarit tự nhiên.	+	WDI	Wang & cộng sự (2021) Le & cộng sự (2016), Managi & cộng sự (2009), Bernard & cộng sự (2016)
lnPop	Quy mô dân số (nghìn người), lấy logarit tự nhiên.	+	WDI	Dong & cộng sự (2018) Bongaarts (1992), Smil (1990), Dietz & Rosa (1997)
Type	Phân loại thu nhập quốc gia: thu nhập cao, thu nhập trung bình cao, thu nhập trung bình thấp, thu nhập thấp.	+	WDI	Stern & cộng sự (1996), Schmalensee & cộng sự (1998), Grossman & Krueger (1995)

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp

5. Kết quả nghiên cứu

5.1. Mô tả thống kê

Bảng 3: Mô tả thống kê thể hiện giá trị nhỏ nhất, giá trị lớn nhất và giá trị trung bình trong các biến số, bao gồm lượng phát thải CO₂, trình độ phát triển CNTT-TT, tăng trưởng kinh tế, FDI, độ mở thương mại, quy mô dân số và biến giả phân loại 4 nhóm quốc gia.

Bảng 3: Mô tả thống kê

Tên biến	Số quan sát	Giá trị trung bình	Sai số chuẩn	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
lnCO2	3381	0.6994248	1.522854	-3.826326	3.864029
lnICT	3381	-3.77e-10	1.000004	-4.716013	1.324761
lnGDP	3381	9.276082	1.172771	6.443644	11.70063
lnFDI	3381	1.020699	1.385363	-10.54686	9.751931
lnOpen	3381	4.343004	0.5149302	2.29809	6.573565
lnPop	3381	15.82208	1.907749	10.67851	21.06763
Type	3381	2.149068	0.9921093	1	4

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp

5.2. Ma trận tương quan biến số

Từ ma trận tương quan biến số dưới đây, có thể thấy biến thể hiện sự phát triển của CNTT-TT (lnICT) có tương quan mạnh, cùng chiều với lượng phát thải CO₂. Bên cạnh đó, hệ số tương quan giữa tăng trưởng kinh tế và phát thải CO₂ đạt 91.93%. Ngoài ra, hai biến số đại diện cho toàn cầu hóa kinh tế là lnFDI và lnOpen có tác động tương quan đáng kể và cùng chiều với lượng phát thải CO₂ (trên 15%). Cuối cùng, quy mô dân số là biến số duy nhất có tương quan thấp và ngược chiều với lượng phát thải CO₂.

Bảng 4: Ma trận tương quan

	lnCO2	lnICT	lnGDP	lnFDI	lnOpen	lnPOP
lnCO2	1.0000					
lnICT	0.8513	1.0000				
lnGDP	0.9193	0.8385	1.0000			
lnFDI	0.1653	0.1670	0.1673	1.0000		
lnOpen	0.3774	0.3229	0.3557	0.4351	1.0000	
lnPOP	-0.0547	-0.1124	-0.0617	-0.2084	-0.5247	1.0000

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp

5.3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Bảng 5: Kết quả hồi quy mô hình

Biến đại diện: CO2	POLS	REM	FEM	Driscoll - Kraay
<i>lnICT</i>	0.326*** (0.0177)	0.138*** (0.0132)	0.140*** (0.0135)	0.326*** (0.0362)
<i>lnGDP</i>	0.913*** (0.0201)	0.614*** (0.0176)	0.570*** (0.0185)	0.913*** (0.0292)
<i>lnFDI</i>	-0.0112 (0.00719)	0.0153*** (0.00332)	0.0142*** (0.00331)	-0.0112 (0.0107)
<i>lnOpen</i>	0.221*** (0.0239)	-0.00868 (0.0178)	-0.0172 (0.0179)	0.221*** (0.0194)
<i>lnPOP</i>	0.0410*** (0.00569)	0.0863*** (0.0169)	0.195*** (0.0278)	0.0410*** (0.00782)
<i>2.Type</i>	0.206*** (0.0459)	-0.789*** (0.108)		0.206*** (0.0512)
<i>3.Type</i>	0.270*** (0.0309)	-0.223** (0.102)		0.270*** (0.0264)
<i>4.Type</i>	-0.349*** (0.0708)	-1.988*** (0.156)		-0.349*** (0.0623)

<i>Hệ số chặn</i>	-9.461***	-5.851***	-7.617***	-9.461***
	(0.235)	(0.305)	(0.421)	(0.243)
Kiểm định bỏ sót biến	F(3, 3369) = 27.84 Prob > F = 0.0000			
Kiểm định đa cộng tuyến	Mean VIF = 3.68			
Kiểm định phương sai sai số thay đổi	chi2(38) = 476.87 Prob > F = 0.0000			
Kiểm định nhân tử Lagrange	chibar2(01) = 24345.64 Prob > chibar2 = 0.0000			
Kiểm định Hausman	chi2(6) = 67.97 Prob > chi2 = 0.0000			
Kiểm định Pesaran	Kiểm định Pesaran = 13.861 Prob = 0.0000			
Kiểm định Wald hiệu chỉnh	chi2(161) = 82353.16 Prob>chi2 = 0.0000			
Số quan sát	3,381	3,381	3,381	3,381
Hệ số xác định	0.885	0.857	0.706	0.885
Số quốc gia	161	161	161	161

*Ghi chú: ***, **, * có ý nghĩa thống kê ở mức 1%, 5%, 10%. Sai số chuẩn vững trong ngoặc đơn*

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp.

Trước hết, nhóm tác giả thực hiện lần lượt các kiểm định và ước lượng có liên quan để lựa chọn mô hình phù hợp bao gồm kiểm định bỏ sót biến, đa cộng tuyến, phương sai sai số thay đổi

và tự tương quan trên nền tảng mô hình bình phương tối thiểu thông thường POLS. Kết quả cho thấy mô hình không mắc đa cộng tuyến nhưng mắc ba khuyết tật còn lại.

Tiếp đến, nhóm tác giả tiến hành kiểm định nhân tử Lagrange và đưa ra kết quả mô hình hồi quy gộp (POLS) là không phù hợp. Do đó, tác giả sử dụng kiểm định Hausman để lựa chọn giữa mô hình REM và FEM, kết quả cho thấy mô hình FEM hiệu quả hơn. Tuy nhiên, khi tiến hành kiểm định các khuyết tật trong mô hình FEM, mô hình mắc khuyết tật phương sai sai số thay đổi và bị phụ thuộc chéo. Cuối cùng, mô hình Driscoll-Kraay được lựa chọn để khắc phục các khuyết tật và đưa ra mô hình ước lượng phù hợp; đồng thời đo lường được tác động của biến giả Type, là phù hợp hơn FEM.

Từ kết quả hồi quy, hệ số xác định của mô hình $R^2 = 0.885$, điều này có nghĩa mô hình đã ước lượng được 88.5% sự thay đổi trong giá trị của biến phụ thuộc.

Thứ nhất, kết quả nghiên cứu chỉ ra sự phát triển của CNTT-TT có tác động cùng chiều đến lượng phát thải CO₂ ở các quốc gia tại mức ý nghĩa 1%. CNTT-TT tăng 1%, lượng phát thải CO₂ sẽ tăng 0.326%. Kết quả này đúng với kỳ vọng và có thể được lý giải bởi: CNTT-TT ngày càng phổ biến khiến nhu cầu sử dụng điện ngày càng tăng, điều này dẫn đến việc đốt thêm nhiên liệu hóa thạch, đây vốn là một trong những nguồn chính tạo ra CO₂; bên cạnh đó, CNTT-TT phát triển khiến cho con người có nhu cầu mua sắm trực tuyến ngày càng tăng và hàng hóa được vận chuyển đến người tiêu dùng bằng xe tải hoặc tàu hỏa, điều này dẫn đến việc phát thải thêm khí nhà kính.

Thứ hai, kết quả nghiên cứu chỉ ra: tăng trưởng kinh tế (GDP), độ mở thương mại (Open), quy mô dân số (POP) có tác động cùng chiều đến lượng khí thải CO₂ như kỳ vọng và đều có ý nghĩa thống kê ở mức 1%. Cụ thể, khi tăng trưởng kinh tế thêm 1% làm lượng phát thải CO₂ tăng thêm là 0.913%. Kết quả hồi quy cũng phù hợp với nhận định của Knight & Schor (2014), Holtz-Eakin & Selden (1995), Aşıcı (2013), Heidari và cộng sự (2015) rằng tăng trưởng kinh tế có tác động tích cực tới lượng phát thải CO₂ tại các quốc gia. Tiếp theo, khi độ mở thương mại tăng 1%, lượng phát thải CO₂ tăng 0.221%, đồng quan điểm với các nhà nghiên cứu (Le & cộng sự, 2016, Managi & cộng sự, 2009, Bernard & cộng sự, 2016) về việc nền kinh tế càng mở cửa thì lượng phát thải CO₂ càng tăng. Nền kinh tế mở thúc đẩy xuất khẩu và nhập khẩu giữa các quốc gia làm tăng sản xuất bằng cách tăng quy mô của các ngành công nghiệp, tăng nhu cầu tiêu dùng năng lượng và nhu cầu vận tải, từ đó làm tăng lượng phát thải CO₂ trong nước (Jun & cộng sự, 2020). Cuối cùng, quy mô dân số có tác động tích cực đến lượng phát thải CO₂, nhưng tác động này không quá mạnh mẽ, quy mô dân số tăng thêm 1% làm tăng lượng phát thải CO₂ trung bình thêm 0.041%. Khi quy mô dân số tăng, nhu cầu sử dụng năng lượng cũng sẽ tăng dẫn đến lượng CO₂ thải ra môi trường cũng tăng lên (Dong & cộng sự, 2018). Bên cạnh đó, sự gia tăng dân số có thể dẫn đến sự phát triển của các khu vực đô thị mới, thường có mật độ dân số cao và nhu cầu về năng lượng, giao thông, điện và nước cao hơn các khu vực nông thôn. Vì vậy, quy mô dân số tăng cũng là một nguyên nhân khiến cho lượng phát thải CO₂ bình quân đầu người tăng lên.

Ngoài ra, tại mức ý nghĩa 1%, lượng phát thải CO₂ của quốc gia có thu nhập thấp nhỏ hơn 1.42 lần lượng phát thải tại quốc gia có thu nhập cao điều này có thể được giải thích bởi tại các quốc gia kém phát triển, việc áp dụng CNTT-TT chưa nhiều và đang ở mức môi trường có thể tự điều hòa được. Lượng phát thải tại hai nhóm quốc gia: quốc gia có thu nhập trung bình thấp và quốc gia có thu nhập trung bình cao lần lượt lớn hơn lượng phát thải CO₂ tại quốc gia có thu nhập cao là 1.23 và 1.31 lần. Từ kết quả phân tích có thể thấy, thu nhập bình quân đầu người có tác động cùng chiều với lượng phát thải CO₂ cho đến khi đạt ngưỡng và sau đó lượng phát thải CO₂ dần được kiểm soát và giảm xuống khi nền kinh tế đạt mức thu nhập cao nhất định. Điều này chứng tỏ tồn tại mối quan hệ đường cong Kuznets giữa thu nhập bình quân đầu người và lượng phát thải CO₂ như Stern & cộng sự (1996), Schmalensee & cộng sự (1998), Grossman & Krueger (1995) đã khẳng định tại những nghiên cứu trước đây.

Tuy nhiên, kết quả ước lượng cho thấy tác động của FDI đến lượng phát thải CO₂ là không đáng kể. Điều này trái với kỳ vọng mà nghiên cứu đã đặt ra trước đó.

6. Một số khuyến nghị

Từ kết quả nghiên cứu, có thể khẳng định rằng mặc dù CNTT-TT đóng vai trò quan trọng, là một trong những động lực thúc đẩy tăng trưởng kinh tế; tuy nhiên sự phát triển của CNTT-TT lại làm tăng lượng phát thải CO₂ đồng nghĩa với việc đem lại ảnh hưởng xấu tới chất lượng môi trường. Vì vậy, qua bài nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất một số chính sách giúp các tổ chức chính phủ và nhà hoạch định chính sách có thể phát triển CNTT-TT, đồng thời giảm thiểu lượng phát thải CO₂ ra môi trường.

Thứ nhất, để giảm lượng khí thải CO₂ các quốc gia có thể áp dụng thuế cacbon. Đây là loại thuế môi trường đánh vào lượng cacbon của nhiên liệu được sử dụng trong sản xuất, do các nguyên tử cacbon khi đốt cháy tạo ra khí CO₂. Thuế cacbon có mục đích định giá phát thải, ngăn chặn các hoạt động khai thác, sử dụng, tiêu dùng năng lượng quá mức bằng cách hạn chế và giảm thiểu khả năng sinh lời của các hoạt động đó. Chính phủ các nước có thể sử dụng nguồn thu từ thuế cacbon để hỗ trợ, khuyến khích các doanh nghiệp sử dụng năng lượng sạch, hoặc thực hiện các biện pháp thích nghi với biến đổi khí hậu.

Thứ hai, để hạn chế lượng khí cacbon thải ra môi trường, các quốc gia cần tích cực tham gia và phát triển thị trường cacbon. Theo cơ chế này, nhà nước xác lập tổng hạn ngạch phát thải cacbon rồi phân bổ hạn ngạch cho các doanh nghiệp có phát thải; sau đó thiết lập thị trường cacbon và cho phép các doanh nghiệp được phép mua bán, chuyển nhượng hạn ngạch phát thải. Doanh nghiệp cần tuân thủ đúng theo hạn ngạch phát thải, nếu không sẽ bị xử phạt. Thị trường cacbon là sự kết hợp giữa nhà nước và thị trường trong quản lý phát thải. Nhà nước quản lý hạn ngạch phát thải, trong khi thị trường tự điều tiết giá chuyển nhượng hạn ngạch phát thải. Thông qua áp dụng thị trường cacbon, các doanh nghiệp sẽ hạn chế lượng phát thải CO₂ trong quá trình kinh doanh, sản xuất.

Thứ ba, khuyến khích phát triển CNTT-TT chất lượng cao, vượt qua điểm chuyển đổi theo lý thuyết đường cong Kuznets để giảm lượng phát thải CO₂, đảm bảo chất lượng môi trường. Bên cạnh những công cụ kinh tế, các quốc gia nên triển khai mô hình công nghệ thông tin xanh (Green ICT) để hạn chế phát thải khí CO₂. Những yếu tố cơ bản của CNTT xanh bao gồm: các sản phẩm CNTT và quy trình sản xuất CNTT với độ ô nhiễm thấp, tiêu thụ ít năng lượng và ứng dụng CNTT nhằm tiết kiệm năng lượng, giảm thiểu ô nhiễm trong các hoạt động kinh tế, xã hội. CNTT xanh có thể tối đa hóa sử dụng hiệu quả năng lượng và tài nguyên, thúc đẩy chuyển sang xã hội cacbon thấp.

Kết luận

Nghiên cứu về tác động của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂ trong giai đoạn 2000 - 2020, cho thấy rằng CNTT-TT có ảnh hưởng đáng kể đến sự gia tăng lượng phát thải CO₂. Đồng quan điểm với Appiah-Otoo & cộng sự (2022), Majeed (2018), nghiên cứu cũng chỉ ra rằng việc áp dụng CNTT-TT ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường nghiêm trọng hơn ở các quốc gia có thu nhập trung bình. Tuy nhiên, đối với các quốc gia kém phát triển, có thu nhập thấp, CNTT-TT làm tăng lượng khí thải CO₂ ít hơn so với các quốc gia thu nhập cao. Bài nghiên cứu là một bằng chứng về chiều hướng tác động của CNTT-TT đến lượng phát thải CO₂ tại các nhóm nước phân theo thu nhập, kết quả nghiên cứu phù hợp với lý thuyết về đường cong Kuznets môi trường.

Tài liệu tham khảo

- Ahmed, Z. & Le, H.P. (2020), “Linking Information Communication Technology, Trade Globalization Index, and CO2 Emissions: Evidence from Advanced Panel Techniques”. *Environ Sci Pollut*, Vol. 28, pp. 8770-8781.
- Aldakhil, A.M., Zaheer, A., Younas, S., Nassani, A.A., Abro, M.M.Q. & Zaman, K. (2019), “Efficiently Managing Green Information and Communication Technologies, High-technology Exports, and Research and Development Expenditures: A Case Study”. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 240, pp. 118164.
- Appiah-Otoo, I. & Song, N. (2021), “The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries”, *Telecommunications Policy*, Vol. 45, No. 2, pp. 102082.
- Appiah-Otoo, I., Acheampong, A.O., Song, N. & Chen, X. (2022), “The impact of information and communication technology (ICT) on carbon dioxide emissions: Evidence from heterogeneous ICT countries”, *Energy & Environment*, 0958305X221118877.
- Aşıcı, A.A. (2013), “Economic growth and its impact on environment: A panel data analysis”, *Ecological indicators*, Vol. 24, pp. 324-333.
- Asongu, S. A., Le Roux, S. & Biekpe, N. (2018), “Enhancing ICT for environmental sustainability in sub-Saharan Africa”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 127, pp. 209-216.
- Atsu, F., Adams, S. & Adjei, J. (2021), “ICT, Energy Consumption, Financial Development, and Environmental Degradation in South Africa”. *Heliyon*, Vol. 7 No. 7.
- Avom, D., Nkengfack, H., Fotio, H.K. & Totouom, A. (2020), “ICT and environmental quality in Sub-Saharan Africa: Effects and transmission channels”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 155, pp. 120028.
- Bernard, J. & Mandal, S.K. (2016), “The impact of trade openness on environmental quality: an empirical analysis of emerging and developing economies”, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, Vol. 203, pp. 195-208.
- Bongaarts, J. (1992), “Population growth and global warming”, *Population and Development Review*, pp. 299-319.
- Dabbous, A. (2018), “The impact of information and communication technology and financial development on energy consumption: a dynamic heterogeneous panel analysis for MENA countries”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 8 No. 4, pp. 70.
- 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*, Vol. 45, pp. 101300.

- Dietz, T. & Rosa, E.A. (1997), “Effects of population and affluence on CO2 emissions”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 94 No. 1, pp. 175-179.
- Dong, K., Hochman, G., Zhang, Y., Sun, R., Li, H. & Liao, H. (2018), “CO2 emissions, economic and population growth, and renewable energy: empirical evidence across regions”, *Energy Economics*, Vol. 75, pp. 180-192.
- Elmi, Z.M. & Arianfar, F. (2023), “The role of information and communication technology and per capita income on CO2 emissions in OPEC Plus oil exporting countries with an emphasis on the Kuznets environmental curve”, *Journal of Environmental Science Studies*, Vol. 8 No. 3, pp. 7130-7148.
- Galeotti, M. & Lanza, A. (2005), “Desperately seeking environmental Kuznets”, *Environmental Modelling and Software*, Vol. 20 No. 11, pp. 1379-1388.
- Godil, D.I., Sharif, A., Agha, H. & Jermsittiparsert, K. (2020), “The dynamic nonlinear influence of ICT, financial development, and institutional quality on CO2 emission in Pakistan: new insights from QARDL approach”, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, pp. 24190-24200.
- Grossman, G.M & Krueger, A.B (1991). “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”. *National Bureau of Economics Research Working Paper*, pp. 3194.
- Grossman, G.M. & Krueger, A.B. (1995), “Economic growth and the environment”, *The quarterly journal of economics*, Vol. 110 No. 2, pp. 353-377.
- Haftu, G.G. (2019), “Information Communications Technology and Economic Growth in Sub-Saharan Africa: A Panel Data Approach”. *Telecommun Policy*, Vol. 43, pp. 88-99
- Haseeb, A., Xia, E., Saud, S., Ahmad, A. & Khurshid, H. (2019), “Does information and communication technologies improve environmental quality in the era of globalization? An empirical analysis”, *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 26, pp. 8594-8608.
- Heidari, H., Katircioğlu, S.T. & Saeidpour, L. (2015), “Economic growth, CO2 emissions, and energy consumption in the five ASEAN countries”, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 64, pp. 785-791.
- Holtz-Eakin, D. & Selden, T.M. (1995), “Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth”, *Journal of public economics*, Vol. 57 No. 1, pp. 85-101.
- Huang, Y., Chen, X., Zhu, H., Huang, C. & Tian, Z. (2019), “The heterogeneous effects of FDI and foreign trade on CO2 emissions: Evidence from China”, *Mathematical Problems in Engineering*.
- IEA. (2017), “Digitalisation and energy”, *International Energy Association*, <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy> (truy cập 29/07/2023).

- Jun, W., Mahmood, H. & Zakaria, M. (2020), "Impact of trade openness on environment in China", *Journal of Business Economics and Management*, Vol. 21 No. 4, pp. 1185-1202.
- Kim, S.E. & Seok, J.H. (2023), "The impact of foreign direct investment on CO2 emissions considering economic development: Evidence from South Korea", *The Journal of International Trade & Economic Development*, Vol. 32 No. 4, pp. 537-552.
- Knight, K.W. & Schor, J.B. (2014), "Economic growth and climate change: a cross-national analysis of territorial and consumption-based carbon emissions in high-income countries", *Sustainability*, Vol. 6 No. 6, pp. 3722-3731.
- Kouton, J. (2019), "Information Communication Technology Development and Energy Demand in African Countries", *Energy*, Vol. 189, pp. 116192.
- 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*, Vol. 27, pp. 36718-36731.
- Le, T.H., Chang, Y. & Park, D. (2016), "Trade openness and environmental quality: International evidence", *Energy policy*, Vol. 92, pp. 45-55.
- Lee, J.W. & Brahmasrene, T. (2014), "ICT, CO2 emissions and economic growth: evidence from a panel of ASEAN", *Global Economic Review*, Vol. 43 No. 2, pp. 93-109.
- Lee, J.W. (2013), "The contribution of foreign direct investment to clean energy use, carbon emissions and economic growth", *Energy policy*, Vol. 55, pp. 483-489.
- Majeed, M.T. & Khan, F.N. (2019), "Do information and communication technologies (ICTs) contribute to health outcomes? An empirical analysis", *Quality & quantity*, Vol. 53 No. 1, pp. 183-206.
- Majeed, M.T. (2018), "Information and communication technology (ICT) and environmental sustainability in developed and developing countries", *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*, Vol. 12 No. 3, pp. 758-783.
- Managi, S., Hibiki, A. & Tsurumi, T. (2009), "Does trade openness improve environmental quality?", *Journal of environmental economics and management*, Vol. 58 No. 3, pp. 346-363.
- Niebel, T. (2018), "ICT and economic growth—Comparing developing, emerging and developed countries", *World development*, Vol. 104, pp. 197-211.
- Pao, H.T. & Tsai, C.M. (2011), "Multivariate Granger causality between CO2 emissions, energy consumption, FDI (foreign direct investment) and GDP (gross domestic product): evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India, and China) countries", *Energy*, Vol. 36 No. 1, pp. 685-693.

- Salahuddin, M., Alam, K., Ozturk, I. & Sohag, K. (2018), “The effects of electricity consumption, economic growth, financial development and foreign direct investment on CO2 emissions in Kuwait”, *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 81, pp. 2002-2010.
- Schmalensee, R., Stoker, T.M. & Judson, R.A. (1998), “World carbon dioxide emissions: 1950–2050”, *Review of Economics and Statistics*, Vol. 80 No. 1, pp. 15-27.
- Smil, V. (1990), “Planetary warming: Realities and responses”, *Population and Development Review*, pp. 1-29.
- Solow, R.M. (1956), “A Contribution to the Theory of Economic Growth”, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70 No. 1, pp. 65.
- Stern, D.I., Common, M.S. & Barbier, E.B. (1996), “Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development”, *World Development*, Vol. 24 No. 7, pp. 1151-1160.
- Tsaurai, K. (2019), “The impact of financial development on carbon emissions in Africa”, *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 9 No. 3, pp. 144.
- Wang, Q. & Zhang, F. (2021), “The effects of trade openness on decoupling carbon emissions from economic growth—evidence from 182 countries”, *Journal of cleaner production*, Vol. 279, pp. 123838.
- Xuân, H.T. & Hưng, N.T. (2023), “Phân tích tác động của ICT, GDP và REN đến khí thải CO2 tại Việt Nam”, *VNU JOURNAL OF ECONOMICS AND BUSINESS*, Vol. 3 No. 3.
- Zafar, M.W., Zaidi, S.A.H., Mansoor, S., Sinha, A. & Qin, Q. (2022), “ICT and education as determinants of environmental quality: The role of financial development in selected Asian countries”, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 177, pp. 121547.