



THE NONLINEAR RELATIONSHIP BETWEEN RESEARCH AND DEVELOPMENT INVESTMENT AND RENEWABLE ENERGY PRODUCTION: LESSONS FROM CENTRAL ASIAN COUNTRIES

Bien Huu An¹, Ngo Quoc Danh¹, Duong Dang Khoa^{1*}

¹Ton Duc Thang University, Vietnam

ARTICLE INFO	ABSTRACT
DOI: 10.52932/jfmr.v16i3.568 <i>Received:</i> July 15, 2024 <i>Accepted:</i> November 14, 2024 <i>Published:</i> June 25, 2025 Keywords: Central Asia; Linear model; Nonlinear; Renewable energy; Research and Development (R&D) JEL codes: O30, Q42, Q43	Previous studies have analyzed the importance of Research and Development (R&D) in renewable energy production. This study takes a step further by estimating the nonlinear relationship between the government spending on R&D investments and renewable energy production. The study employs a universal linear model to analyze data from seven Central Asian countries from 2002 to 2021. The empirical results indicate that R&D investment has an inverted U-shaped relationship with renewable energy production. The study suggests an optimal level of R&D investment to maximize renewable energy production. The empirical results also provide support for government policies to enhance the development of renewable energy production in Central Asia.

**Corresponding author:*

Email: duongdangkhoa@tdtu.edu.vn



MỐI QUAN HỆ PHI TUYẾN TÍNH GIỮA ĐẦU TƯ CHO NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN VỚI SẢN XUẤT NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO: BÀI HỌC TỪ CÁC QUỐC GIA TRUNG Á

Biện Hữu An¹, Ngô Quốc Danh¹, Dương Đăng Khoa^{1*}

¹Trường Đại Học Tôn Đức Thắng

THÔNG TIN	TÓM TẮT
DOI: 10.52932/jfmr.v16i3.568 Ngày nhận: 15/07/2024 Ngày nhận lại: 14/11/2024 Ngày đăng: 25/06/2025 Từ khóa: Mô hình tuyến tính tổng quát; Năng lượng tái tạo; Nghiên cứu và Phát triển (R&D); Phi tuyến tính; Trung Á Mã JEL: O30, Q42, Q43	Các nghiên cứu trước đây đã phân tích tầm quan trọng của Nghiên cứu và Phát triển trong việc sản xuất năng lượng tái tạo. Bài nghiên cứu này tiến một bước xa hơn trong việc ước lượng mối quan hệ phi tuyến tính giữa các chi tiêu của Chính phủ trong hạng mục đầu tư Nghiên cứu và Phát triển và sản xuất năng lượng tái tạo. Nghiên cứu này sử dụng mô hình tuyến tính tổng quát để phân tích dữ liệu từ 7 quốc gia Trung Á từ năm 2002 đến năm 2021. Kết quả thực nghiệm cho thấy, đầu tư cho Nghiên cứu và Phát triển có mối quan hệ U ngược với sản xuất năng lượng tái tạo. Kết quả nghiên cứu đề xuất mức đầu tư cho Nghiên cứu và Phát triển để gia tăng sản xuất năng lượng tái tạo một cách tối ưu. Kết quả thực nghiệm còn hỗ trợ Chính phủ đưa ra các cơ chế hỗ trợ nhằm tăng cường sự phát triển của sản xuất năng lượng tái tạo ở Trung Á.

1. Giới thiệu

Việc phát thải khí nhà kính đóng góp đáng kể vào hiện tượng ấm lên toàn cầu, với tác động môi trường tiêu cực, việc giảm lượng khí CO₂ được xem là một vấn đề quan trọng của cả thế

giới (Khezri và cộng sự, 2021). Sự gia tăng trong việc sản xuất năng lượng tái tạo đánh dấu một sự chuyển đổi hướng về tính bền vững. Sự tăng trưởng trong sản xuất năng lượng tái tạo cải thiện an ninh năng lượng, giảm chi phí sản xuất và đa dạng hóa sản xuất bằng cách giảm thiểu sự phụ thuộc vào năng lượng hóa thạch. Tuy nhiên, các nguồn năng lượng tái tạo chỉ đóng góp một phần nhỏ vào tổng sản xuất điện do

*Tác giả liên hệ:

Email: duongdangkhoa@tdtu.edu.vn

chi phí kém cạnh tranh hơn so với năng lượng truyền thống (Semieniuk, 2016). Hơn nữa, việc đầu tư vào nghiên cứu và phát triển (R&D) cải thiện ô nhiễm môi trường (Tian và cộng sự, 2020) và thúc đẩy sự phát triển của sản xuất năng lượng tái tạo (Yu & Xu, 2019). Tuy nhiên, việc đánh giá ảnh hưởng của chi tiêu của Chính phủ vào phát triển công nghệ năng lượng tái tạo chưa nhận được sự quan tâm đúng mức. Trong bối cảnh ngày càng lo ngại về sự phát triển bền vững của quốc gia bị đe dọa bởi ô nhiễm môi trường, các quốc gia trong Liên minh Châu Âu đã thúc đẩy R&D cho lĩnh vực sản xuất năng lượng tái tạo (Adedoyin và cộng sự, 2020). Trung Quốc cũng chung mối lo trên, Chính phủ nước này đã ban hành Luật Năng lượng tái tạo vào 2005 và trợ cấp cho R&D công nghệ tiên tiến và hỗ trợ các sáng kiến liên quan để áp dụng sản xuất năng lượng tái tạo (Shen & Lou, 2015). Trong khi đó, Khezri và cộng sự (2021) lại tìm thấy được sự phát triển không đồng đều khi thiếu hoạt động R&D, thủy điện sẽ được ưu tiên nhờ sự đơn giản hơn điện gió, điện mặt trời. Hơn nữa, Lin và Xie (2023) lại cho rằng, việc đầu tư R&D quá mức sẽ khiến hiệu suất sản xuất năng lượng tái tạo kém đi, hàm ý rằng, có một điểm dừng (đỉnh) của hành động này.

Nghiên cứu này lựa chọn bối cảnh Trung Á bởi một nghịch lý nổi bật: tiềm năng năng lượng tái tạo to lớn của khu vực lại tồn tại song song với công suất sản xuất thực tế còn rất khiêm tốn. Tính đến năm 2022, tổng công suất lắp đặt vẫn dưới 2GW, tụt hậu đáng kể so với các khu vực dẫn đầu ở Đông Á, Nam Á và Đông Nam Á (Zabanova, 2023). Sự chênh lệch này cho thấy một khoảng trống quan trọng giữa tiềm năng và thực tế, gợi ý rằng các yếu tố thúc đẩy then chốt, đặc biệt là đầu tư cho nghiên cứu và phát triển (R&D), chưa được khai thác hiệu quả. Do đó, việc phân tích vai trò của R&D không chỉ có ý nghĩa trong việc khai mở tiềm năng năng lượng xanh của khu vực mà còn đóng vai trò cốt lõi trong việc thúc đẩy đa dạng hóa kinh tế và đảm bảo sự bền vững môi trường trong dài hạn.

Các nghiên cứu trước đây đã khẳng định vai trò quan trọng của đầu tư R&D trong việc thúc

đẩy sản xuất năng lượng tái tạo, thường được hỗ trợ bởi các chính sách của chính phủ và sự thay đổi nhận thức của công chúng (Adedoyin và cộng sự, 2020; Shen & Lou, 2015; Kim Hanh Nguyen & Kakinaka, 2019). Tuy nhiên, mối quan hệ này trở nên phức tạp hơn khi mức đầu tư R&D thấp có thể dẫn đến việc chỉ ưu tiên các công nghệ đơn giản hơn như thủy điện (Khezri và cộng sự, 2021), hoặc khi ngân sách R&D bị ảnh hưởng tiêu cực bởi các yếu tố kinh tế vĩ mô (Shao và cộng sự, 2021). Bối cảnh phức tạp này nhấn mạnh sự cần thiết phải phân tích vai trò của R&D tại Trung Á, nơi việc khai thác tiềm năng năng lượng bền vững là yếu tố cốt lõi cho sự phát triển kinh tế và giải quyết các vấn đề môi trường (Qi và cộng sự, 2022).

Nghiên cứu đã thu thập dữ liệu của các quốc gia Trung Á từ Ngân hàng Thế giới từ năm 2002 đến năm 2021. Nhóm tác giả sử dụng mô hình tuyến tính tổng quát (Generalized Linear Model, viết tắt GLM) để phân tích bộ dữ liệu bao gồm 140 quan sát từ bảy quốc gia Trung Á bao gồm Armenia, Azerbaijan, Kazakhstan, Kyrgyz Republic, Tajikistan, Turkmenistan và Uzbekistan. Kết quả thực nghiệm cho thấy chi phí đầu tư công cho R&D và sản xuất năng lượng tái tạo tại khu vực Trung Á có mối liên hệ mật thiết. Ngoài ra, một mối quan hệ hình chữ U ngược giữa chi phí đầu tư công cho R&D và sản xuất năng lượng tái tạo tại khu vực Trung Á cũng được tìm thấy. Kết quả từ nghiên cứu còn ước lượng được tỷ lệ chi phí đầu tư công cho R&D để tối ưu hóa phát triển sản xuất năng lượng tái tạo. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc hỗ trợ tài chính cho việc khám phá và tiến bộ trong các công nghệ mới.

2. Cơ sở lý thuyết và các nghiên cứu thực nghiệm

2.1. Cơ sở lý thuyết

Lý thuyết Công nghệ Mục đích chung (General Purpose Technology Theory)

Công nghệ Mục đích chung (GPT) là khái niệm quan trọng trong việc phân tích tác động của đổi mới công nghệ lên tăng trưởng kinh

tế. Lý thuyết này nhấn mạnh rằng, các đổi mới cách mạng có vai trò thiết yếu trong việc thay đổi lối sống và định hình chiến lược sản xuất của doanh nghiệp (Garces & Daim, 2012). Jovanovic và Rousseau (2005) đã thảo luận chi tiết về GPT, xem đây là thuật ngữ quan trọng trong phân tích kinh tế đương đại. Ví dụ về GPT trong lịch sử gồm động cơ hơi nước, điện, và công nghệ thông tin. Hiện nay, năng lượng tái tạo, kết hợp với công nghệ thông tin và trí tuệ nhân tạo (AI) – những thứ được phát triển nhờ vào chi phí R&D, cũng được coi là GPT có tiềm năng thay đổi cách chúng ta sản xuất năng lượng (Bhimwal & Mishra, 2023). Đầu tư vào R&D trong năng lượng tái tạo giúp nâng cao khả năng sản xuất cũng như hiệu suất năng lượng tái tạo thông qua khai thác công nghệ như tấm pin mặt trời và tua-bin gió, đồng thời phát triển các giải pháp sản xuất năng lượng tái tạo mới như sản xuất hydro xanh. R&D không chỉ cải thiện hiệu quả sản xuất năng lượng tái tạo mà còn thúc đẩy tính bền vững thông qua các nghiên cứu về tác động môi trường và sử dụng vật liệu thân thiện. Ngoài ra, Chính phủ cũng đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ tài chính cho R&D trong sản xuất năng lượng tái tạo, như được Shen và Lou (2015) khẳng định, qua đó thúc đẩy sự phát triển của ngành công nghiệp năng lượng tái tạo.

Lý thuyết Phân bổ Tài nguyên (Resource Allocation Theory)

Phân bổ quá nhiều tài nguyên và tài chính cho R&D có thể tác động tiêu cực đến sản xuất năng lượng tái tạo. Thay vì đầu tư vào R&D cho năng lượng tái tạo, nguồn lực này có thể được sử dụng hiệu quả hơn để cải tiến công nghệ năng lượng truyền thống. Điều này nhấn mạnh nhu cầu về một chiến lược R&D cân đối, trong đó tiến bộ trong năng lượng tái tạo cần được so sánh cẩn thận với khả năng cải tiến của công nghệ truyền thống. Đạt được sự cân bằng là cần thiết để đảm bảo sử dụng tài nguyên tối ưu và thúc đẩy tiến triển toàn diện trong lĩnh vực năng lượng (Acemoglu và cộng sự, 2012). Đầu tư vào R&D đòi hỏi vốn lớn và không đảm bảo kết quả, tạo ra gánh nặng tài chính đặc

biệt cho các công ty nhỏ. R&D trong sản xuất năng lượng tái tạo cũng đối mặt với nhiều rủi ro kỹ thuật và thị trường. Nếu thất bại, khoản đầu tư có thể không được hoàn lại, gây tổn thất tài chính đáng kể. Quá trình R&D có thể tạo ra các vấn đề môi trường mới, như khai thác tài nguyên khan hiếm hoặc chất thải độc hại từ sản xuất pin. Shao và cộng sự (2021) cho rằng, cuộc khủng hoảng tài chính toàn cầu sau năm 2008 đã làm giảm đầu tư R&D trong sản xuất năng lượng tái tạo, làm chậm sự phát triển và gây lo ngại về phân bổ ngân sách trong giai đoạn phục hồi kinh tế.

Mối quan hệ hình chữ U ngược

Đầu tư R&D ban đầu thúc đẩy công nghệ năng lượng tái tạo, nhưng hiệu quả sẽ giảm dần nếu vượt mức tối ưu, tạo thành một mối quan hệ hình chữ U-ngược. Theo lý thuyết GPT, các công nghệ tiên tiến mới được phát triển từ R&D giúp cải thiện hiệu suất, giảm chi phí sản xuất và mở rộng quy mô sản xuất năng lượng tái tạo. Điều này dẫn đến tăng trưởng kinh tế và môi trường bền vững. R&D giúp phát triển các giải pháp công nghệ mới, như lưu trữ năng lượng hoặc các vật liệu hiệu suất cao, làm cho năng lượng tái tạo trở nên cạnh tranh hơn với năng lượng truyền thống (Ardito và cộng sự, 2016). Ardito và cộng sự (2016) phân tích sự phát triển của các công nghệ mục đích chung (GPT) trong lĩnh vực năng lượng xanh thông qua việc kiểm tra mối quan hệ phi tuyến tính giữa phạm vi tìm kiếm trên nhiều lĩnh vực kiến thức và tính tổng quát về mặt công nghệ của các phát minh. Nghiên cứu đặc biệt chú trọng đến vai trò điều chỉnh của thành phần nhóm R&D, cụ thể là quy mô nhóm và mức độ phân tán địa lý giữa các quốc gia. Ardito và cộng sự (2016) sử dụng mô hình phi tuyến tính trong khi bài nghiên cứu của chúng tôi sử dụng mô hình tuyến tính, sẽ có ít vấn đề về việc phù hợp quá mức (overfitting) so với mô hình phi tuyến tính, đặc biệt khi số lượng dữ liệu không đủ lớn và kiểm tra giả thuyết trong mô hình tuyến tính thường đơn giản hơn nhờ vào các công cụ thống kê phổ biến, như kiểm định t, F, và phân tích hồi quy. Khi đầu tư R&D tiếp tục tăng, có

thể đạt đến điểm bão hòa, nơi mà các cải tiến mới không còn mang lại những lợi ích đột phá như ban đầu. Lúc này, sự cạnh tranh khốc liệt giữa các công ty có thể dẫn đến việc tập trung quá nhiều vào những dự án không mang lại giá trị lớn, gây lãng phí tài nguyên. Chang và cộng sự (2022) nghiên cứu vào tác động của chính sách trợ cấp, hoàn thuế và đầu tư vào R&D và tác động phi tuyến tính của các yếu tố tài chính và R&D lên giá trị thị trường của các công ty năng lượng tái tạo. Theo lý thuyết Phân bổ Tài nguyên, nếu không có sự cân đối hợp lý, các nguồn lực có thể bị phân bổ sai lầm, dẫn đến hiệu quả đầu tư giảm sút (Chang và cộng sự, 2022). Khi đầu tư vào R&D vượt quá mức tối ưu, các tác động tiêu cực bắt đầu xuất hiện nhiều hơn là hiệu ứng tích cực của nó mang lại. Chi phí đầu tư cao mà không mang lại kết quả tương xứng có thể trở thành gánh nặng tài chính, đặc biệt đối với các công ty nhỏ. Hơn nữa, sự tập trung quá mức vào R&D trong sản xuất năng lượng tái tạo có thể làm giảm nguồn lực dành cho việc cải tiến các công nghệ sản xuất năng lượng truyền thống, vốn cũng có tiềm năng cải thiện hiệu suất và giảm thiểu tác động môi trường. Điều này có thể dẫn đến sự mất cân đối trong chiến lược năng lượng, gây ra những tác động tiêu cực cho cả ngành công nghiệp và nền kinh tế. Tuy nhiên, bài nghiên cứu của Chang và cộng sự (2022) chỉ sử dụng dữ liệu ở tại Trung Quốc, nên không có sự bao quát về khu vực, ngoài ra các chính sách của 1 quốc gia đơn cử sẽ có tác động đến cả ngành năng lượng tái tạo, chứ không phải nhiều quốc gia, trong khi đó bài nghiên cứu này nghiên cứu tại 7 quốc gia khu vực Trung Á nên sẽ có sự khác nhau giữa các chính sách từ đó tìm ra được điểm tối ưu nhất trong việc phát triển sản xuất năng lượng tái tạo.

Khung lý thuyết

Dựa trên hai lý thuyết trên, mối quan hệ giữa đầu tư R&D và sản xuất năng lượng tái tạo có thể được mô tả dưới dạng U ngược (inverted U-shaped). Cụ thể, *Giai đoạn đầu*: Khi đầu tư R&D vào năng lượng tái tạo ở mức thấp, sự gia tăng đầu tư sẽ tạo ra hiệu quả tích cực đáng kể,

cải thiện sản xuất và nâng cao hiệu suất. Điều này phù hợp với lý thuyết GPT, nơi R&D giúp phát triển các công nghệ mang tính cách mạng, đẩy nhanh quá trình chuyển đổi năng lượng. *Giai đoạn trung bình*: Khi đầu tư R&D tiếp tục tăng, sản xuất năng lượng tái tạo đạt đến đỉnh cao nhất, nơi các công nghệ mới được ứng dụng rộng rãi và mang lại giá trị lớn cho nền kinh tế. Đây là điểm tối ưu hóa của mối quan hệ phi tuyến tính, nơi lợi ích của R&D phát huy tối đa hiệu quả. *Giai đoạn cuối*: Khi đầu tư R&D vượt quá một ngưỡng nhất định, lợi ích biên của đầu tư này bắt đầu giảm dần. Các rủi ro tài chính, kỹ thuật và môi trường mà Lý thuyết Phân bổ Tài nguyên nhắc đến sẽ gia tăng, làm giảm hiệu quả tổng thể. Việc đầu tư quá mức vào R&D mà không đạt được kết quả rõ ràng có thể dẫn đến lãng phí tài chính và cản trở tiến trình sản xuất.

Tóm lại, bằng cách tích hợp Lý thuyết Công nghệ Mục đích chung và Lý thuyết Phân bổ Tài nguyên, khung lý thuyết này giải thích mối quan hệ phi tuyến tính giữa R&D và sản xuất năng lượng tái tạo, cho thấy đầu tư có thể trở nên kém hiệu quả khi vượt ngưỡng. Do đó, khung này cung cấp cơ sở để kiểm định mức đầu tư R&D tối ưu trong bối cảnh các quốc gia Trung Á.

2.2. Các nghiên cứu thực nghiệm và phát triển giả thuyết

Mối quan hệ giữa R&D và sản xuất năng lượng tái tạo

Phần lớn các tài liệu hiện có đã xác nhận mối quan hệ tích cực giữa đầu tư cho R&D và sản xuất năng lượng tái tạo. Các nghiên cứu trên phạm vi rộng ở Liên minh Châu Âu và các quốc gia APEC đều cho thấy đầu tư R&D là một động lực quan trọng thúc đẩy quá trình chuyển đổi sang năng lượng bền vững (Adedoyin và cộng sự, 2020; Zafar và cộng sự, 2019). Tác động này thường được hỗ trợ bởi các chính sách của chính phủ như trợ cấp (Shen & Lou, 2015) và sự gia tăng nhận thức của công chúng về môi trường (Kim Hanh Nguyen & Kakinaka, 2019).

Tuy nhiên, mối quan hệ này không phải lúc nào cũng đơn giản. Một số nghiên cứu đã chỉ ra các yếu tố làm phức tạp hóa tác động của R&D. Khezri và cộng sự (2021) nhận thấy mức đầu tư R&D thấp có thể dẫn đến việc chỉ ưu tiên các công nghệ đơn giản hơn như thủy điện. Các cú sốc kinh tế vĩ mô, như cuộc khủng hoảng tài chính toàn cầu, cũng có thể làm suy giảm ngân sách R&D dành cho năng lượng tái tạo (Shao và cộng sự, 2021). Đáng chú ý, ngay cả các chính sách hỗ trợ như trợ cấp của chính phủ đôi khi cũng có thể làm cản trở hiệu quả của đầu tư R&D, đặc biệt là ở các doanh nghiệp nhà nước (Qi và cộng sự, 2022).

Phát triển từ sự phức tạp này, một số nghiên cứu gần đây đã bắt đầu khám phá bản chất phi tuyến tính của mối quan hệ. Lin và Xie (2023) đã cung cấp bằng chứng thực nghiệm rõ ràng về mối quan hệ hình chữ U ngược tại Trung Quốc, cho thấy lợi ích của trợ cấp R&D sẽ giảm dần sau khi vượt qua một ngưỡng nhất định. Đây chính là khoảng trống nghiên cứu quan trọng mà bài viết này nhắm đến: mặc dù có những gợi ý về tính phi tuyến, phần lớn các nghiên cứu trước đây (ví dụ: Zafar và cộng sự, 2019; Shao và cộng sự, 2021) chỉ tập trung vào tác động tuyến tính mà không xác định được một ngưỡng đầu tư tối ưu. Hơn nữa, nhiều nghiên cứu còn hạn chế về bối cảnh (chỉ tập trung vào Trung Quốc như Qi và cộng sự, 2022), khung thời gian cũ (Shen & Lou, 2015), hoặc một loại hình năng lượng cụ thể (Khezri và cộng sự, 2021).

Giả thuyết H1: Nghiên cứu và Phát triển tác động tích cực đến sản xuất năng lượng tái tạo.

Mối quan hệ phi tuyến tính giữa R&D và sản xuất năng lượng tái tạo có thể được giải thích thông qua sự tương tác giữa hai lý thuyết. Theo Lý thuyết Công nghệ Mục đích chung (GPT), đầu tư R&D ban đầu tạo ra các đột phá công nghệ làm tăng sản lượng. Tuy nhiên, theo Lý thuyết Phân bổ Tài nguyên, việc đầu tư quá mức sẽ dẫn đến hiệu suất giảm dần khi vượt qua một ngưỡng tối ưu. Sự kết hợp này hàm ý về một mối quan hệ hình chữ U ngược, một phát hiện

đã được chứng minh thực nghiệm (Chang và cộng sự, 2022; Ardito và cộng sự, 2016). Do đó, giả thuyết sau được đề xuất:

Giả thuyết H2: Mối quan hệ giữa Nghiên cứu và Phát triển và sản xuất năng lượng tái tạo có hình dạng hình chữ U.

Mối quan hệ giữa sản xuất năng lượng tái tạo và tăng trưởng GDP bình quân đầu người

Khezri và cộng sự (2021) cho rằng, tăng trưởng GDP bình quân đầu người cao hơn dẫn đến nhu cầu năng lượng tăng ở các quốc gia láng giềng, từ đó làm gia tăng cả nhu cầu và sản xuất năng lượng tái tạo ở quốc gia gốc. Tuy nhiên, de Souza và cộng sự (2018) đã phát hiện ra mối quan hệ tiêu cực giữa tăng trưởng GDP bình quân đầu người và sản xuất năng lượng tái tạo do sự cần thiết của năng lượng không tái tạo trong quá trình tăng trưởng kinh tế.

Mối quan hệ giữa sản xuất năng lượng tái tạo và chi tiêu tiêu dùng cuối cùng của Chính phủ

Azam và cộng sự (2023) đã phát hiện rằng, chi tiêu cuối cùng của Chính phủ tổng thể tăng lên có tác động tích cực đến sản xuất năng lượng tái tạo, điều này được cho là do phát triển kinh tế dẫn đến lượng khí CO₂ cao hơn và tăng cường chi tiêu của Chính phủ vào phát triển năng lượng tái tạo và cơ sở hạ tầng. Ngược lại, Shahbaz (2012) lưu ý rằng, chi tiêu của Chính phủ ưu tiên các chính sách hướng tới xuất khẩu, thu hút đầu tư trực tiếp nước ngoài và tiếp cận công nghệ tiên tiến trong thời kỳ mở cửa thương mại, do đó làm giảm đầu tư vào năng lượng tái tạo vì chi phí cao và phụ thuộc vào thời tiết.

Mối quan hệ giữa sản xuất năng lượng tái tạo và tăng trưởng dân số

Deka và cộng sự (2022) cho rằng, tỷ lệ lạm phát và tỷ giá hối đoái có ảnh hưởng tích cực đến việc sản xuất năng lượng tái tạo, điều này không chỉ giảm lượng khí thải carbon dioxide và giảm thiểu hiện tượng nóng lên toàn cầu mà còn nâng cao giá trị của đồng tiền. Mặt khác, Akan (2023) phát hiện ra mối tương quan tiêu

cực giữa năng lượng tái tạo và lạm phát do giá nhiên liệu hóa thạch như dầu và than đá giảm sẽ giúp giảm lạm phát khi năng lượng tái tạo phát triển.

Mối quan hệ giữa sản xuất năng lượng tái tạo và lạm phát, giá tiêu dùng

Duc Hong Vo và Anh The Vo (2021) kết luận rằng, tăng trưởng dân số và năng lượng tái tạo có mối tương quan tích cực, việc sản xuất năng lượng tái tạo phản ứng với sự gia tăng dân số ở Đông Nam Á, dẫn đến lượng khí thải CO₂ tăng lên. Ngược lại, Ghazali và Ali (2019) cho rằng, tăng trưởng dân số ảnh hưởng tiêu cực đến sản xuất năng lượng tái tạo vì quá trình đô thị hóa nhanh chóng gây áp lực lên cơ sở hạ tầng hiện có, khiến việc tích hợp các hệ thống năng lượng tái tạo về mặt kỹ thuật và tài chính trong các thành phố quá tải trở nên khó khăn.

3. Dữ liệu, mô hình và phương pháp nghiên cứu

3.1. Dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng bộ dữ liệu bảng được thu thập từ cơ sở dữ liệu của Ngân hàng Thế giới, bao gồm bảy quốc gia Trung Á trong giai đoạn 2002-2021. Giai đoạn này được lựa chọn không chỉ dựa trên tính sẵn có và đồng bộ của dữ liệu mà còn vì nó bao quát một thời kỳ phát triển kinh tế và thể chế năng lượng đặc thù của khu vực. Bối cảnh này được đặc trưng bởi sự tương phản giữa tiềm năng năng lượng tái tạo dồi dào ở một số quốc gia (như tài nguyên thủy điện ở Kyrgyzstan và Tajikistan) và sự phụ thuộc lớn vào năng lượng hóa thạch ở các quốc gia khác (Gulnur, 2007). Sự chênh lệch này, cùng với thực trạng sản lượng năng lượng tái tạo chung còn thấp, nhấn mạnh sự cấp thiết của việc đánh giá hiệu quả của các yếu tố thúc đẩy như chi

tiêu cho R&D. Giai đoạn nghiên cứu kết thúc vào năm 2021 cũng cho phép ghi nhận những thay đổi tiềm tàng trong phân bổ ngân sách cho R&D và năng lượng sau tác động của đại dịch COVID-19 (Ovezmyradov & Kepbanov, 2021).

Để đảm bảo tính vững chắc của dữ liệu, nghiên cứu áp dụng phương pháp winsor hóa ở mức 5% và 95% để xử lý các giá trị ngoại biên, theo phương pháp của Khoa Dang Duong và cộng sự (2022). Ngoài ra, nhóm nghiên cứu cũng loại bỏ các quan sát bị thiếu dữ liệu. Bảng dữ liệu cuối cùng bao gồm 140 quan sát theo năm từ bảy quốc gia bao gồm Armenia, Azerbaijan, Kazakhstan, Kyrgyz Republic, Tajikistan, Turkmenistan và Uzbekistan.

3.2. Định nghĩa biến

Theo Kim Hanh Nguyen và Kakinaka (2019), sản xuất năng lượng tái tạo (RE) được đo lường bằng tỷ trọng của nó trong tổng sản xuất năng lượng cuối cùng của một quốc gia. Thước đo này được lựa chọn vì nó là một chỉ số chuẩn hóa, cho phép so sánh trực tiếp giữa các quốc gia và phản ánh chính xác mức độ cam kết đối với năng lượng bền vững, đồng thời giảm thiểu các biến động do quy mô kinh tế hay cấu trúc năng lượng gây ra.

Ngoài ra, Biến độc lập chính của nghiên cứu, đầu tư cho R&D (RD), được đo lường bằng tỷ lệ chi tiêu cho R&D trên tổng GDP, theo cách tiếp cận của Adebayo và cộng sự (2021). Thước đo này được lựa chọn vì nó cung cấp một chỉ số chuẩn hóa, phù hợp cho việc so sánh quốc tế. Để kiểm định mối quan hệ phi tuyến tính, biến bình phương của R&D (RD²) cũng được đưa vào mô hình, theo nghiên cứu của Khoa Dang Duong và cộng sự (2023). Định nghĩa chi tiết của tất cả các biến được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Định nghĩa các biến

Phân loại	Biến	Ký hiệu	Nguồn tham khảo
Biến phụ thuộc	Sản xuất năng lượng tái tạo (%)	RE	Kim Hanh Nguyen và Kakinaka (2019)
Biến độc lập	Tỷ lệ chi tiêu R&D trên tổng GDP của một quốc gia (%)	RD	Wang và Zhang (2020)
	Chúng tôi theo Khoa Dang Duong và cộng sự (2023) để tính toán giá trị R & D bình phương để kiểm tra mối quan hệ phi tuyến giữa R & D và sản xuất năng lượng tái tạo (%)	RD ²	Khoa Dang Duong và cộng sự (2023)
Biến kiểm soát	Tăng trưởng GDP bình quân đầu người (%)	GDP	Khezri và cộng sự (2021)
	Chi tiêu tiêu dùng cuối cùng của Chính phủ (%)	GOV	Suman (2021)
	Tăng trưởng dân số (%)	POP	Azam và cộng sự (2023)
	Lạm phát, giá tiêu dùng (%)	INF	Duc Hong Vo và Anh The Vo (2021), Hoang Tien Nguyen và cộng sự (2024)

3.3. Mô hình hồi quy

Trong khi Adedoyin và cộng sự (2020), Zafar và cộng sự (2019), Kim Hanh Nguyen và Kakinaka (2019), Shen và Lou (2015) phát hiện mối tương quan tích cực giữa R&D và sản xuất năng lượng tái tạo (RE), Khezri và cộng sự (2021); Shao và cộng sự (2021); Qi và cộng sự (2022) lập luận về các kết quả ngược lại. Nâng cao R&D trong sản xuất năng lượng tái tạo ở Trung Á thúc đẩy phát triển bền vững, giảm nhẹ biến đổi khí hậu và đảm bảo an ninh năng lượng cho khu vực. Do đó, chúng tôi xây dựng mô hình cơ sở 1 để kiểm tra giả thuyết H1. Hơn nữa, mô hình này cũng làm rõ liệu các kết quả ở Trung Á có hỗ trợ Lý thuyết Công nghệ Mục Đích Chung Tổng quát hay Lý thuyết Phân bổ Tài nguyên hay không:

$$RE_{i,t} = \alpha_{it} + \beta_1 RD_{i,t} + \sum \gamma_h CONTROLS_{i,t} + \alpha_i + \alpha_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

Lin và Xie (2023) cũng phát hiện mối quan hệ hình chữ U ngược giữa R&D và sản xuất năng lượng tái tạo tại Trung Quốc. Điều tra mối quan hệ hình chữ U của R&D đối với sản xuất năng lượng tái tạo ở Trung Á là rất quan trọng để tối ưu hóa chiến lược đầu tư. Trong khi đầu tư R&D ban đầu có thể thúc đẩy hiệu quả, việc đầu tư quá mức có thể dẫn đến hiệu suất giảm dần, do đó, việc xác định một mức tối ưu là rất quan trọng để đảm bảo phát triển năng lượng bền vững. Do đó, chúng tôi dựa theo Khoa Dang Duong và cộng sự (2022) để tính toán R&D bình phương, sau đó thêm vào mô hình (1) và hoàn thành mô hình cuối cùng (2) để làm rõ giả thuyết 2. Dựa trên các nghiên cứu trước, một tập hợp các biến kiểm soát có khả năng ảnh hưởng đến sản xuất năng lượng tái tạo cũng được đưa vào mô hình, bao gồm GDP, GOV, POP, INF (Khezri và cộng sự, 2021; Suman, 2021; Azam và cộng sự, 2023; Duc Hong Vo & Anh The Vo, 2021). Chúng tôi chọn các biến kiểm soát này

vì một số bài nghiên cứu kiểm tra thấy tác động dương trong khi một số bài lại kiểm tra ra mối quan hệ tác động âm đối với biến phụ thuộc RE như đã nêu ở trên phần mối quan hệ giữa năng lượng tái tạo và các biến kiểm soát được sử dụng ở chương Cơ sở lý thuyết:

$$RE_{i,t} = \alpha_{it} + \beta_1 RD_{i,t} + \beta_2 RD_{i,t}^2 + \sum \gamma_h \text{CONTROLS}_{i,t} + \alpha_i + \alpha_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

Trong đó, i đại diện cho các quốc gia riêng lẻ, và t đại diện cho các chỉ số kích thước thời gian. α_i là hiệu ứng cố định quốc gia, và α_t là hiệu ứng cố định năm. ε_{ie} là giá trị của phần dư. Tất cả các biến được mô tả rõ ràng trong Bảng 1.

Nghiên cứu sử dụng các phương pháp ước lượng bảng tiêu chuẩn như Phương pháp bình phương nhỏ nhất thông thường (OLS), Mô hình hiệu ứng cố định (FEM), và Mô hình hiệu ứng ngẫu nhiên (REM) để ước lượng kết quả. Việc lựa chọn mô hình ước lượng phù hợp cho dữ liệu bảng được thực hiện dựa trên kết quả của kiểm định F và kiểm định Hausman. Tuy nhiên, kết quả gặp vấn đề về tự tương quan và không đồng nhất của phương sai khi chúng tôi áp dụng các kiểm định Wald, Breusch và Pagan Lagrangian multiplier tests và kiểm định Wooldridge (Khoa Dang Duong và cộng sự, 2023; Hoang Tien Nguyen và cộng sự, 2024; Ai Ngoc Nhan Le và cộng sự, 2023). Để khắc phục những vấn đề này, chúng tôi dựa theo nghiên cứu của Chong và cộng sự (2019), áp dụng mô hình tuyến tính tổng quát (GLM) để ước lượng các kết quả.

Mô hình GLM được lựa chọn do tính linh hoạt trong việc mô hình hóa các loại dữ liệu khác nhau và khả năng xử lý hiệu quả các vấn đề về phương sai sai số thay đổi, giúp cải thiện độ chính xác của ước lượng. Ngoài ra, kiểm định Wald và kiểm định Tỷ lệ hợp lý (Likelihood-

ratio test) được sử dụng để xác nhận tính bền vững của các biến và sự phù hợp của mô hình phi tuyến tính (Ives, 2015).

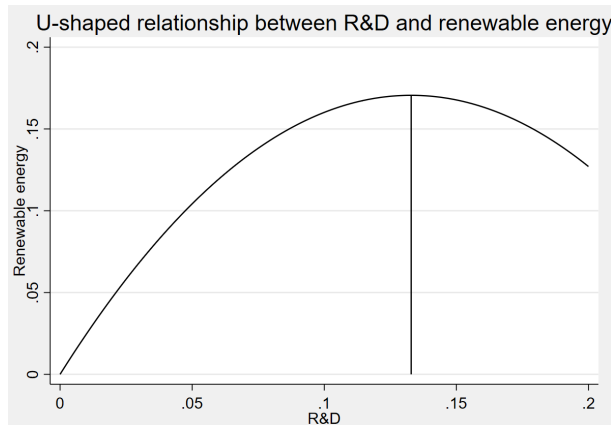
Kết quả thống kê mô tả của các biến (*xem Phụ lục 1 và 2 online*) có thể thấy, tỉ lệ sản xuất năng lượng tái tạo trung bình của các quốc gia Trung Á khoảng 12%, độ lệch chuẩn là khoảng 18,1%. Ngoài ra, R&D có giá trị trung bình là 14,7%, và độ lệch chuẩn là 0,088. Các biến kiểm soát là GDP, GOV, INF, và POP, với giá trị trung bình lần lượt là 5,0%, 3,2%, 5,3%, và 1,2%.

Hệ số tương quan giữa các biến độc lập cao nhất (*xem Phụ lục 3 online*) là -0,527 (giữa RD và POP) và giá trị VIF cao nhất là 1,550 nhỏ hơn 5, nên mô hình không có hiện tượng đa cộng tuyến nghiêm trọng (Ai Ngoc Nhan Le và cộng sự, 2023; Hoang Tien Nguyen và cộng sự, 2024, Khoa Dang Duong và cộng sự, 2022).

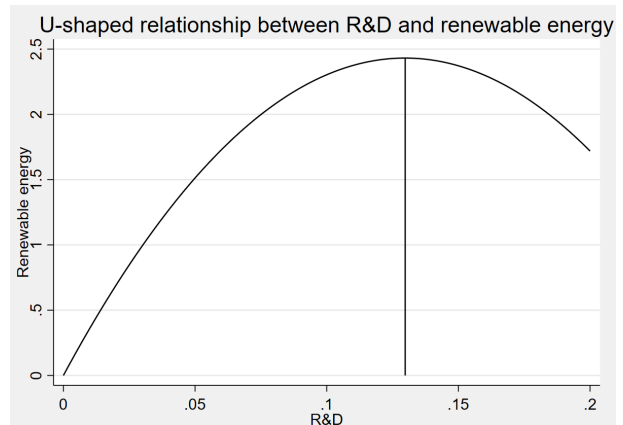
4. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

4.1. Kết quả hồi quy

Mô hình hiệu ứng cố định (FEM) được sử dụng cho mô hình 2 sau khi thực hiện kiểm tra Hausman và kiểm định F (F-test). Đo lường điểm tối ưu (hoặc tối thiểu) là dựa theo Khoa Dang Duong và cộng sự (2022). Điểm tối ưu có giá trị khoảng 13,29%. Điều này có nghĩa là, có tác động tích cực của R&D đối với sản xuất năng lượng tái tạo sẽ tăng dần cho đến khi R&D đạt đến 13,29% (Hình 1). Tại điểm này, R&D sẽ hạn chế tương tác với sản xuất năng lượng tái tạo, do đó tăng chi phí hơn là lợi ích mà R&D mang lại. Các kiểm tra Wald và Wooldridge cho thấy giá trị P-value nhỏ hơn 1%, có nghĩa là kết quả của FEM có vấn đề về tự tương quan và không đồng nhất phương sai. Do đó, nghiên cứu áp dụng ước lượng GLM để khắc phục những lỗi trên (Chong và cộng sự, 2019).



Hình 1. Mối quan hệ hình chữ U ngược giữa R&D và sản xuất năng lượng tái tạo từ ước lượng FEM



Hình 2. Mối quan hệ phi tuyến tính giữa R&D và sản xuất năng lượng tái tạo

Bảng 2. Kết quả hồi quy sử dụng ước lượng GLM

Biến	Mô hình 1	Mô hình 2
RD	3,574 (0,407)	37,485** (0,035)
RD2		-144,422** (0,044)
GDP	9,321 (0,290)	14,5661 (0,129)
GOV	-16,982* (0,070)	-17,183* (0,058)
INF	9,5183* (0,074)	4,629 (0,430)
POP	87,447* (0,096)	21,721 (0,709)
C	-4,372*** (0,002)	-4,5147*** (0,006)
N	140	140
Deviance	26,564	21,498
Pearson	28,567	24,642
Log-likelihood	-36,183	-33,650
Residual df	134	133
Scale parameter	1	1
AIC	0,603	0,581
BIC	-635,616	-635,740
Turning point		0,130
Likelihood-ratio test (model 1 within model 2)		0,024

Ghi chú: Biến phụ thuộc là sản xuất năng lượng tái tạo (RE). Ký hiệu ***, ** và * đại diện cho mức đáng kể lần lượt là 1%, 5% và 10%.

Bảng 3. Kết quả kiểm định bền vững Wald

Biến	Giá trị P-value
RD	0,035**
RD ²	0,044**
GDP	0,129
GOV	0,058*
INF	0,430
POP	0,709

Ghi chú: Biến phụ thuộc là sản xuất năng lượng tái tạo (RE). Ký hiệu ***, ** và * đại diện cho mức đáng kể lần lượt là 1%, 5% và 10%.

Kiểm định bền vững Wald (Bảng 3) cho thấy, giá trị p-value của các biến R&D và R&D bình phương đều bé hơn mức ý nghĩa 5%, cho thấy chúng là các yếu tố dự báo hợp lệ và bền vững trong mô hình hồi quy GLM. Đối với nhóm biến kiểm soát, chỉ có biến chỉ tiêu của Chính phủ (GOV) thể hiện ý nghĩa thống kê ở mức 10% (p-value = 0,058), trong khi các biến còn lại (GDP, INF, POP) không có ý nghĩa thống kê. Ngoài ra, chúng tôi cũng sử dụng thêm kiểm định chỉ số Likelihood khi mô hình (1) là tập con của mô hình (2), kiểm định này cho phép chúng tôi đánh giá liệu rằng mô hình (2) có tính phát triển và hữu dụng cao hơn mô hình (1) hay không. Kết quả cho thấy, P-value của kiểm định chỉ số Likelihood bé hơn mức đáng kể 5%, cho thấy mô hình (2) được chúng tôi xây dựng là hoàn toàn phù hợp và mang tính phát triển hơn mô hình (1), từ đó cũng kết luận việc chuyển đổi từ mô hình tuyến tính (1) sang mô hình phi tuyến tính (2) mang lại tính thực dụng cao hơn đối với hồi quy GLM trong bài nghiên cứu này. Chúng tôi thực hiện hai kiểm định bền vững Wald và chỉ số Likelihood dựa theo nghiên cứu của Ives (2015).

4.2. Thảo luận

Kết quả thực nghiệm từ Mô hình 2 xác nhận một tác động tích cực và có ý nghĩa thống kê của chi tiêu cho R&D lên sản xuất năng lượng tái tạo. Hệ số dương (37,485) cho thấy sự gia tăng đầu tư R&D ban đầu thúc đẩy mạnh mẽ sản lượng, một phát hiện phù hợp với khối lượng lớn các nghiên cứu trước đây đã chứng

minh vai trò của R&D trong việc thúc đẩy công nghệ xanh và năng lượng sạch (Adedoyin và cộng sự, 2020; Zafar và cộng sự, 2019; Kim Hanh Nguyen & Kakinaka, 2019; Shen và Lou, 2015). Kết quả này cung cấp bằng chứng ủng hộ mạnh mẽ cho Lý thuyết Công nghệ Mục đích chung (GPT), vốn xem R&D là động lực cho các đổi mới công nghệ mang tính cách mạng. Tuy nhiên, nếu chỉ xét riêng tác động tuyến tính này, nó sẽ mâu thuẫn với Lý thuyết Phân bổ Tài nguyên, vốn cảnh báo về hiệu suất giảm dần khi đầu tư quá mức (Acemoglu và cộng sự, 2012). Sự mâu thuẫn biểu kiến này sẽ được giải quyết khi xem xét thành phần phi tuyến tính trong phần thảo luận tiếp theo.

Kết quả nghiên cứu chỉ ra tác động tích cực của R&D lên sản xuất năng lượng tái tạo cho đến khi nó đạt đến điểm tối ưu, sau đó gia tăng đầu tư cho R&D sẽ mang lại tác động tiêu cực. Kết quả nghiên cứu phát hiện ra rằng hóa sự tăng trưởng của sản xuất năng lượng tái tạo sẽ được tối ưu nhất khi đầu tư cho R&D chạm ngưỡng 12,98%. Nghiên cứu của Lin và Xie (2023) chứng minh điều này, tiết lộ cách việc chi tiêu R&D tăng lên ban đầu thúc đẩy sự đổi mới công nghệ xanh, với sự hỗ trợ tài chính quan trọng trong việc tạo điều kiện cho các bước đột phá. Tuy nhiên, chi tiêu R&D bổ sung mang lại hiệu suất giảm dần vượt qua một ngưỡng nhất định, gợi ý rằng, việc trợ cấp quá mức có thể không thúc đẩy sự đổi mới khi công nghệ trưởng thành. Các chính sách được tùy chỉnh để xem xét sự tiến triển của đổi mới năng

lượng sạch là cấp thiết. Các kết quả này cung cấp cái nhìn tinh tế vào động lực thời gian của chi phí nghiên cứu và phát triển và ảnh hưởng của chúng đối với đổi mới công nghệ xanh bền vững, phù hợp với giả thuyết 2.

Chi tiêu cho R&D có tác động tích cực đến sản xuất năng lượng tái tạo ở các nước Trung Á, phù hợp với định hướng ban đầu của nghiên cứu. Mặc dù khu vực Trung Á có tiềm năng lớn trong sản xuất năng lượng tái tạo, nhưng đến giữa năm 2022, tổng công suất năng lượng tái tạo ở khu vực này chỉ đạt dưới 2GW (Zabanova, 2023). Phát hiện của nghiên cứu về tác động tích cực của chi tiêu R&D cung cấp một giải pháp thực chứng cho tình trạng sản xuất năng lượng tái tạo còn hạn chế tại Trung Á, một thực trạng đã được Zabanova (2023) ghi nhận. Thay vì chỉ dừng lại ở việc mô tả sự tụt hậu của khu vực so với Đông Á hay Đông Nam Á, nghiên cứu này đã chỉ ra rằng đầu tư R&D chính là một trong những con đường khả thi nhất để thu hẹp khoảng cách đó. Ví dụ, con số 1,7 GW tại Kazakhstan hay chỉ vài chục MW ở các quốc gia còn lại cho thấy một dư địa phát triển khổng lồ. Kết quả của chúng tôi gợi ý rằng, việc phân bổ ngân sách một cách chiến lược cho R&D, đặc biệt là hướng tới điểm tối ưu như mô hình chữ U ngược đã chỉ ra, sẽ giúp các quốc gia này không chỉ tăng công suất mà còn nâng cao hiệu quả đầu tư. Điều này sẽ giúp Trung Á giảm sự phụ thuộc vào năng lượng hóa thạch và đóng góp thiết thực vào các mục tiêu môi trường toàn cầu, đồng thời thúc đẩy tăng trưởng kinh tế và ổn định xã hội như kỳ vọng.

Kết quả thực nghiệm về mối quan hệ hình chữ U ngược, sản xuất năng lượng tái tạo sẽ được tối ưu khi các quốc gia Trung Á dành 12,98% GDP cho đầu tư R&D, đã giải thích một cách thực chứng cho nghịch lý tiềm năng và thực tế của khu vực (Zabanova, 2023), đồng thời phù hợp với các nghiên cứu trước (Lin và Xie, 2023). Điều này hàm ý một sự phân hóa chính sách rõ ràng: các quốc gia đã vượt ngưỡng (như Kazakhstan) nên tập trung vào hiệu quả phân bổ và quản trị, trong khi các quốc gia còn lại (như Tajikistan, Turkmenistan) nên tăng cường đầu tư R&D một cách chiến lược.

5. Kết luận và hàm ý quản trị

Nghiên cứu này phân tích tác động của chi tiêu cho R&D đối với sản xuất năng lượng tái tạo tại bảy quốc gia Trung Á trong giai đoạn từ năm 2002 đến năm 2021. Kết quả đã chỉ ra một mối quan hệ hình chữ U ngược, với điểm tối ưu nằm ở mức chi tiêu R&D tương đương 12,98% GDP, cho thấy hiệu quả đầu tư sẽ suy giảm sau khi vượt qua ngưỡng này. Từ đó, hàm ý chính sách trở nên rõ ràng: các quốc gia có mức chi tiêu thấp hơn điểm tối ưu như Tajikistan và Turkmenistan nên gia tăng đầu tư để đạt được mức hiệu quả tối ưu. Ngược lại, các quốc gia còn lại như Kazakhstan, Armenia, Azerbaijan, Kyrgyz Republic và Uzbekistan, vốn đã vượt qua ngưỡng này, cần tập trung vào việc rà soát và phân bổ lại ngân sách R&D một cách hiệu quả hơn, thay vì chỉ tăng thêm chi tiêu, nhằm tránh lãng phí có thể đến từ sự thiếu hiệu quả trong phân bổ của chính phủ hoặc các vấn đề tham nhũng.

Nghiên cứu mang lại những hàm ý quản trị quan trọng cho các nhà hoạch định chính sách và doanh nghiệp trong lĩnh vực sản xuất năng lượng tái tạo, khi mối quan hệ giữa đầu tư R&D và năng lượng tái tạo được chứng minh là có dạng hình chữ U ngược. Điều này nhấn mạnh rằng, đầu tư vào R&D không luôn có tác động tích cực tuyến tính đối với năng lượng tái tạo, mà phụ thuộc vào việc mức đầu tư đã chạm đến điểm bão hòa hay chưa, tại đó các tác động tích cực sẽ suy giảm và nhường chỗ cho những hệ quả tiêu cực, như lãng phí tài nguyên và gánh nặng tài chính. Do đó, cả Chính phủ lẫn doanh nghiệp cần xác định mức đầu tư R&D tối ưu để đạt được sự cân bằng giữa việc thúc đẩy đổi mới công nghệ và tránh đầu tư quá mức dẫn đến hiệu quả giảm dần.

Các chính sách hỗ trợ R&D cần hướng tới việc đạt được một ngưỡng đầu tư tối ưu, thay vì chỉ khuyến khích tăng chi tiêu một cách tuyến tính. Điều này đòi hỏi các công cụ chính sách (như trợ cấp, ưu đãi thuế) phải linh hoạt và đi kèm với cơ chế giám sát, đánh giá thường xuyên để có thể điều chỉnh kịp thời khi hiệu quả đầu

tư đạt đến điểm bão hòa, nhằm đảm bảo sự phân bổ nguồn lực hiệu quả và bền vững.

Kết quả nghiên cứu cung cấp những hàm ý quản trị phân hóa rõ rệt cho các quốc gia Trung Á. Đối với nhóm quốc gia có chỉ tiêu R&D đã vượt ngưỡng tối ưu 12,98% (Kazakhstan, Armenia, Azerbaijan, Kyrgyz Republic, Uzbekistan), chính sách nên chuyển trọng tâm từ việc gia tăng ngân sách sang nâng cao hiệu quả sử dụng vốn. Điều này đòi hỏi phải cải thiện năng lực quản lý dự án và, quan trọng hơn, phải giải quyết các rào cản về quản trị như tham nhũng thông qua việc tăng cường giám sát và minh bạch. Ngược lại, đối với Tajikistan và Turkmenistan, hai quốc gia vẫn chưa đạt tối ưu, việc tăng cường đầu tư R&D một cách chiến lược được khuyến nghị để khai thác lợi ích biên đang ở mức cao. Các quốc gia này nên xây dựng

các kế hoạch cụ thể nhằm tận dụng tiềm năng sẵn có và thu hút hỗ trợ tài chính, kỹ thuật từ quốc tế.

Hạn chế của nghiên cứu

Nghiên cứu của chúng tôi bị hạn chế chỉ dựa trên dữ liệu từ bảy quốc gia Trung Á, có thể hạn chế sự tổng quát hóa của nó đối với các xu hướng toàn cầu. Ngoài ra, các đặc điểm độc đáo của các thị trường biên giới có thể ảnh hưởng đến tính áp dụng của những kết quả của chúng tôi đối với các thị trường mới nổi và phát triển. Hơn nữa, các yếu tố tôn giáo và địa chính trị trong khu vực có thể ảnh hưởng đến kết quả. Công việc nghiên cứu trong tương lai nên bao gồm nhiều quốc gia hơn để có hiểu biết rộng lớn hơn.

Tài liệu tham khảo

- Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., & Hemous, D. (2012). The environment and directed technical change. *American Economic Review*, 102(1), 131-166. <https://doi.org/10.1257/aer.102.1.131>
- Adebayo, T. S., Oladipupo, S. D., Kirikkaleli, D., & Adeshola, I. (2022). Asymmetric nexus between technological innovation and environmental degradation in Sweden: an aggregated and disaggregated analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(24), 36547-36564. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17982-6>
- Adedoyin, F. F., Bekun, F. V., & Alola, A. A. (2020). Growth impact of transition from non-renewable to renewable energy production in the EU: The role of research and development expenditure. *Renewable Energy*, 159, 1139-1145. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.015>
- Akan, T. (2023). Can renewable energy mitigate the impacts of inflation and policy interest on climate change? *Renewable Energy*, 214, 255-289. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.023>
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., & Albino, V. (2016). Investigating the antecedents of general purpose technologies: A patent perspective in the green energy field. *Journal of Engineering and Technology Management*, 39, 81-100. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2016.02.002>
- Azam, W., Khan, I., & Ali, S. A. (2023). Alternative energy and natural resources in determining environmental sustainability: A look at the role of government final consumption expenditures in France. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), 1949-1965. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22334-z>
- Bhimwal, M. K., & Mishra, R. K. (2023). Modern Scientific and Technological Discoveries: A New Era of Possibilities. In R. Singh, B. Pareek, A. Jadon, & K. Singh (Eds.). *Contemporary advances in science & technology*, 6, 37-48. RISER.
- Chang, K., Xue, C., Zhang, H., & Zeng, Y. (2022). The effects of green fiscal policies and R&D investment on a firm's market value: New evidence from the renewable energy industry in China. *Energy*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123953>
- Chong, C. H., Tan, W. X., Ting, Z. J., Liu, P., Ma, L., Li, Z., & Ni, W. (2019). The driving factors of energy-related CO2 emission growth in Malaysia: The LMDI decomposition method based on energy allocation analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109356>
- de Souza, E. S., Freire, F. d. S., & Pires, J. (2018). Determinants of CO2 emissions in the MERCOSUR: The role of economic growth, and renewable and non-renewable energy production. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 20769-20781. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2231-8>

- Deka, A., Cavusoglu, B., & Dube, S. (2022). Does renewable energy production use enhance exchange rate appreciation and stable rate of inflation? *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16758-2>
- Duong, K. D., Huynh, T. N., Van Nguyen, D., & Le, H. T. P. (2022). How innovation and ownership concentration affect the financial sustainability of energy enterprises: Evidence from a transition economy. *Heliyon*, 8(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10474>
- Duong, K. D., Truong, L. T. D., Huynh, T. N., & Pham, H. (2023). The nonlinearity of working capital and cross-sectional stock returns: Do financial constraints matter? *ABAC Journal*, 43(2), 26-41. <https://doi.org/10.14456/abacj.2023.13>
- Garces, E., & Daim, T. U. (2012). Impact of renewable energy production technology on the economic growth of the USA. *Journal of the Knowledge Economy*, 3, 233-249. <https://doi.org/10.1007/s13132-010-0032-5>
- Ghazali, A., & Ali, G. (2019). Investigation of key contributors of CO2 emissions in extended STIRPAT model for newly industrialized countries: A dynamic common correlated estimator (DCCE) approach. *Energy Reports*, 5, 242-252. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.02.006>
- Gulnur, R. (2007). Some solutions to the Central Asian region's energy cooperation problems. *Central Asia and the Caucasus*, 4(46), 7-17.
- Ives, A. R. (2015). For testing the significance of regression coefficients, go ahead and log-transform count data. *Methods in Ecology and Evolution*, 6(7), 828-835. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12386>
- Jovanovic, B., & Rousseau, P. L. (2005). General purpose technologies. In *Handbook of economic growth*, (vol.1, 1181-1224). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0684\(05\)01018-X](https://doi.org/10.1016/S1574-0684(05)01018-X)
- Khezri, M., Heshmati, A., & Khodaei, M. (2021). The role of R&D in the effectiveness of renewable energy production determinants: A spatial econometric analysis. *Energy Economics*, 99. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105287>
- Le, A. N. N., Pham, H., Pham, D. T. N., & Duong, K. D. (2023). Political stability and foreign direct investment inflows in 25 Asia-Pacific countries: The moderating role of trade openness. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10, 1-9. <https://doi.org/10.1057/s41599-023-02075-1>
- Lin, B., & Xie, Y. (2023). Positive or negative? R&D subsidies and green technology innovation: Evidence from China's renewable energy industry. *Renewable Energy*, 213, 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.06.011>
- Nguyen, H. T., Le, A. N. N., Le, H. V., & Duong, K. D. (2024). Foreign direct investment and employments in Asia Pacific nations: The moderating role of labor quality. *Heliyon*, 10(9), e30133. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30133>
- Nguyen, K. H., & Kakinaka, M. (2019). Renewable energy production, carbon emissions, and development stages: Some evidence from panel cointegration analysis. *Renewable Energy*, 132, 1049-1057. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.069>
- Ovezmyradov, B., & Kepbanov, Y. (2021). *Human capital and liberalization in Central Asia: comparative perspectives on development (1991-2020)*. (Research report in Sociology of Law 2021:3. Lund University.). Lund University (Media-Tryck).
- Qi, X., Guo, Y., Guo, P., Yao, X., & Liu, X. (2022). Do subsidies and R&D investment boost energy transition performance? Evidence from Chinese renewable energy firms. *Energy Policy*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112909>
- Semieniuk, G. (2016). Fossil energy in economic growth: A study of the energy direction of technical change, 1950-2012. *SWPS 2016-11*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2795424>
- Shahbaz, M. (2012). Does trade openness affect long run growth? Cointegration, causality and forecast error variance decomposition tests for Pakistan. *Economic Modelling*, 29(6), 2325-2339. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.07.015>
- Shao, X., Zhong, Y., Li, Y., & Altuntaş, M. (2021). Does environmental and renewable energy production R&D help to achieve carbon neutrality target? A case of the US economy. *Journal of Environmental Management*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113229>
- Shen, J., & Luo, C. (2015). Overall review of renewable energy production subsidy policies in China—Contradictions of intentions and effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1478-1488. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.007>

- Suman, A. (2021). Role of renewable energy technologies in climate change adaptation and mitigation: A brief review from Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111524>
- Tian, H., Liu, Y., Li, Y., Wu, C.-H., Chen, B., Kraemer, M. U. G., Li, B., Cai, J., Xu, B., Yang, Q., Wang, B., Yang, P., Cui, Y., Song, Y., Zheng, P., Wang, Q., Bjornstad, O. N., Yang, R., Grenfell, B. T., Pybus, O. G., & Dye, C. (2020). An investigation of transmission control measures during the first 50 days of the COVID-19 epidemic in China. *Science*, 368(6491), 638-642. <https://doi.org/10.1126/science.abb6105>
- Vo, D. H., & Vo, A. T. (2021). Renewable energy production and population growth for sustainable development in the Southeast Asian countries. *Energy, Sustainability and Society*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00304-6>
- Yu, Y., & Xu, W. (2019). Impact of FDI and R&D on China's industrial CO2 emissions reduction and trend prediction. *Atmospheric Pollution Research*, 10(5), 1627-1635. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.06.003>
- Zabanova, Y. (2023). Towards a geoeconomics of energy transition in Central Asia's hydrocarbon-producing countries. In R. Sabyrbekov, I. Overland, R. Vakulchuk, (Eds.). *Climate Change in Central Asia*, 95-107. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29831-8_8
- Zafar, M. W., Shahbaz, M., Hou, F., & Sinha, A. (2019). From nonrenewable to renewable energy production and its impact on economic growth: The role of research & development expenditures in Asia-Pacific Economic Cooperation countries. *Journal of Cleaner Production*, 212, 1166-1178. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.081>