



Biến đổi khí hậu và sản xuất nông nghiệp tại Việt Nam

BÙI MINH BẢO *

Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh

THÔNG TIN	TÓM TẮT
Ngày nhận: 04/03/2025 Ngày nhận lại: 01/04/2025 Duyệt đăng: 03/04/2025 Mã phân loại JEL: Q54; Q10; Q18. Từ khóa: Biến đổi khí hậu; Nông nghiệp; Wavelet; Việt Nam. Keywords: Climate change; Agriculture; Wavelet; Vietnam.	Nghiên cứu hiện tại phân tích mối quan hệ giữa biến đổi khí hậu và sản xuất nông nghiệp tại Việt Nam trong miền thời gian - tần số bằng cách áp dụng các phương pháp wavelet, bao gồm kết hợp wavelet (WTC), wavelet một phần (PWC), wavelet nhiều phần (MWC) và vector wavelet (VWC). Kết quả cho thấy mối quan hệ giữa biến đổi khí hậu và sản xuất nông nghiệp có cả tác động tích cực và tiêu cực, tùy thuộc vào từng khoảng thời gian - tần số. Bên cạnh đó, phân tích PWC chỉ ra rằng khi kiểm soát ảnh hưởng của yếu tố thứ ba, mối tương quan giữa hai biến số không thay đổi đáng kể, đặc biệt trong ngắn hạn và trung hạn. Trong khi đó, MWC làm rõ vai trò của yếu tố thứ ba trong việc điều chỉnh mức độ kết nối giữa hai biến số. Những phát hiện này cung cấp bằng chứng quan trọng hỗ trợ hoạch định chính sách nông nghiệp bền vững, nhằm cân bằng lợi ích kinh tế, xã hội và môi trường trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Abstract The current study analyzes the relationship between climate change and agricultural production in Vietnam within the time-frequency domain by applying wavelet methods, including wavelet coherence (WTC), partial wavelet coherence (PWC), multiple wavelet coherence (MWC), and vector wavelet coherence (VWC). The results indicate that the relationship between climate change and agricultural production exhibits both positive and negative effects, depending on specific time - frequency ranges. In addition, the PWC analysis reveals that controlling for the third factor does not significantly alter the correlation between the two variables, particularly in the short and medium term. Meanwhile, MWC highlights the role of the third factor

* Tác giả liên hệ.

Biên tập viên: Nguyễn Thị Hồng Cẩm.

Email: baobui.525102020164@st.ueh.edu.vn (Bùi Minh Bảo).

Trích dẫn bài viết: Bùi Minh Bảo. (2025). Biến đổi khí hậu và sản xuất nông nghiệp tại Việt Nam. *Tạp chí Nghiên cứu Kinh tế và Kinh doanh Châu Á*, 36(2), 21-42.

in adjusting the strength of the connection between the two variables. These findings provide crucial evidence to support sustainable agricultural policy planning, aiming to balance economic, social, and environmental benefits in the context of climate change.

1. Đặt vấn đề

Biến đổi khí hậu (BĐKH) đang gây ra thách thức lớn đối với sản xuất nông nghiệp toàn cầu do nhiệt độ tăng, lượng mưa thay đổi và nồng độ CO₂ cao (Ahsan và cộng sự, 2020). Tại châu Phi, năng suất nông nghiệp giảm hơn 50% vào năm 2020, đe dọa an ninh lương thực (Amponsah và cộng sự, 2015). Theo ước tính NASA (2020), nhiệt độ toàn cầu tăng 1,02°C từ năm 1880, gây lũ lụt, hạn hán và giảm năng suất. Đồng thời, phát thải khí nhà kính từ công nghiệp, nông nghiệp làm trầm trọng hơn vấn đề này (Anh và cộng sự, 2023). Dự báo đến năm 2050, năng suất cây trồng có thể giảm 18%, do nhiệt độ tăng 1,8°C–2,2°C (Chandio và cộng sự, 2024). Liên Hợp Quốc (UNCTAD) (2015) đã chỉ định hành động loại bỏ nạn đói và ứng phó BĐKH là mục tiêu phát triển bền vững đến năm 2030.

Tại Việt Nam, nông nghiệp đóng góp 15,7% GDP năm 2021 (Anh và cộng sự, 2023), tạo việc làm cho gần một nửa lực lượng lao động¹, đồng thời đảm bảo an ninh lương thực quốc gia. Việt Nam là nước xuất khẩu gạo, hải sản và cà phê lớn, góp phần vào an ninh lương thực toàn cầu (UN 2021 Food Systems Summit, 2021). Tuy nhiên, BĐKH đe dọa ngành nông nghiệp, gây giảm đất canh tác, tăng sâu bệnh, hạn hán, suy giảm đa dạng sinh học (Chandio và cộng sự, 2020). Nhiệt độ tăng ảnh hưởng tài nguyên nước, giảm năng suất, tạo điều kiện cho bệnh dịch nông nghiệp (Chandio và cộng sự, 2021). Với đường bờ biển dài, nền nông nghiệp lớn, Việt Nam thuộc nhóm 5 quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề nhất bởi BĐKH, ước tính có thể khiến GDP giảm 0,7–2,4% vào năm 2050.

Nhiều nghiên cứu đã khảo sát tác động BĐKH đối với sản xuất nông nghiệp, bao gồm: Sản xuất lúa gạo (Ismael và cộng sự, 2018), cây trồng (Kumar và cộng sự, 2021), sản lượng nông nghiệp (Zhang và cộng sự, 2023). Hầu hết nghiên cứu chỉ ra ảnh hưởng tiêu cực của BĐKH đối với sản xuất nông nghiệp. Tuy nhiên, nghiên cứu tại Việt Nam còn hạn chế (Anh và cộng sự, 2023; Do và cộng sự, 2021), chủ yếu tập trung vào khía cạnh kinh tế vi mô, cây trồng cụ thể hoặc khu vực với dữ liệu chưa cập nhật. Hầu hết các nghiên cứu trước sử dụng mô hình hồi quy tuyến tính như VAR, OLS, ARDL, GMM..., nên chưa phản ánh tính phi tuyến và thay đổi động của khí hậu (Zhang và cộng sự, 2023; Chen và cộng sự, 2024). Do đó, phương pháp Wavelet cần thiết để làm rõ mối quan hệ động và phi tuyến giữa khí hậu và nông nghiệp tại Việt Nam, nhờ khả năng phân tích theo thời gian - tần số, giúp phát hiện tác động ngắn hạn, trung hạn, dài hạn, điều mà mô hình truyền thống thường bỏ qua.

¹ Tham khảo từ <https://www.gso.gov.vn/du-lieu-va-so-lieu-thong-ke/2022/01/tang-truong-khu-vuc-nong-lam-nghiep-va-thuy-san-be-do-cho-nen-kinh-te-va-tam-nem-cho-cong-tac-an-sinh-xa-hoi-nam-2021/>

Việt Nam được chọn làm đối tượng nghiên cứu do chịu ảnh hưởng nặng nề nhất từ BĐKH, đặc biệt tại Đồng bằng sông Cửu Long và các vùng ven biển – nơi đóng vai trò trọng yếu trong sản xuất lúa gạo và các cây trồng chiến lược (Nguyễn và cộng sự, 2024). Nông nghiệp là trụ đỡ của nền kinh tế, khi đóng góp khoảng 12% GDP, tạo việc làm cho hơn 42% lực lượng lao động và là sinh kế của trên 30% dân số nông thôn (Anh và cộng sự, 2023). Từ đó, nghiên cứu đặt ra ba câu hỏi: (1) BĐKH ảnh hưởng đến sản xuất nông nghiệp tại Việt Nam như thế nào theo thời gian - tần suất? (2) Liệu các yếu tố khí hậu có tác động phi tuyến đến sản xuất nông nghiệp không? (3) Mối quan hệ này có thay đổi khi chịu tác động từ yếu tố thứ ba không?.

Nghiên cứu đóng góp vào lĩnh vực BĐKH và nông nghiệp bằng cách áp dụng phương pháp Wavelet với dữ liệu cập nhật (2000–2023), giúp đánh giá tác động ngắn hạn, trung hạn và dài hạn của BĐKH đến sản xuất nông nghiệp Việt Nam. Khác với các mô hình truyền thống, phương pháp này cho phép phân tích mối quan hệ đa chiều theo thời gian - tần số, phát hiện tính phi tuyến và sự biến động theo thời gian. Bằng cách sử dụng dữ liệu cập nhật, góp phần bổ sung bằng chứng thực nghiệm cho lĩnh vực kinh tế môi trường và nông nghiệp. Kết quả nghiên cứu hỗ trợ các học giả, nhà hoạch định chính sách xây dựng chiến lược thích ứng BĐKH, hướng đến nông nghiệp bền vững và cân bằng giữa tăng trưởng và bảo vệ môi trường.

2. Khảo lược nghiên cứu trước

BĐKH là thách thức mang tính toàn cầu, tác động sâu rộng đến mọi mặt phát triển kinh tế - xã hội, đặc biệt là ngành nông nghiệp – lĩnh vực chịu tác động trực tiếp từ khí hậu. Nghiên cứu của Adams và cộng sự (1998) và Lobell và Field (2007) phát hiện rằng năng suất nông nghiệp phụ thuộc chủ yếu vào hai yếu tố nhiệt độ và lượng nước. Do đó, sự biến động tiêu cực của các yếu tố sẽ làm gián đoạn quá trình sinh trưởng và phát triển của cây trồng, dẫn đến suy giảm năng suất và tăng nguy cơ mất mùa. BĐKH cũng tác động gián tiếp đến hệ thống sản xuất nông nghiệp thông qua việc làm suy thoái tài nguyên đất, nước và đa dạng sinh học. Hiện tượng xói mòn đất, sa mạc hóa, nhiễm mặn và cạn kiệt nguồn nước đang làm gia tăng chi phí sản xuất, giảm hiệu quả sử dụng tài nguyên và khả năng sinh kế nông hộ (Vermeulen và cộng sự, 2012). Hơn nữa, BĐKH còn lan tỏa đến chuỗi cung ứng nông sản (Porter, 2011), làm gia tăng tính bất ổn của giá cả thị trường và đe dọa an ninh lương thực (Wheeler & von Braun, 2013). Theo Báo cáo Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC, 2007a; 2007b), tác động của BĐKH đối với nông nghiệp được phân tích dựa trên ba trụ cột chính: mức độ phơi nhiễm, tính dễ bị tổn thương, và khả năng thích ứng. Trong đó, nông nghiệp được xác định là lĩnh vực có mức độ phơi nhiễm cao, do phụ thuộc trực tiếp vào điều kiện khí hậu như nhiệt độ, lượng mưa và thời tiết cực đoan. Bổ sung cho cách tiếp cận trên, Mendelsohn và cộng sự (1994) khẳng định BĐKH ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất và sản lượng nông nghiệp thông qua việc làm thay đổi các yếu tố đầu vào tự nhiên. Bên cạnh đó, Smit và Wandel (2006) nhấn mạnh mối quan hệ hai chiều giữa BĐKH và nông nghiệp: nông nghiệp không chỉ chịu tác động tiêu cực từ các biểu hiện của BĐKH mà còn là nguồn phát thải khí nhà kính đáng kể, chủ yếu từ hoạt động canh tác lúa nước, chăn nuôi, sử dụng phân bón hóa học và chuyển đổi mục đích sử dụng đất.

Các quốc gia đang phát triển, đặc biệt là Việt Nam, Pakistan, Trung Quốc và Nepal, phụ thuộc lớn vào nông nghiệp không chỉ như một nguồn thu nhập chính yếu mà còn để đảm bảo an ninh lương thực quốc gia. Trong bối cảnh này, BĐKH trở thành một mối đe dọa không thể xem nhẹ, làm gia tăng

sự bất ổn trong sản xuất nông nghiệp và gia tăng nguy cơ thiếu hụt lương thực. Theo Ali và cộng sự (2017), những thay đổi trong điều kiện khí hậu đã làm giảm năng suất lúa mì tại Pakistan trong giai đoạn 1989–2015. Cụ thể, nghiên cứu của Ali và cộng sự (2017) đã sử dụng mô hình FGLS, HAC dự báo khí hậu để chỉ ra rằng sự thay đổi nhiệt độ tác động tiêu cực sản lượng lúa mì. Tuy nhiên, các kết quả này không hoàn toàn đồng nhất với các nghiên cứu khác như Janjua và cộng sự (2014), nơi mà những thay đổi về điều kiện khí hậu không ảnh hưởng đến sản xuất lúa mì ở Pakistan. Tương tự, nghiên cứu của Chandio và cộng sự (2020) tại Trung Quốc đã chỉ ra một bức tranh phức tạp hơn về tác động của BĐKH đối với sản lượng nông sản. Kết quả nhận thấy trong dài hạn, nhiệt độ và lượng mưa có mối quan hệ tiêu cực với năng suất nông nghiệp, nhưng CO₂ lại có ảnh hưởng tích cực. Đáng chú ý, Chandio và cộng sự (2020) còn phát hiện ra sự tác động tích cực của tiêu thụ phân bón và năng lượng đến năng suất nông sản, phản ánh một quan điểm sâu rộng hơn về vai trò của các yếu tố can thiệp chính sách và sự thích ứng của nông dân đối với các yếu tố bên ngoài. Tại Ghana, Do và cộng sự (2021) lại có kết quả trái ngược khi chỉ ra CO₂ có tác động tích cực đến năng suất ngũ cốc trong dài hạn, tuy nhiên, nghiên cứu của Amponsah và cộng sự (2015) tại cùng quốc gia lại nhận thấy khí thải CO₂ có ảnh hưởng tiêu cực. Ngoài ra, các nghiên cứu tại những khu vực khác nhau cũng mang lại những kết quả trái chiều về tác động của BĐKH đến năng suất nông sản. Trong khi Loum và Fogarassy (2015) chỉ ra rằng mưa, nhiệt độ làm giảm năng suất ngũ cốc tại Gambia, thì Warsame và cộng sự (2021) lại cho thấy lượng mưa có tác động tích cực đối với sản xuất cây trồng tại Somalia trong dài hạn. Tương tự, các nghiên cứu trong khu vực Đông Nam Á, đặc biệt tại Việt Nam, cũng cho thấy sự tác động đa chiều của các yếu tố khí hậu đến sản xuất nông sản. Anh và cộng sự (2023) phát hiện rằng sự tương tác giữa CO₂, đất đai và phân bón có ảnh hưởng tích cực đến năng suất nông nghiệp, trong khi lượng mưa và lao động lại có tác động tiêu cực đến hiệu quả kinh tế và sản lượng nông sản. Điều này cho thấy sự phức tạp trong việc phân tích tác động BĐKH, khi mà các yếu tố kinh tế - xã hội và chính sách cũng đóng vai trò quan trọng trong việc xác định mức độ ảnh hưởng của BĐKH đến sản xuất nông nghiệp.

3. Phương pháp và dữ liệu nghiên cứu

3.1. Wavelet liên tục (CWT)

Biến đổi Wavelet liên tục $w_x(m,n)$ cho phép điều tra hành vi chung chuỗi thời gian cho cả tần số - thời gian. Wavelet được định nghĩa là:

$$W_x(m, n) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{n}} \overline{\psi\left(\frac{t-m}{n}\right)} dt \quad (1)$$

Mức độ co giãn (m) và vị trí (n) của wavelet giúp thu thập thông tin theo thời gian. CWT có thể phân rã và tái cấu trúc chuỗi thời gian $x(t) \in L^2(R)$ một cách chính xác.

$$x(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_0^\infty \left[\int_{-\infty}^\infty W_x(m, n) \psi_{m,n}(t) du \right] \frac{dn}{n^2}, n > 0 \quad (2)$$

Ngoài ra, CWT duy trì động lực phân tích chuỗi thời gian, được thể hiện như sau:

$$\|x\|^2 = \frac{1}{C_\psi} \int_0^\infty \left[\int_{-\infty}^\infty |W_x(m, n)|^2 dm \right] \frac{dn}{n^2} \quad (3)$$

Tính năng trong phương trình (2) giải thích tính nhất quán wavelet, giúp định lượng mối liên kết tự nhiên giữa các cấu trúc chuỗi được phân tích.

3.2. Wavelet kết hợp

Wavelet chéo của hai chuỗi $x(t)$ và $y(t)$ được định nghĩa là:

$$W_n^{XY}(u,s) = W_n^X(u,s)W_n^{Y*}(u,s) \quad (4)$$

Trong đó, u biểu thị vị trí; s là tỷ lệ; $*$ là liên hợp phức.

Torrence và Webster (1999) phát triển sự kết hợp Wavelet đo chuyển động đồng thời giữa hai chuỗi thời gian. Hệ số Wavelet bình phương được định nghĩa như sau:

$$R_n^2(u,s) = \frac{S(s^{-1}|W_n^{XY}(u,s)|^2)}{S(s^{-1}|W_n^X(u,s)|^2)S(s^{-1}|W_n^Y(u,s)|^2)} \quad (5)$$

S là toán tử làm mịn cho thời gian và tần số. $R^2(u,s)$ nằm trong khoảng $0 \leq R^2(u,s) \leq 1$, tương tự như hệ số tương quan nếu giá trị của nó gần bằng 0, bằng chứng về sự phụ thuộc lẫn nhau yếu sẽ được xác định và ngược lại.

Wavelet một phần (PWC), cho phép xác định WTC giữa hai chuỗi (y, x_1) sau khi loại bỏ tác động của chuỗi thứ ba (x_2) , như sau:

$$RP^2(y, x_1, x_2) = \frac{|R(y, x_1) - R((y, x_2).R(y, x_1))|^2}{[1 - R(y, x_2)]^2 [1 - R(x_1, x_2)]^2} \quad (6)$$

Wavelet nhiều phần (MWC) khả năng khám phá sự kết hợp của nhiều biến trên một biến phụ thuộc duy nhất.

$$RM^2(y, x_1, x_2) = \frac{R^2(y, x_1) + R^2(y, x_2) - 2\text{Re}[R(y, x_1).R(y, x_2)^* . R(x_2, x_1)^*]}{1 - R^2(x_2, x_1)} \quad (7)$$

Trong đó, Re : Phần thực; $*$ phương trình (6) và (7) là liên hợp phức.

3.3. Pha

Bài báo sử dụng sự khác biệt pha liên kết wavelet để nắm bắt mối tương quan âm và dương và mối quan hệ dẫn - trễ giữa hai chuỗi thời gian trong không gian thời gian - tần số. Torrence và Webster (1999) định nghĩa sự khác biệt pha liên kết wavelet:

$$\varphi_{XY}(S) = \tan^{-1} \left(\frac{\Im(S^{-1}W_n^{XY}(S))}{\Re(S^{-1}W_n^{XY}(S))} \right) \quad (8)$$

Trong đó, $\Im$ và $\Re$ lần lượt là phần ảo và thực của phổ công suất mượt. Mối tương quan lệch pha giữa hai biến thể hiện qua mũi tên: Khi mũi tên chỉ sang phải (trái) thì chuỗi cùng pha (ngược pha) hoặc tương quan dương (âm). Khi mũi tên chỉ xuống (lên) thì chuỗi thứ hai (thứ nhất) dẫn trước chuỗi thứ nhất (thứ hai).

3.4. Kết hợp vector wavelet (VWC)

Định nghĩa độ tương quan sóng vector $n \times n$ giữa y và một tập hợp các chuỗi thời gian khác $x_1, x_2, \dots, x_n$ và $VR_{y(x_1, x_2, \dots, x_n)}^2$. Có thể tính toán độ tương quan như sau:

$$VR_{y(x_1, x_2, \dots, x_n)}^2 = 1 - \frac{M^d}{S_{11}M_{11}^d} \quad (9)$$

M là ma trận $n \times n$ chứa các phổ wavelet chéo đã được làm mịn S_{ij} , phiên bản làm mịn của W_{ij} , thu được bằng toán tử làm mịn S lên W_{ij} . Ma trận M được biểu diễn như sau:

$$M^H = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{n1} & s_{n2} & \cdots & s_{nn} \end{pmatrix} \quad (10)$$

H là một chuyển vị liên hợp. Biểu thị phần tử cofactor ở vị trí (i,j) của M là M_{ij}^d được tính như sau:

$$M_{ij}^d = (-1)^{(i+j)} \det M_{ij}^j \quad (11)$$

Trong đó, M_{ij}^j biểu thị ma trận con thu được từ M bằng cách xóa hàng thứ i^{th} và cột thứ j^{th} và M^d biểu thị định thức của M; $\det(M)$ là định thức ma trận M. Ma trận C kết hợp wavelet phức hợp được làm mịn p_{ij} tức là:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 12 & \cdots & 1n \\ 21 & 1 & \cdots & 2n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n1 & n2 & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Tương tự của M, ma trận C cũng là ma trận Hermitian với các tính chất $P_{ij} = P_{ji}^*$. Sau đó, chúng ta có thể xác định sự kết hợp vector n chiều như sau:

$$VR_{y(x_1, x_2, \dots, x_n)}^2 = 1 - \frac{C^d}{C_{11}^d} \quad (13)$$

3.5. Dữ liệu

Nghiên cứu mối quan hệ giữa BĐKH và sản xuất nông nghiệp tại Việt Nam trong giai đoạn 2000–2023 và các phân tích, tính toán được thực hiện bằng phần mềm R. Các biến nghiên cứu, đơn vị đo lường và nguồn dữ liệu của các chuỗi thời gian đã chọn trình bày chi tiết trong Bảng 2. Để tăng số lượng quan sát, dữ liệu hàng năm được chuyển đổi thành tần suất hàng tháng bằng phương pháp Quadratic Match-Sum (Hung, 2024). Các chuỗi dữ liệu chuyển đổi sang dạng logarit nhằm giảm thiểu vấn đề phương sai thay đổi (Onour và cộng sự, 2019).

Bảng 2.

Mô tả các biến và nguồn dữ liệu

Biến	Ký hiệu	Ước lượng	Nguồn tham khảo	Nguồn dữ liệu
Chỉ số sản xuất nông nghiệp	CP	Chỉ số CP phản ánh số liệu thống kê về cây trồng, bao gồm diện tích thu hoạch, sản lượng và năng suất của 173 sản phẩm nông nghiệp. Chỉ số này được chuẩn hóa với giai đoạn cơ sở 2014–2016, trong đó giá trị 100 tương ứng với mức sản	Ahsan và cộng sự (2020), Anh và cộng sự (2023).	World Bank ²

² <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

Biến	Ký hiệu	Ước lượng	Nguồn tham khảo	Nguồn dữ liệu
		xuất nông nghiệp trung bình của giai đoạn này.		
Nhiệt độ trung bình năm	AAT	(⁰ C)	Ali và cộng sự (2017), Amponsah và cộng sự (2015).	World Bank ³
Tổng lượng mưa	RA	(mm/năm)	Chandio và cộng sự (2020), Dumrul và Kilicarslan (2017).	
Lượng phát thải CO ₂ trên đất nông nghiệp	CO2	(Nghìn tấn)	Warsame và cộng sự (2021), Kumar và cộng sự (2021).	FAOSTAT ⁴
Tiêu thụ phân bón	FC	Tiêu thụ phân bón NPK (N, P ₂ O ₅ , K ₂ O), (Tấn)	Dumrul và Kilicarslan (2017), Ali và cộng sự (2017).	
Sử dụng thuốc trừ sâu	PU	(Tấn)	Anh và cộng sự (2023), Ismael và cộng sự (2018).	
Diện tích gieo trồng	CA	(Ha)	Janjua và cộng sự (2014), Loum và Fogarassy (2015).	World Bank ⁵

³ <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>

⁴ <https://data.apps.fao.org/catalog/dataset/crop-production-yield-harvested-area-global-national-annual-faostat>

⁵ <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Thống kê mô tả

Bảng 3.

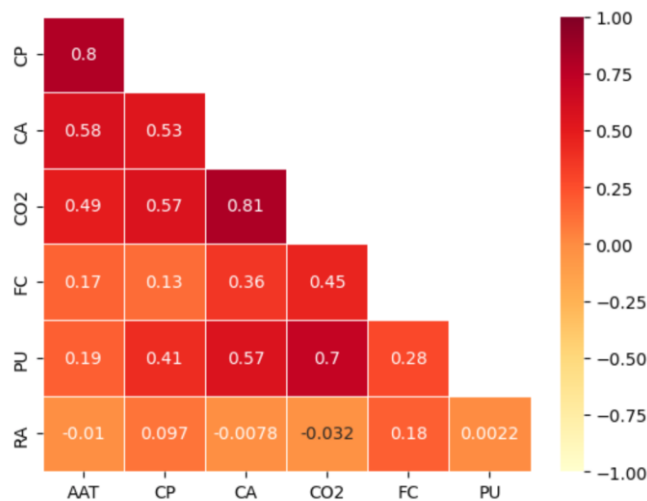
Thống kê mô tả

Biến	CP	AAT	CO2	RA	CA	PU	FC
Trung bình	4,4514	3,2122	9,0231	7,4759	8,7909	8,1972	18,1351
Trung vị	4,4895	3,2110	9,0840	7,4781	8,7831	8,0553	18,2582
Lớn nhất	4,4765	3,2251	9,6630	7,5860	8,8677	10,9884	18,5141
Nhỏ nhất	4,0308	3,1998	8,5643	7,3398	8,6739	6,3459	14,3453
Độ lệch chuẩn	-0,2177	0,0072	0,2706	0,0586	0,0384	0,9031	0,5928
Skewness	-0,4194	0,3412	0,1980	-0,0850	0,1852	2,0218	-4,6520
Kurtosis	1,9263	1,9176	2,1107	2,1093	2,2870	6,6145	24,0858
Quan sát	288	288	288	288	288	288	288
Jarque-Bera	21.968,40***	21.920,90***	11.214,90***	9.729,70***	7.639,20***	348,09***	6.204,98***

Ghi chú: *** tương ứng với mức ý nghĩa thống kê 1%.

Từ phân tích Bảng 1, có thể suy ra rằng kết quả kiểm định Jarque-Bera đều cho giá trị lớn và có ý nghĩa thống kê ở mức 1%, khẳng định bản chất tính phi tuyến của chuỗi nghiên cứu, đặc biệt là AAT và CP, với giá trị Jarque-Bera lần lượt là 21.920,90 và 21.968,40, cho thấy sự sai lệch đáng kể khỏi phân phối chuẩn. Đặc điểm này củng cố cơ sở cho việc áp dụng các kỹ thuật kinh tế lượng phi tuyến trong phân tích.

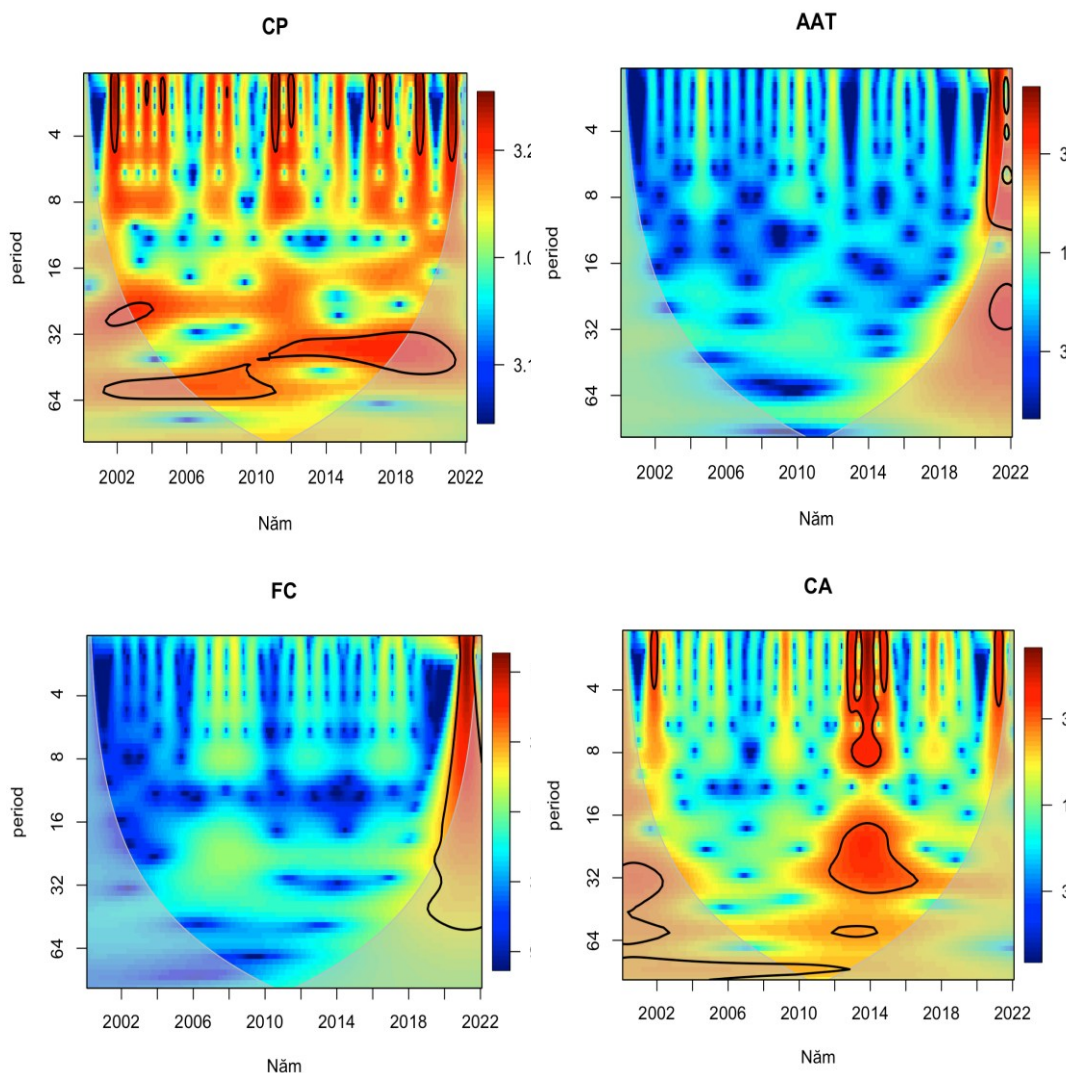
4.2. Ma trận tương quan

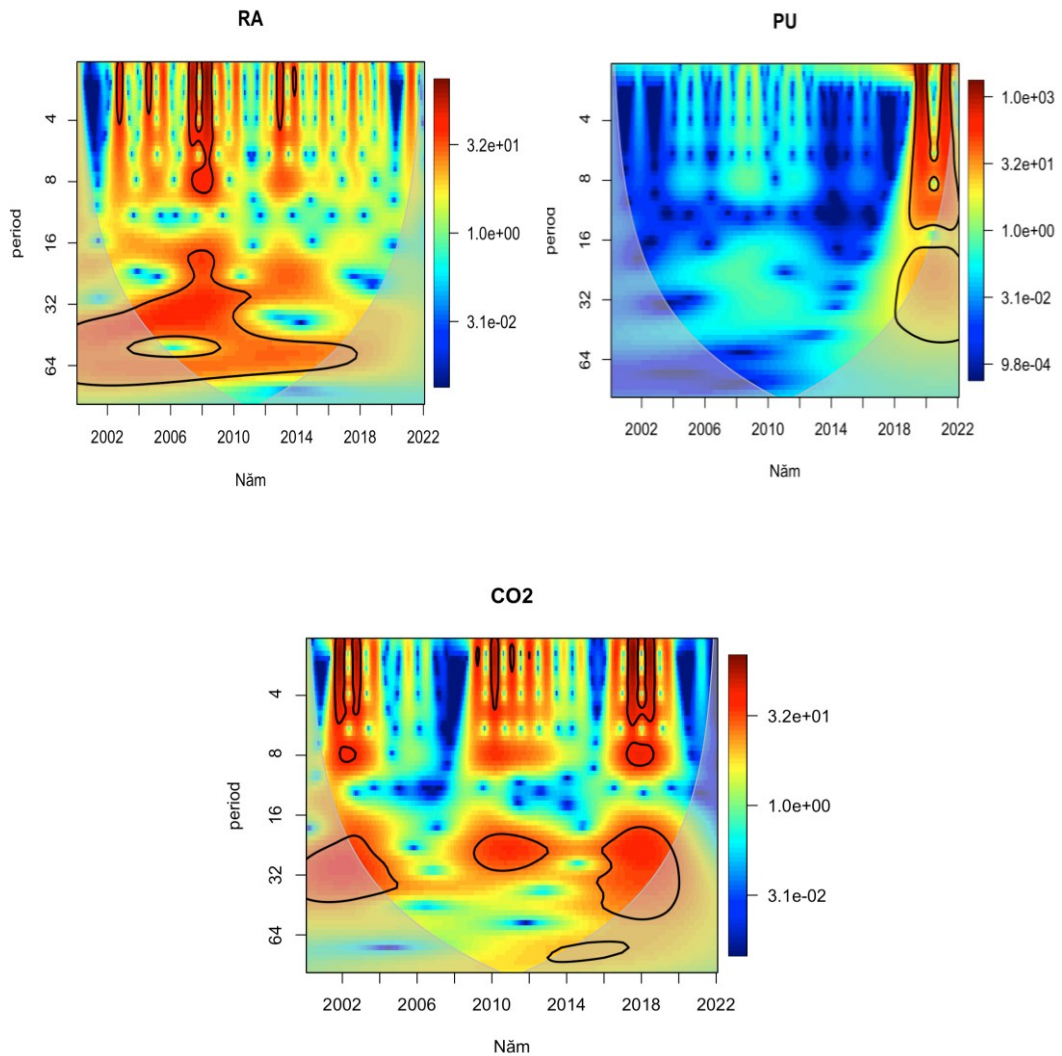


Hình 1. Ma trận tương quan

Bản đồ nhiệt trong Hình 1 minh họa ma trận tương quan các biến. Cần lưu ý rằng tất cả các biến (trừ RA) đều có tương quan tích cực với chỉ số CP đang được xem xét. Chỉ số CP có tương quan dương cao nhất với CA và CO₂, với hệ số lần lượt là 0,58 và 0,49. Ngoài ra, CO₂ cũng có mức tương quan cao với CA (0,57). Trong khi đó, RA có mức tương quan rất thấp hoặc gần như không đáng kể với các biến còn lại.

4.3. Wavelet liên tục

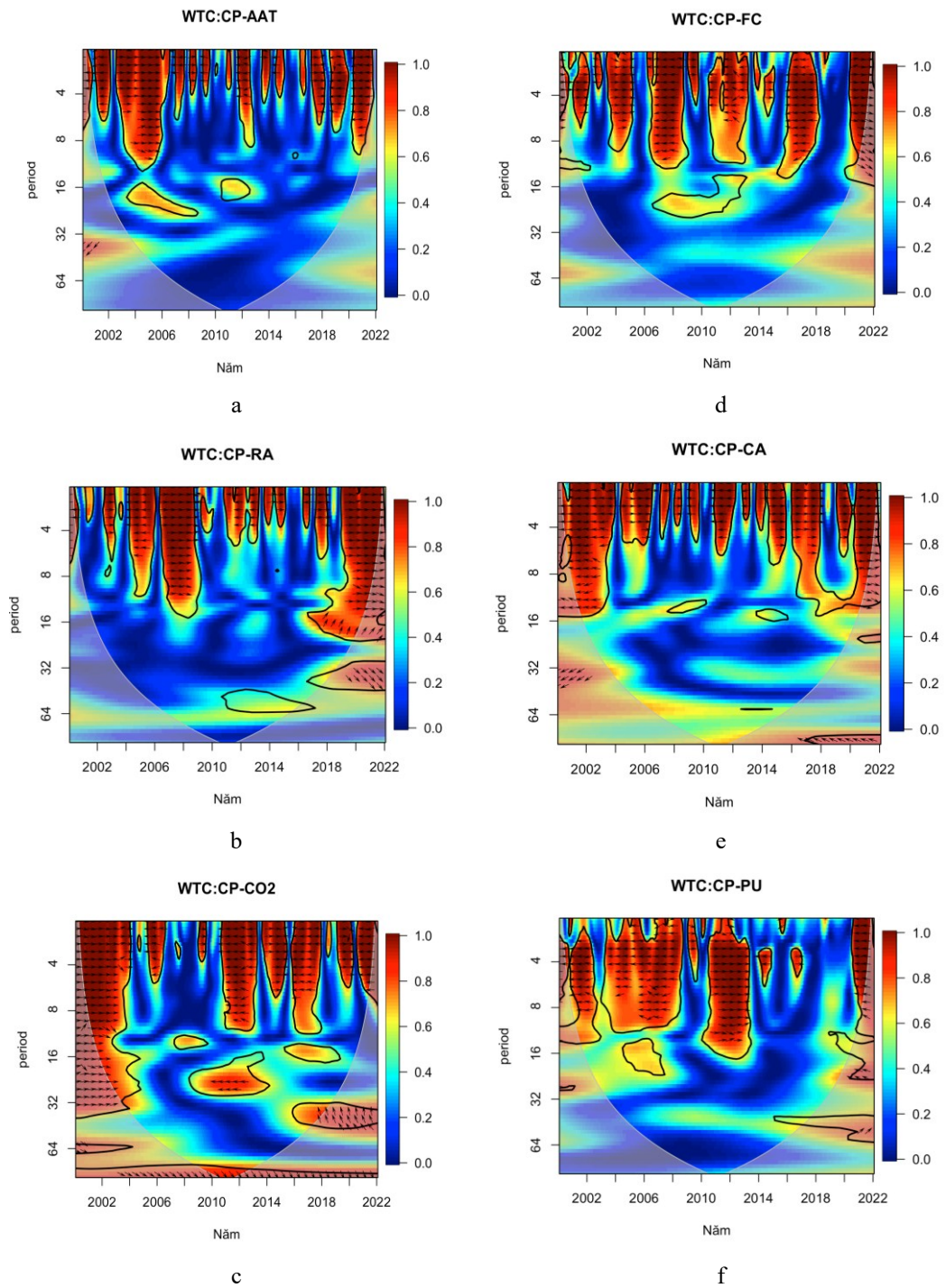




Hình 2. Wavelet liên tục

Hình 2 minh họa biến động các yếu tố BĐKH (AAT, RA, CO2, CA, FC, PU) và sản xuất nông nghiệp trong giai đoạn nghiên cứu. Vùng màu nóng (đỏ, cam) thể hiện tương quan mạnh, trong khi màu lạnh (xanh dương, xanh lá) phản ánh mức tương quan thấp. Các đường viền xám xác định khu vực có ý nghĩa thống kê 5% qua thử nghiệm Monte Carlo. Hình 2 cho thấy CP, CA, RA, CO2 có xu hướng đồng bộ ở tần số thấp, với các vùng đỏ xuất hiện chủ yếu ở thang cao (16–32 và 32–64 tháng). Ngược lại, FC, PU, AAT ít biến động, thể hiện qua các vùng lạnh.

4.4. Wavelet kết hợp



Hình 3. Wavelet kết hợp

Nghiên cứu phân tích chuyển động đồng thời và kết nối dẫn - trễ giữa các yếu tố khí hậu và sản xuất nông nghiệp tại Việt Nam bằng biểu đồ cặp sự gắn kết wavelet (WTC). WTC phản ánh mối tương quan giữa các chỉ số, trong khi độ lệch pha wavelet xác định sự thay đổi kết nối theo thời gian. Các mũi tên hướng sang phải ($\rightarrow$) thể hiện mối tương quan dương, trong khi các mũi tên hướng sang trái ($\leftarrow$) biểu thị mối tương quan âm. Nếu mũi tên hướng lên trên và sang trái ($\nwarrow$) hoặc xuống dưới và sang phải ($\searrow$), điều này chỉ ra rằng tham số thứ hai tác động đến tham số thứ nhất. Ngược lại, mũi tên hướng lên trên và sang phải ($\nearrow$) hoặc xuống dưới và sang trái ($\swarrow$) cho thấy tham số thứ nhất là yếu tố gây ảnh hưởng đến tham số thứ hai. Hình 3 minh họa các chu kỳ ngắn, trung và dài hạn qua các tần số 0–8, 8–32, 32–64. Trục tung là tần số, trục hoành là thời gian. Màu vàng - đỏ thể hiện phụ thuộc cao, xanh lam - xanh lục cho thấy tương quan yếu.

Đối với cặp CP-AAT, nghiên cứu quan sát thấy rằng chỉ số CP và AAT có sự thay đổi đáng kể về thời gian và dải tần số. Quan trọng hơn, vùng có sự gắn kết mạnh được định vị ở tần số thấp và trung bình trong giai đoạn lấy mẫu (4–16 tháng). Ngoài ra, các mũi tên hướng sang phải cho thấy mối liên hệ tích cực giữa chỉ số CP-AAT giai đoạn 2000–2007. Cụ thể, nhiệt độ tăng thúc đẩy sự phát triển của cây trồng, cải thiện năng suất, dẫn đến sự gia tăng chỉ số sản xuất nông nghiệp. Ngược lại, vào giữa giai đoạn lấy mẫu, mối quan hệ này chuyển sang tiêu cực và tác động tích cực mạnh vào cuối giai đoạn nghiên cứu. Những kết quả này được xác nhận bởi công trình của Ali và cộng sự (2017).

Tương tự như vậy, Hình 3b cho thấy trong giai đoạn 2000–2007, các mũi tên chỉ sang trái cho thấy mối quan hệ tiêu cực giữa các chỉ số ở tất cả các tần suất (4–32 tháng), ám chỉ rằng lượng mưa không có tác động tích cực đến sản xuất nông nghiệp trong giai đoạn này. Tuy nhiên, trong giai đoạn 2007–2011, mối quan hệ chuyển sang tích cực, được thể hiện qua các mũi tên chỉ sang phải, cho thấy ảnh hưởng có lợi của mưa đối với chỉ số sản xuất nông nghiệp. Đặc biệt, tại tần suất 16–32 tháng, mối quan hệ giữa CP-RA thể hiện tính chống chu kỳ, với các mũi tên đi lên, xuống và ngang, phản ánh sự thay đổi theo chu kỳ của các yếu tố khí hậu và sản xuất nông nghiệp trong dài hạn. Những kết quả phù hợp với các phát hiện (Loum & Fogarassy, 2015; Chandio và cộng sự, 2020).

Tuy nhiên, cặp CP-CO₂ thể hiện mối quan hệ mạnh mẽ và có ý nghĩa ở tần suất thấp, trung bình và cao (4–64 tháng) trong giai đoạn lấy mẫu, cho thấy các chỉ số CP-CO₂ có được mối liên hệ đáng kể trong các khoảng thời gian từ ngắn hạn đến dài hạn. Đặc biệt, ở các tần suất cao hơn (32–64 tháng), nghiên cứu quan sát thấy các mũi tên hướng sang trái, điều này ngụ ý rằng tồn tại mối quan hệ tiêu cực giữa các chỉ số. Ngoài ra, các mũi tên trong cặp CO₂-CP biểu thị mối liên hệ cùng pha, cho thấy mối quan hệ tích cực giữa phát thải CO₂-CP ở Việt Nam ở nhiều thang thời gian - tần suất khác nhau. Kết quả quan sát đám mây mũi tên giữa năm 2017–2022 trong các dải 32–64 tháng, cho thấy sự thay đổi CO₂ dẫn đến chỉ số sản xuất nông nghiệp ở Việt Nam. Kết quả gợi ý rằng gia tăng khí thải CO₂ trong thời gian dài có thể phản ánh tác động hai chiều giữa phát thải khí và sản xuất nông nghiệp, đặc biệt khi các yếu tố kinh tế và nhu cầu năng lượng tăng trưởng. Phát hiện này phù hợp với Anh và cộng sự (2023).

Đối với cặp chỉ số CP-FC, kết quả phân tích cho thấy mối quan hệ này không duy trì ổn định trong toàn bộ giai đoạn. Cụ thể, trong giai đoạn đầu (2000–2006), mối quan hệ tích cực giữa các biến được quan sát, nhưng về sau, tác động này dần suy giảm, thậm chí chuyển sang tiêu cực trong một số khoảng thời gian nhất định (2007–2018), khi điều kiện môi trường ổn định hơn, mối liên hệ tích cực trở lại, cho thấy vai trò quan trọng của yếu tố thời gian - tần suất. Các phát hiện cũng có thêm bằng chứng nghiên cứu trước đây, ví dụ như công trình Chandio và cộng sự (2020), cho thấy phân bón tác

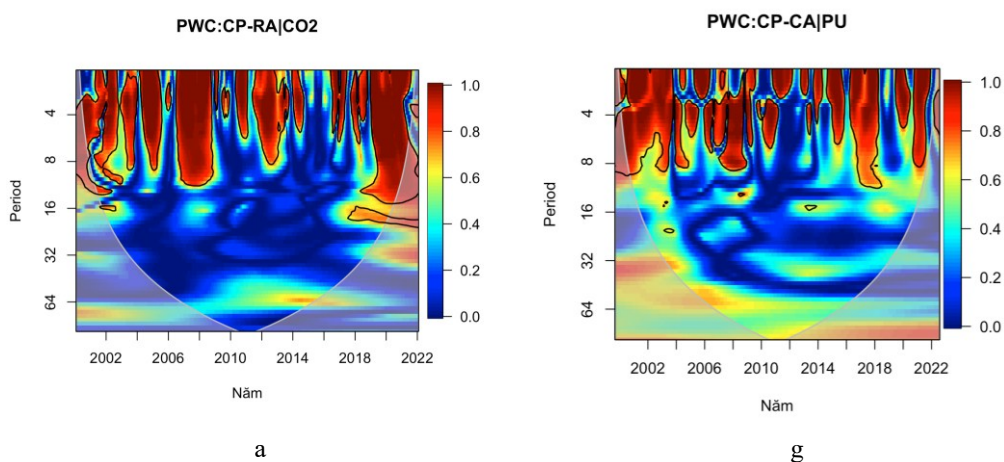
động tích cực nền nông nghiệp tại Trung Quốc. Mặc dù có những điểm tương đồng với nghiên cứu Chandio và cộng sự (2020), đặc biệt là ở giai đoạn 2000–2006, kết quả nghiên cứu này cho thấy mối quan hệ có thể thay đổi ở những tần suất khác, phản ánh tiêu cực giữa CP-FC vào giữa giai đoạn nghiên cứu.

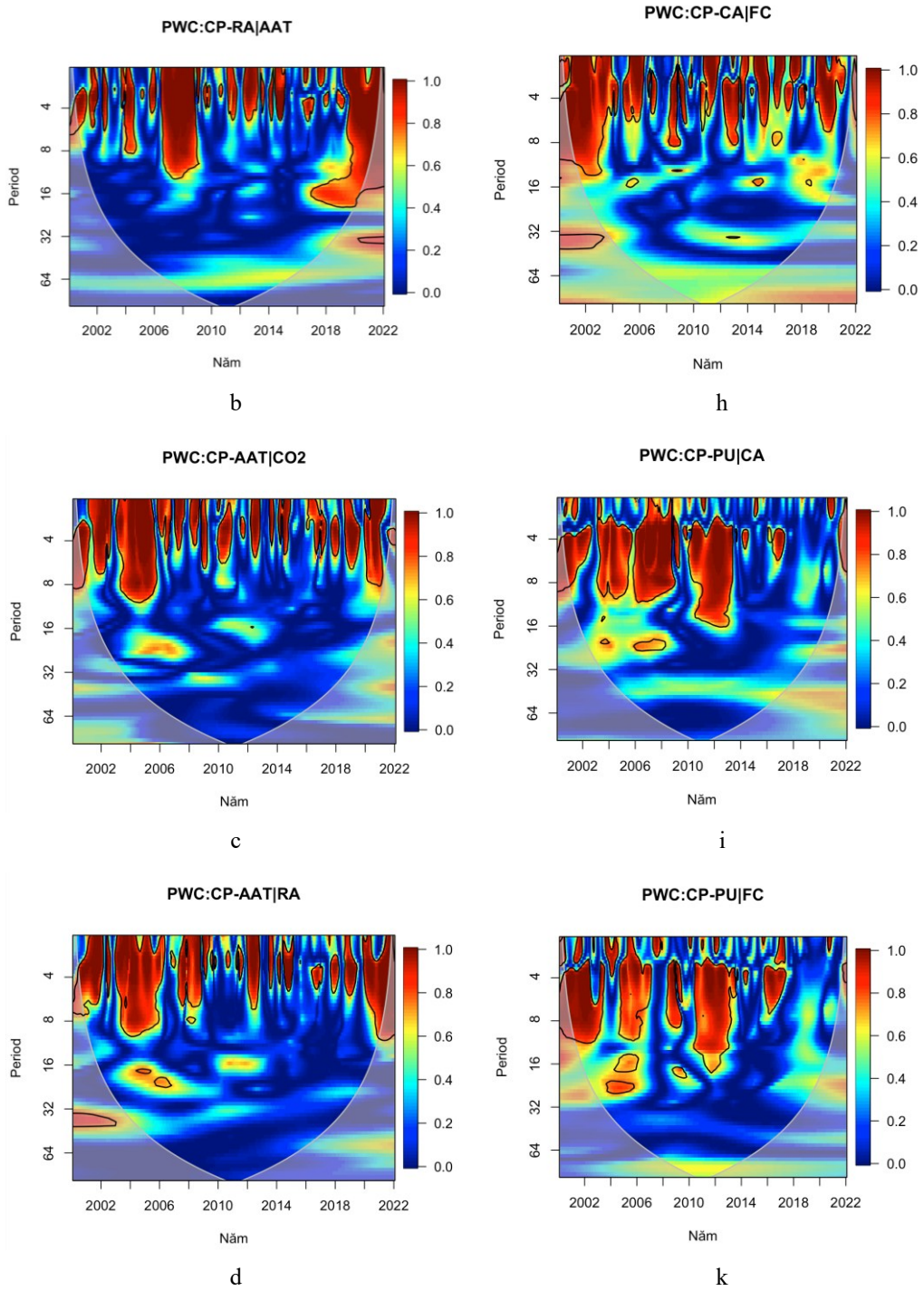
Với cặp CP-CA phân tích cho thấy các giai đoạn có gắn kết mạnh tập trung ở tần suất thấp, thể hiện cả tác động tiêu cực và tích cực tùy thuộc vào bối cảnh. Cụ thể, tồn tại mối quan hệ tiêu cực trong giai đoạn đầu của mẫu nghiên cứu ở tần số 4–16 tháng. Dù vậy, cũng tần suất đó vào giữa và cuối giai đoạn nghiên cứu, kết quả đã có sự thay đổi đáng kể từ tiêu cực sang tích cực (2015–2023). Hơn nữa, các kết quả này củng cố thêm bằng chứng về mối quan hệ giữa các biến trong nghiên cứu của Chandio và cộng sự (2021). So với kết quả của Nunti và cộng sự (2020), nghiên cứu này cho thấy mối quan hệ phức tạp hơn, đặc biệt ở tần suất thấp.

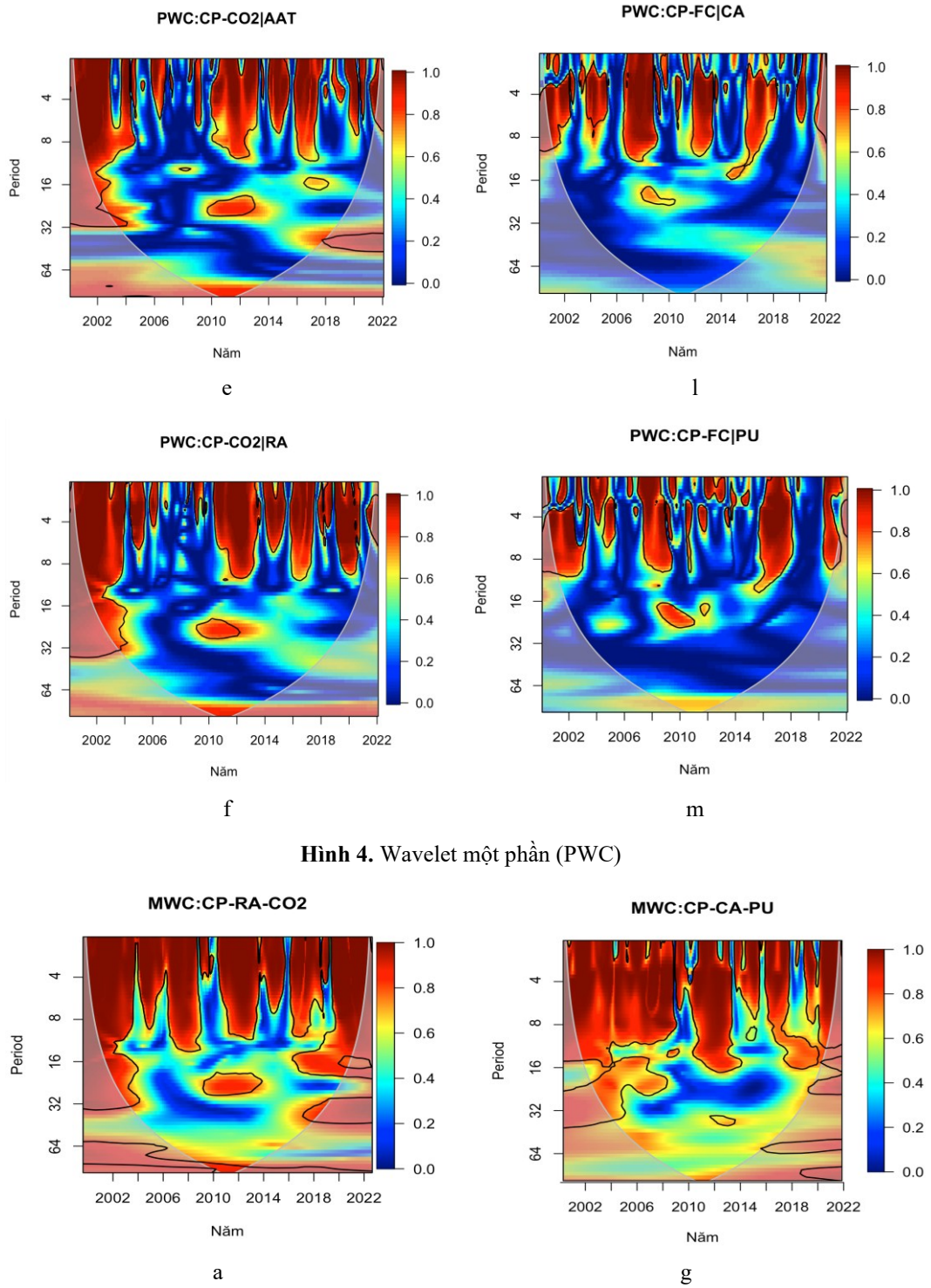
Cặp CP-PU thể hiện rõ qua các vùng gắn kết mạnh ở tần số thấp và trung bình, phản ánh những tác động đáng chú ý trong trung hạn và dài hạn. Kết quả phân tích chỉ ra rằng, trong giai đoạn đầu của mẫu nghiên cứu, mối quan hệ giữa CP và PU có xu hướng tiêu cực, cho thấy việc gia tăng sử dụng thuốc trừ sâu có thể ảnh hưởng bất lợi đến chỉ số sản xuất nông nghiệp. Tuy nhiên, ở các giai đoạn giữa, mối quan hệ này chuyển sang tích cực. Đáng chú ý, trong dài hạn (2017–2023), mối liên hệ giữa CP và PU lại quay trở lại xu hướng tiêu cực, điều này có thể phản ánh các tác động bền vững của việc lạm dụng thuốc trừ sâu đến môi trường và chất lượng đất, từ đó ảnh hưởng đến năng suất nông nghiệp. Kết quả nghiên cứu hiện tại còn mở rộng các phát hiện trước đây, đặc biệt ở những giai đoạn hoặc tần suất chưa được phân tích chi tiết trong các nghiên cứu trước (Chandio và cộng sự, 2020). Trái lại, nghiên cứu của Nunti và cộng sự (2020) cho thấy mối liên hệ tích cực giữa hai chỉ số.

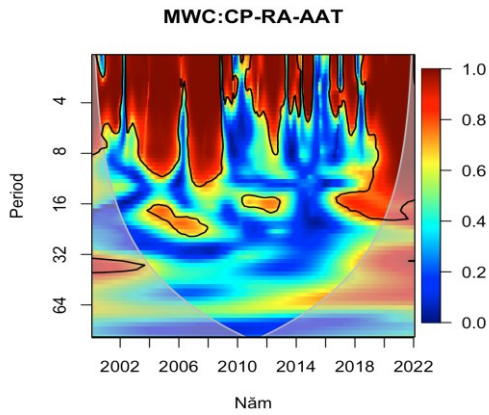
4.5. Wavelet một phần (PWC) và Wavelet nhiều phần (MWC)

Nghiên cứu áp dụng wavelet một phần (PWC) và wavelet nhiều phần (MWC) để làm rõ mối quan hệ giữa các chuỗi thời gian, đặc biệt khi có sự phụ thuộc chung. Hình 4 minh họa PWC, Hình 5 minh họa MWC.

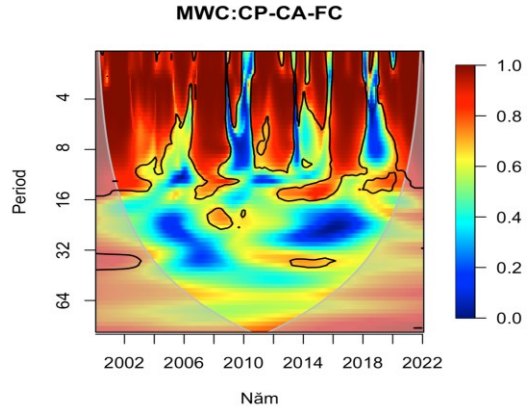




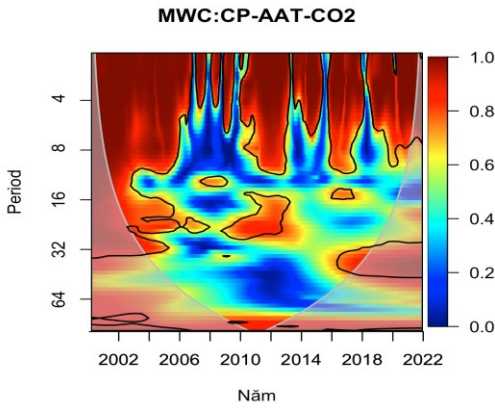




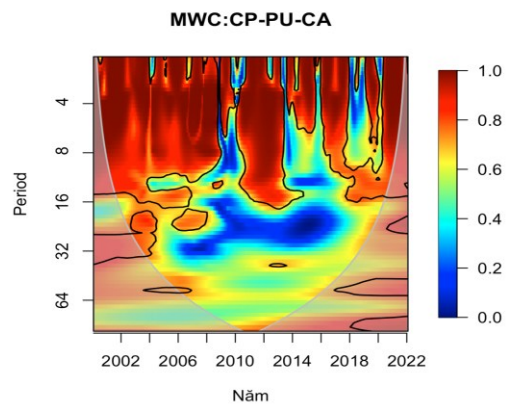
b



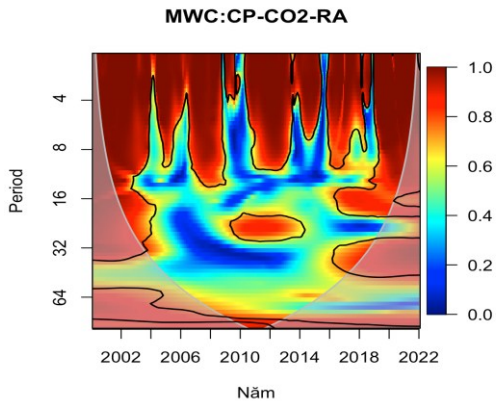
h



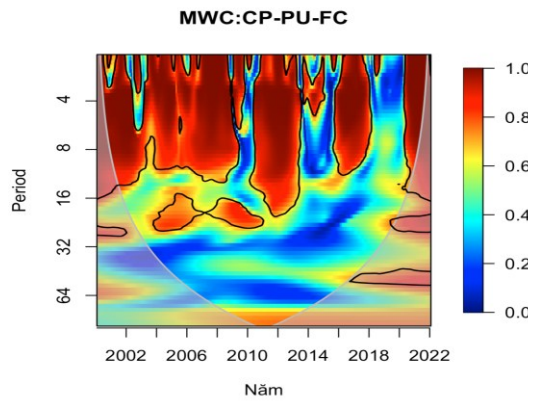
c



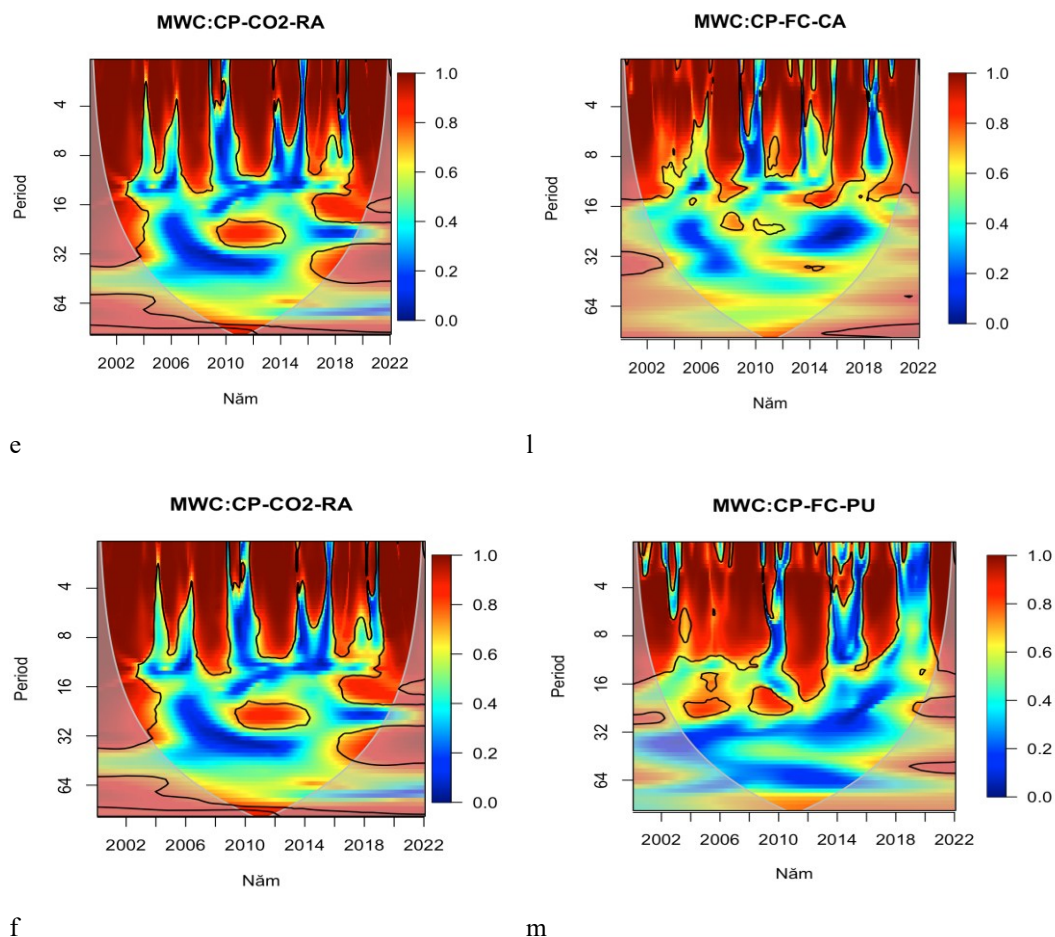
i



d



k



Hình 5. Wavelet nhiều phân (MWC)

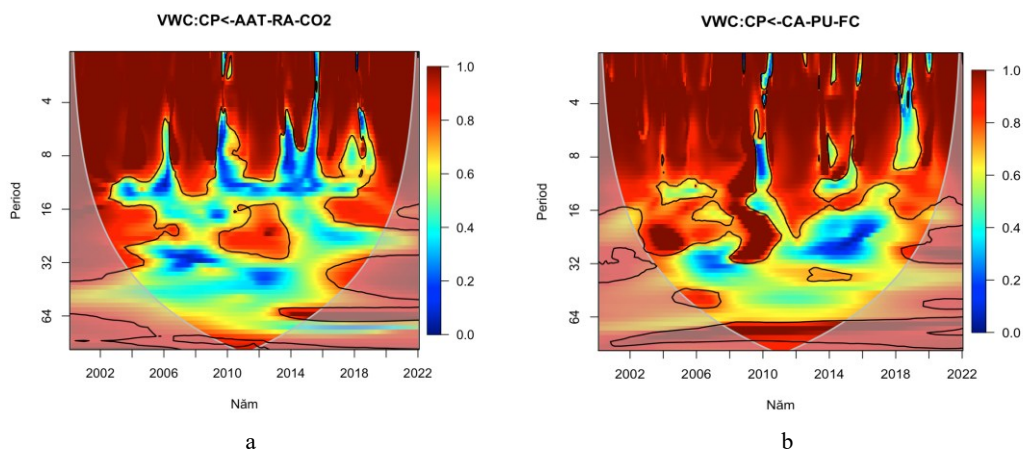
Hình 4(a-b) trình bày kết quả PWC giữa CP-RA, khi kiểm soát tác động AAT và CO₂. Các đảo đồ xuất hiện trong khoảng 4–32 tháng cho thấy RA có ảnh hưởng đáng kể đến CP trong ngắn và trung hạn, độc lập với AAT và CO₂. Trong khi đó, Hình 5(a-b) bổ sung tác động của AAT và CO₂ nhưng vẫn cho thấy mối tương quan CP-RA không suy giảm mà còn tăng cường ở các tần số thấp và trung bình. Điều này khẳng định vai trò quan trọng của mưa trong sản xuất nông nghiệp và sự tác động đa chiều của các yếu tố khí hậu. Kết quả phù hợp với Ahsan và cộng sự (2020). Hình 4(c-d) minh họa rõ mối quan hệ đáng kể giữa CP-AAT khi kiểm soát tác động của RA và CO₂. Sự xuất hiện các vòng tròn đỏ tại khoảng thời gian 4–16 tháng nhấn mạnh rằng AAT có ảnh hưởng mạnh mẽ đến năng suất nông nghiệp, đặc biệt trong ngắn hạn, phù hợp với các nghiên cứu của Kumar và cộng sự (2021). Ngược lại, Hình 5(c-d) cho thấy mối đồng chuyển động giữa AAT-CP trở nên mạnh mẽ và phức tạp hơn ở tần số trung bình và cao khi thêm vào các yếu tố RA và CO₂, nhấn mạnh vai trò bổ sung của các yếu tố khí hậu, môi trường trong việc xác định tác động đến năng suất nông nghiệp.

Hình 4(e-f) phân tích mối quan hệ giữa CP-CO₂ khi kiểm soát RA và AAT, cho thấy tương quan mạnh ở tần số thấp, đặc biệt trong dài hạn. Các đảo đồ rải rác phản ánh tác động lâu dài của sản xuất nông nghiệp đến phát thải CO₂, nhấn mạnh vai trò của nông nghiệp trong tăng trưởng kinh tế nhưng

cũng làm gia tăng áp lực môi trường. Tuy nhiên, Hình 5(e-f) bổ sung RA và AAT, kết quả MWC cho thấy CP-CO₂ trở nên phức tạp hơn, với ảnh hưởng rõ rệt từ mưa và nhiệt độ, phù hợp với Praveen và Sharma (2020). Hình 4(g-h) phân tích CP-CA khi kiểm soát FC-PU, cho thấy mối tương quan mạnh ở tần số thấp (4–16 tháng), làm rõ vai trò của diện tích canh tác trong nâng cao sản lượng. Hình 5(g-h) bổ sung yếu tố khí hậu, MWC cho thấy ảnh hưởng đáng kể của RA và AAT, cho thấy hiệu suất canh tác phụ thuộc vào khí hậu trong bối cảnh BĐKH, phù hợp với nghiên cứu của Chandio và cộng sự (2021). Tuy nhiên, mở rộng diện tích canh tác có thể tác động tiêu cực đến hệ sinh thái.

Hình 4(i-k) phân tích CP-PU khi kiểm soát FC và CA, PWC cho thấy thuốc trừ sâu có tác động ngắn hạn (4–16 tháng) đến năng suất. Đảo đồ nhỏ ở tần số cao hơn (8–16 tháng) phản ánh tác động kéo dài nhưng giảm dần, gợi ý rằng hiệu quả thuốc trừ sâu không bền vững và phụ thuộc vào điều kiện đất, cây trồng, kỹ thuật canh tác. Hình 5(i-k) bổ sung FC và CA, cho thấy thuốc trừ sâu duy trì tác động trung hạn khi có sự hỗ trợ của các yếu tố khác, phù hợp với Warsame và cộng sự (2021). Hình 4(l-m) phân tích CP-FC khi kiểm soát CA và PU, PWC cho thấy phân bón là yếu tố then chốt trong tăng năng suất ngắn và trung hạn (4–16 tháng), nhưng tương quan suy giảm ở dài hạn (16–32 tháng) do tác động tiêu cực như thoái hóa đất và ô nhiễm môi trường, phù hợp với nghiên cứu của Ismael và cộng sự (2018). Hình 5(l-m) bổ sung CA và PU, cho thấy mối liên hệ này tiếp tục suy giảm trong dài hạn do ảnh hưởng của sự cạn kiệt đất và tác động môi trường.

4.6. Kết hợp vector wavelet (VWC)



Hình 6. Vector Wavelet

Kết quả phân tích (Hình 6) không có sự khác biệt đáng kể so với các chuyển động đồng thời quan sát được trong ở wavelet hai biến và PWC, MWC đã thảo luận.

Hình 6a cho thấy mối liên hệ giữa chỉ số sản xuất nông nghiệp (CP) và các yếu tố khí hậu (AAT, RA, CO₂) rõ rệt trong chu kỳ dài hạn (4–16 tháng). Giai đoạn 2000–2023 ghi nhận tương quan cao, phản ánh ảnh hưởng tức thời và mạnh mẽ của BĐKH như nhiệt độ tăng hoặc thay đổi lượng mưa đến năng suất nông nghiệp. Dù vậy, mối tương quan này suy giảm ở chu kỳ ngắn hạn (> 32 tháng), chỉ ra rằng tác động của các yếu tố khí hậu không được duy trì trong ngắn hạn. Đối với các yếu tố đầu vào nông nghiệp (CA, FC, PU), kết quả cho thấy trong chu kỳ dài hạn (4–8 tháng), mối tương quan cao trong toàn bộ giai đoạn mẫu thể hiện tác động tích cực đến năng suất. Song, từ năm 2006 trở đi, tương

quan ở chu kỳ trung hạn (16–32 tháng) suy giảm, đặc biệt khi việc sử dụng phân bón và thuốc trừ sâu không kiểm soát dẫn đến những hệ lụy tiêu cực về môi trường và năng suất.

5. Kết luận và hàm ý

Nghiên cứu khám phá sự kết nối giữa 7 chuỗi thời gian về biến đổi khí hậu và sản xuất nông nghiệp tại Việt Nam giai đoạn 2000–2023, sử dụng phương pháp tiếp cận wavelet bao gồm WTC và PWC có vai trò kiểm soát và loại bỏ ảnh hưởng của biến thứ ba, làm rõ mức độ tương quan và mối liên hệ trực tiếp theo từng chu kỳ thời gian. MWC mở rộng phân tích trong bối cảnh đa biến, xem xét đồng thời tác động yếu tố khí hậu và yếu tố đầu vào, trong khi VWC cho phép nhận diện mức độ đồng biến động tổng hợp giữa nhóm yếu tố khí hậu và sản xuất nông nghiệp theo từng chu kỳ thời gian và tần suất. Không như phân tích wavelet truyền thống tập trung vào hai biến, nghiên cứu này bổ sung phân tích tần suất thời gian đa biến. Trong khi Chandio và cộng sự (2020), Warsame và cộng sự (2021), Chandio và cộng sự (2021) cho rằng tác động của khí hậu đến sản xuất nông nghiệp ổn định và đồng nhất trong dài hạn, nghiên cứu này chỉ ra rằng mối quan hệ có xu hướng biến động theo từng giai đoạn và chu kỳ thời gian. Cụ thể, WTC và PWC cho thấy mối liên hệ giữa sản xuất nông nghiệp và các yếu tố khí hậu – đặc biệt là AAT, RA và CO₂ – không ổn định và phụ thuộc vào từng thời kỳ. Đáng chú ý, kết quả MWC cho thấy tác động đồng thời của các yếu tố khí hậu và yếu tố đầu vào chỉ rõ nét ở chu kỳ dài hạn (4–16 tháng), trái ngược với kết luận của Ahsan và cộng sự (2020) về tác động tức thời và ngắn hạn. Kết quả VWC tiếp tục khẳng định không đồng nhất của mối quan hệ này, khi ghi nhận mức tương quan cao ở chu kỳ dài hạn nhưng suy giảm rõ rệt ở chu kỳ ngắn và trung hạn (tần suất 32–64). Dựa trên phát hiện nghiên cứu, tác giả rút ra các kết luận sau: *Thứ nhất*, phân tích wavelet cho thấy mối quan hệ cả tích cực và tiêu cực tùy theo thời gian - tần suất và sự biến động mạnh của 7 chỉ số chủ yếu diễn ra trong ngắn hạn và trung hạn. Kết quả cũng chỉ ra sự gắn kết mạnh mẽ và mối quan hệ dẫn - trễ giữa các yếu tố khí hậu (RA, CO₂) và chỉ số sản xuất nông nghiệp (CP) theo thời gian và tần suất. Xu hướng tăng hoặc giảm của tổng lượng mưa (RA) và phát thải CO₂ trên đất nông nghiệp (CO₂) có tác động rõ rệt, kéo dài đến năng suất nông nghiệp. *Thứ hai*, phân tích PWC cho thấy loại bỏ chỉ số thứ ba không làm thay đổi mạnh mối tương quan giữa hai biến, đồng thời chỉ ra phần lớn các chuyển động đồng thời xảy ra trong chu kỳ dài hạn, sau đó là trung hạn. Tuy nhiên, trong ngắn hạn sự đồng chuyển động trở nên ổn định. MWC cho thấy chỉ số thứ ba ảnh hưởng đáng kể đến mối quan hệ giữa chỉ số thứ nhất và thứ hai ở mọi tần số. *Thứ ba*, nghiên cứu nhấn mạnh tính phi tuyến trong mối quan hệ giữa các yếu tố khí hậu và sản xuất nông nghiệp, với ảnh hưởng thay đổi theo từng chu kỳ thời gian - tần suất.

Từ đó, có thể đề xuất các chính sách thích ứng với tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) đến sản xuất nông nghiệp tại Việt Nam như sau: *Thứ nhất*, trong ngắn hạn, khi nhiệt độ tăng có tác động tích cực đến sản xuất nông nghiệp, việc tối ưu hóa hệ thống tưới tiêu và bổ sung dinh dưỡng kịp thời sẽ giúp nâng cao năng suất cây trồng. Ngược lại, khi nhiệt độ gia tăng gây ảnh hưởng tiêu cực, cần đẩy mạnh nghiên cứu, phát triển và ứng dụng các giống cây trồng có khả năng chịu hạn, chịu mặn thông qua hợp tác với các tổ chức khoa học, đặc biệt là Viện Nghiên cứu Lúa gạo Quốc tế (IRRI). *Thứ hai*, trong trung hạn, khi lượng mưa có tác động tích cực, cần tập trung đầu tư vào hệ thống kênh mương, hồ chứa và áp dụng công nghệ tưới tiêu tiên tiến (tưới nhỏ giọt, tưới phun mưa) nhằm tối ưu hóa việc sử dụng nước, đảm bảo nguồn cung ổn định cho sản xuất nông nghiệp. Đồng thời, do phát thải CO₂ có xu hướng tác động tiêu cực rõ rệt trong giai đoạn này, việc xây dựng chính sách kiểm soát phát

thải, thúc đẩy mô hình sản xuất carbon thấp và tham gia các quỹ quốc tế như Quỹ Khí hậu Xanh là cần thiết. *Thứ ba*, về dài hạn, khi kết quả nghiên cứu cho thấy việc lạm dụng phân bón hóa học và thuốc trừ sâu làm suy thoái chất lượng đất và ảnh hưởng tiêu cực đến năng suất nông nghiệp, cần thúc đẩy phát triển công nghệ sản xuất phân bón hữu cơ từ các nguồn chất thải sinh học (như phân động vật, phụ phẩm nông nghiệp) giúp cung cấp nguồn dinh dưỡng bền vững cho đất mà còn góp phần giảm áp lực lên tài nguyên thiên nhiên, hạn chế ô nhiễm môi trường và nâng cao hiệu quả sản xuất theo hướng bền vững.

Mặc dù đạt được kết quả đáng ghi nhận, nghiên cứu còn một số hạn chế. *Thứ nhất*, phạm vi chỉ giới hạn trong một quốc gia, cần mở rộng ra các nước khác để tăng tính tổng quát. *Thứ hai*, dữ liệu từ World Bank và FAOSTAT có thể chưa phản ánh đầy đủ thực tế tại vùng nông thôn, vùng sâu, vùng xa, do đó cần bổ sung dữ liệu địa phương chi tiết hơn. *Thứ ba*, nghiên cứu tập trung vào yếu tố khí hậu mà chưa xét đến các yếu tố kinh tế, xã hội, chính sách, vốn có ảnh hưởng lớn đến sản xuất nông nghiệp và cần được nghiên cứu thêm.

Tài liệu tham khảo

- Adams, R. M., Hurd, B. H., Lenhart, S., & Leary, N. (1998). Climate effects on agriculture: An interpretative review. *Climate Research*, 11(1), 19-30.
- Ahsan, F., Chandio, A. A., & Fang, W. (2020). Climate change impacts on cereal crops production in Pakistan: Evidence from cointegration analysis. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(2), 257-269.
- Ali, S., Liu, Y., Ishaq, M., Shah, T., Abdullah, Ilyas, A., & Din, I. U. (2017). Climate change and its impact on the yield of major food crops: Evidence from Pakistan. *Foods*, 6(6), 39.
- Amponsah, L., Kofi Hoggar, G., & Yeboah Asuamah, S. (2015). *Climate change and agriculture: Modelling the impact of carbon dioxide emission on cereal yield in Ghana* (MPRA Paper No. 68051). Retrived from <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/68051/>
- Anh, D. L. T., Anh, N. T., & Chandio, A. A. (2023). Climate change and its impacts on Vietnam agriculture: A macroeconomic perspective. *Ecological Informatics*, 74, 101960.
- Chandio, A. A., Jiang, Y., Ahmad, F., Adhikari, S., & Ain, Q. U. (2021). Assessing the impacts of climatic and technological factors on rice production: Empirical evidence from Nepal. *Technology in Society*, 66, 101607.
- Chandio, A. A., Jiang, Y., Rehman, A., & Rauf, A. (2020). Short and long-run impacts of climate change on agriculture: An empirical evidence from China. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(2), 201-221.
- Chandio, A. A., Zhang, H., Akram, W., Sethi, N., & Ahmad, F. (2024). Climate change and crop production nexus: Assessing the role of technological development for sustainable agriculture in Vietnam. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 16(2), 177-200.
- Do, V. Q., Phung, M. L., Truong, D. T., Pham, T. T. T., Dang, V. T., & Nguyen, T. K. (2021). The impact of extreme events and climate change on agricultural and fishery enterprises in central Vietnam. *Sustainability*, 13(13), 7121.

- Dumrul, Y., & Kilicarslan, Z. (2017). Economic impacts of climate change on agriculture: Empirical evidence from ARDL approach for Turkey. *Journal of Business Economics and Finance*, 6(4), 336-347.
- Hung, N. T. (2024). Remittance, renewable energy, and CO2 emissions: A Vietnamese illustration. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(1), 2096-2120.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007a). Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, & C.E. Hanson (Eds.), *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007b). Climate change 2007: The physical science basis. In Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, & H.L. Miller (eds.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Ismael, M., Srouji, F., & Boutabba, M. A. (2018). Agricultural technologies and carbon emissions: Evidence from Jordanian economy. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 10867-10877.
- Janjua, P. Z., Samad, G., & Khan, N. (2014). Climate change and wheat production in Pakistan: An autoregressive distributed lag approach. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 68, 13-19.
- Kumar, P., Sahu, N. C., Kumar, S., & Ansari, M. A. (2021). Impact of climate change on cereal production: Evidence from lower-middle-income countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(37), 51597-51611.
- Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2(1), 014002.
- Loum, A., & Fogarassy, C. (2015). The effects of climate change on cereals yield of production and food security in Gambia. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce (APSTRACT)*, 9(4), 83-92. <https://doi.org/10.19041/APSTRACT/2015/4/11>
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W. D., & Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *The American Economic Review*, 84(4), 753-771.
- NASA. (2020). *Global land-ocean temperature index*. Retrieved from <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- Nunti, C., Somboon, K., Intapan, C. (2020). The impact of climate change on agriculture sector in ASEAN. *Journal of Physics*, 1651, 012026.
- Onour, I. A. (2019). Effect of carbon dioxide concentration on cereal yield in Sudan. *Management and Economics Research Journal*, 5(S3). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3840016>
- Porter, M. E. (2011). *Competitive Advantage of Nations: Creating and Sustaining Superior Performance*. NY: Free Press.
- Praveen, B., & Sharma, P. (2020). Climate change and its impacts on Indian agriculture: An econometric analysis. *Journal of Public Affairs*, 20(1), e1972.
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 282-292.

- Torrence, C., & Webster, P. J. (1999). Interdecadal changes in the ENSO – Monsoon system. *Journal of Climate*, 12(8), 2679-2690.
- UN 2021 Food Systems Summit. (2021). *Second National Dialogue toward the UN 2021 Food Systems Summit*. The Second National Dialogue: Viet Nam Food Systems: Transparency - Responsibility – Sustainability, Hanoi, 16 July 2021. <https://summitdialogues.org/dialogue/35195/>
- UNCTAD. (2015). Agricultural productivity: Developments, determinants and impacts. In *The Least Developed Countries Report 2015* (pp. 39-75). <https://doi.org/10.18356/d8cfcf9c-en>
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. (2012). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37, 195-222.
- Warsame, A. A., Sheik-Ali, I. A., Ali, A. O., Sarkodie, S. A. (2021). Climate change and crop production nexus in Somalia: Empirical evidence from ARDL technique. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 19838-19850.
- Wheeler, T., & von Braun, J. (2013). Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508-513.