

ĐÁNH GIÁ XU THẾ HẠN KHÍ TƯỢNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP IPTA VÀ CHỈ SỐ SPEI: ỨNG DỤNG CHO TỈNH TRÀ VINH

ASSESSING METEOROLOGICAL DROUGHT TRENDS USING THE IPTA METHOD AND SPEI: APPLICATION TO TRA VINH PROVINCE

Hồ Văn Hòa¹, Trần Thị Kim², Lê Văn Thịnh³, Nguyễn Thị Bầy^{4,5*}

¹*Viện Môi Trường và Tài Nguyên, Đại học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

²*Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc Gia Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

³*Trung tâm Thủy Nông và Cấp nước, Viện khoa học Thủy lợi Miền Nam, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

⁴*Viện Ứng dụng công nghệ và Phát triển bền vững, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

⁵*Trung tâm Phát triển Công nghệ cao, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: ntbay@ntt.edu.vn

(Nhận bài / Received: 08/3/2025; Sửa bài / Revised: 09/6/2025; Chấp nhận đăng / Accepted: 11/6/2025)

DOI: 10.31130/ud-jst.2025.23(7).128

Tóm tắt - Nghiên cứu tập trung vào việc đánh giá xu thế biến động hạn hán theo chỉ số chuẩn hóa mưa - bốc hơi (SPEI) 1 tháng (hạn khí tượng) bằng việc sử dụng phương pháp xu thế đa giác cải tiến (IPTA). Khu vực áp dụng tính toán điển hình là trạm Càng Long, khu vực tỉnh Trà Vinh. Kết quả cho thấy, biến đổi khí hậu làm gia tăng xu thế hạn hán ở tháng 2 và 4 ở giai đoạn 1985-2022. Đáng chú ý, mức độ hạn hán cực trị trong các tháng này đã chuyển từ mức hạn vừa (giai đoạn 1985-2004) sang mức hạn nặng trong giai đoạn 2005 đến 2022). Kết quả từ nghiên cứu nhằm cung cấp cơ sở khoa học giúp các nhà quản lý và chuyên gia trong việc đánh giá xu thế hạn phục vụ cho việc đề xuất giải pháp tăng cường nguồn nước tưới trong các tháng khô hạn Cho khu vực nghiên cứu điển hình, kết quả này còn phục vụ cho việc điều chỉnh cơ cấu sản xuất nông nghiệp phù hợp với xu thế hạn hán trong tương lai cho tỉnh Trà Vinh.

Từ khóa - Hạn hán; SPEI; xu thế đa giác cải tiến (IPTA); mưa - bốc hơi; Trà Vinh

1. Đặt vấn đề

Trong hơn 30 năm qua, các yếu tố khí hậu đã có sự thay đổi rõ rệt, dẫn đến những tác động nghiêm trọng đến tài nguyên nước và sản xuất nông nghiệp của Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Diễn hình gần đây, tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) và hiện tượng ENSO (El Niño-Southern Oscillation) đã gây các đợt hạn hán nghiêm trọng các năm 2015-2016, 2019-2020 với lượng mưa suy giảm và nhiệt độ gia tăng [1-2]. Trà Vinh là một trong những tỉnh ven biển của ĐBSCL chịu ảnh hưởng nặng nề nhất với các đợt hạn hán kéo dài trên diện rộng gây ra thiệt hại đối với ra nông nghiệp và thủy sản ở tỉnh [3-4].

BĐKH sự thay đổi trong trạng thái của hệ thống khí hậu, có thể nhận biết thông qua sự thay đổi về giá trị trung bình và biến động của các thuộc tính, duy trì trong một khoảng

Abstract - This study aims to evaluate drought trends based on the 1-month Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) using the Improved Polygon Trend Analysis (IPTA) method. The selected study area for this analysis is the Cang Long meteorological station in Tra Vinh province. The results indicate that climate change has intensified drought trends in February and April during the period 1985–2022. Notably, the severity of extreme drought in these months has shifted from moderate drought (1985–2004) to severe drought in the more recent period (2005–2022). These research findings provide a scientific basis to support policymakers and experts in assessing drought trends and proposing solutions to enhance irrigation water resources during dry months—a period that coincides with saltwater intrusion. For the case study area, these results also serve as a reference for adjusting.

Key words - Drought; SPEI; Improved Polygon Trend Analysis (IPTA); precipitation-evapotranspiration; Tra Vinh

thời gian đủ dài, thường là hàng thập kỷ hoặc lâu hơn [5]. Thông thường, BĐKH được phân biệt thông qua sự thay đổi trong các mô hình kéo dài và toàn diện của các biến số nhiệt độ và lượng mưa, đi kèm theo sự thay đổi trong các thành phần khác của hệ thống khí hậu [6], [7]. Sự tăng nhiệt độ được cho là đã tác động trực tiếp đến diện rộng và nhanh trong khí quyển, đại dương, tuyết băng và sinh quyển, dẫn đến các sự kiện thời tiết và khí hậu cực đoan trên tất cả các khu vực của thế giới [8-10]. Tình hình này đã gây ra tác động tiêu cực rộng rãi đối với cả dân số và môi trường, cũng như các thiệt hại và tổn thất liên quan đến các hoạt động sản xuất, đặc biệt là ở những khu vực có độ nhạy cảm cao với BĐKH, trong đó có Trà Vinh [11–14].

Việc đánh giá xu thế hạn hán là một trong những nội dung quan trọng nhằm đưa ra các giải pháp thích ứng và

¹ Institute of Environment and Natural Resources, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam (Ho Van Hoa)

² University of Science, Vietnam National University, Ho Chi Minh City, Vietnam (Tran Thi Kim)

³ Water supply, irrigation and drainage research enter Southern Institute of Water Resources Research, Ho Chi Minh City, Vietnam (Le Van Thinh)

⁴ Institute of Applied Technology and Sustainable Development, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam (Nguyen Thi Bay)

⁵ Center for Hi-Tech Development, Nguyen Tat Thanh University, Ho Chi Minh City, Vietnam (Nguyen Thi Bay)

giảm thiểu tác động của BĐKH. Để đánh giá sự biến động của yếu tố hạn hán như hạn khí tượng các nhà nghiên cứu thường dựa vào các phương pháp phân tích xu thế và chỉ số chuẩn hóa mưa SPI hoặc chỉ số chuẩn hóa mưa và bốc hơi SPEI [15]. Các phương pháp thống kê xu thế đơn giản đã được thiết lập từ rất sớm, như phương pháp hồi quy tuyến tính, phương pháp kiểm định phi tham số Mann-Kendall (MK) và độ dốc Sen,... Hồi quy tuyến tính là một trong những phương pháp phổ biến nhất để phân tích xu thế tuyến tính, nhưng nó có chỉ xác định phù hợp để phân tích cho một chuỗi dữ liệu biến động theo một xu thế đồng điệu (hoặc tăng giảm rõ ràng) [15–18]. Năm 2012 và 2017, Sen [19–20] đã đề xuất một phương pháp phân tích xu thế là “phân tích xu thế cải tiến Sen (ITA)” để đánh giá xu thế các yếu tố TNN: vẽ biểu đồ tương quan các chuỗi dữ liệu con của chuỗi dữ liệu gốc lên hệ tọa độ Descartes, chia mặt phẳng tọa độ thành hai phần bởi đường 45° (1:1), đường này đại diện cho một chuỗi dữ liệu không có xu thế, nếu các điểm nằm phía trên đường này thì đại diện cho xu thế tăng của chuỗi dữ liệu và ngược lại. Thêm nữa, gần đây Sen *et al.* [22] đã nâng cấp việc phân tích xu thế biến động của yếu tố tài nguyên nước, khí tượng,... theo hai thời kỳ, mỗi thời kỳ là một chuỗi dữ liệu “chuẩn” từng tháng (hoặc mùa) và xác định xu thế biến động của từng yếu tố từ tháng (hoặc mùa) này qua tháng (hoặc mùa) khác. Phương pháp được gọi là “phương pháp phân tích xu thế đa giác cải tiến mới (IPTA)” và đang được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu [22–24]. Sen *et al.* đã áp dụng phương pháp IPTA để đánh giá xu thế cho dữ liệu trung bình và phương sai lượng mưa và dòng chảy hàng tháng của các trạm quan trắc tại nhiều khu vực trên thế giới [22]. Thêm nữa, Akçay *et al.* đã sử dụng phương pháp IPTA để đánh giá biến động xu thế dữ liệu trung bình và phương sai lượng mưa và dòng chảy hàng tháng dưới ảnh hưởng của BĐKH, thay đổi sử dụng đất và phát triển của hồ chứa ở Turkey [26].

Đối với hạn ở ĐBSCL, nghiên cứu của [27] cho thấy, trong giai đoạn 1981–2016, khu vực hạ lưu sông Mekong đã trải qua bốn đợt hạn nghiêm trọng, trong đó giai đoạn 1991–1994 kéo dài tới 38 tháng. Đợt hạn hán năm 2015–2016 là cực đoạn nhất, với diện tích bị ảnh hưởng lên đến 75,6%. Các khu vực phía Bắc và Nam hạ lưu Mekong là những vùng bị tác động mạnh nhất, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến sản xuất nông nghiệp và đời sống người dân. Tương tự, nghiên cứu của [28] cho thấy các đợt hạn hán năm 2005 và 2010 đã làm giảm đáng kể năng suất cây trồng. Gần đây nhất, hạn hán 2019–2020 cũng được ghi nhận là một trong những đợt cực hạn nghiêm trọng nhất, ảnh hưởng đến 12% diện tích lưu vực Mekong [27–28], trong các nghiên cứu này các tác giả đã sử dụng chỉ số chuẩn hóa mưa và bốc hơi SPEI để đánh giá phạm vi và mức độ hạn hán ở lưu vực này. SPEI có thể được tính theo thang đo tháng như 1 tháng hoặc 3, 6, và 12 tháng. Theo phân loại thì chỉ số SPEI-1 (tháng 1 tháng) đặt trung cho hạn khí tượng thường ảnh hưởng đến độ ẩm bề mặt và cây trồng, SPEI-3 đặt trung cho hạn nông nghiệp, SPEI-6 và SPEI-12 là đặt trung cho hạn thủy văn và nguồn tài nguyên nước [31]

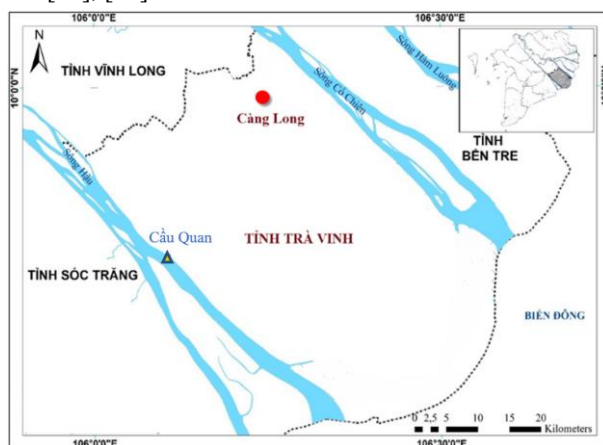
Mặc dù, có nhiều nghiên cứu về xu thế hạn hán trên thế giới và khu vực, việc ứng dụng các phương pháp đánh giá xu thế tiên tiến như IPTA kết hợp với chỉ số chuẩn hóa

lượng mưa - bốc hơi (SPEI) trong đánh giá hạn hán vẫn chưa được nghiên cứu chi tiết tại ĐBSCL cũng như tỉnh Trà Vinh. Theo đó, nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá xu thế biến động hạn hán theo chỉ số chuẩn hóa mưa - bốc hơi (SPEI) thang 1 tháng (SPEI-1) (hạn khí tượng) bằng việc sử dụng phương pháp xu thế đa giác cải tiến (IPTA). Khu vực áp dụng tính toán điển hình là trạm Càng Long, tỉnh Trà Vinh. Việc phân tích xu thế hạn hán dựa trên dữ liệu khí tượng thủy văn và phân tích mối liên quan hạn hán với BĐKH, El-Nino và liên quan đến xâm nhập mặn (XNM) ở tỉnh Trà Vinh, kết hợp các phương pháp hiện đại, sẽ giúp cung cấp cơ sở khoa học cho việc điều chỉnh mùa vụ và xây dựng các giải pháp thích ứng với BĐKH trong sản xuất nông nghiệp.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

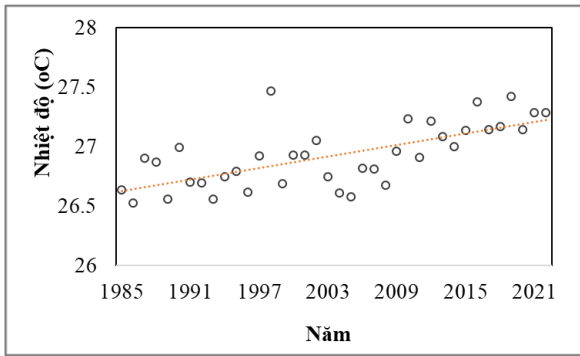
2.1. Khu vực nghiên cứu

Tỉnh Trà Vinh là một tỉnh duyên hải Trà Vinh, có diện tích tự nhiên 2,391 km², trong đó 77,4% là đất nông nghiệp, với dân số khoảng 1.019.258 người, trong đó 80% làm nghề nông và 31,53% là dân tộc Khmer, tập trung nhiều ở các huyện Trà Cú, Châu Thành, Cầu Ngang, Tiểu Cần, Cầu Kè (theo niên giám thống kê tỉnh Trà Vinh 2023). Tỉnh có vị trí tiếp giáp như sau: phía Đông tiếp giáp biển Đông, phía Tây giáp tỉnh Vĩnh Long, phía Nam giáp tỉnh Sóc Trăng, phía Bắc giáp tỉnh Bến Tre và có 65 km bờ biển. Khu vực nghiên cứu được bao bọc bởi hai nhánh sông Tiền và sông Hậu với hai cửa Cung Hầu và Định An nên giao thông đường thủy khá phát triển. Hạn hán ngày càng xảy ra thường xuyên và kéo dài hơn ở các khu vực có địa hình cao ở Trà Vinh, trong khi vùng trũng thì thường xuyên ngập do mưa và triều cường [12]. Vào mùa khô, khu vực này thường xuyên bị XNM và còn bị thiếu nước ngọt, đặt biệt những năm cực hạn như 2015–2016 và 2019–2020 đã gây ra thiệt hại nghiêm trọng cho ngành nông nghiệp của tỉnh [32], [33].



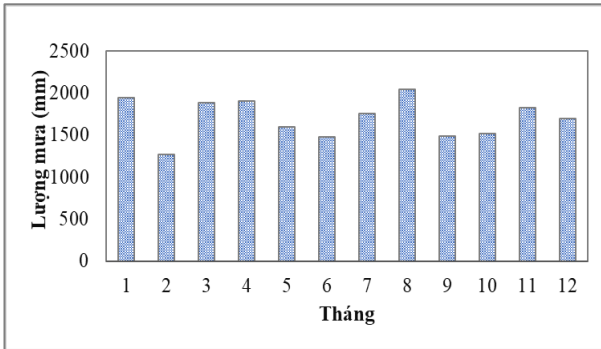
Hình 1. Bản đồ ranh giới tỉnh Trà Vinh, vị trí trạm khí tượng Càng Long và trạm đo mặn Cầu Quan

Về nhiệt độ, nhiệt độ tại trung bình ở Trà Vinh khoảng 26,9°C và có xu thế tăng lên 0,02°C/năm trong thời gian vừa qua. Dữ liệu thống kê cho thấy, nhiệt độ trung bình năm có xu hướng tăng, tăng từ 26,7°C trong giai đoạn 1985–1999 đến 27,1°C (trong giai đoạn 2000–2022). Năm 1998 và 2020 ghi nhận nhiệt độ trung bình cao nhất khoảng 28,1°C (Hình 2).



Hình 2. Xu thế nhiệt độ trung bình trạm Càng Long, Trà Vinh giai đoạn năm 1985-2022

Về xu thế mưa, khu vực nghiên cứu có mùa mưa bắt đầu từ tháng 5 đến tháng 11 với lượng mưa chiếm 85% tổng lượng cả năm, đỉnh mưa thường rơi vào tháng 10. Mùa khô bắt đầu từ tháng 12 đến tháng 4 với lượng mưa khoảng 15% tổng lượng cả năm, thời điểm hạn nhất có thể rơi vào tháng 1, 2, 3, 4 với lượng mưa trung bình giao động 4mm-50mm. Trong giai đoạn 1985-2022, lượng mưa trung bình năm dao động từ 950mm đến 2050mm (Hình 3).



Hình 3. Lượng mưa trung bình tại trạm Càng Long giai đoạn năm 1985-2022

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp thu thập, kế thừa và xử lý số liệu

Dữ liệu nhiệt độ và lượng mưa giai đoạn 1985-2022 tại trạm Càng Long, Trà Vinh (Hình 1), là trạm khí tượng quốc gia duy nhất của tỉnh có quan sát chuỗi dữ liệu dài hơn 30 năm và thường được sử dụng đại diện để đánh giá các đặt trưng khí hậu của tỉnh này trong các báo cáo BĐKH của bộ Tài nguyên Môi Trường [34]. Dữ liệu này được thu thập từ Đài khí tượng thủy văn khu vực Nam Bộ theo ngày, được chuyển qua tháng bằng công cụ Excel. Dữ liệu về chỉ số biến đổi nhiệt độ bề mặt biển ở khu vực Niño 3.4 (Oceanic Niño Index - ONI) và các đợt ENSO ở Thái Bình Dương theo tháng trong giai đoạn 1985-2022 được thu thập từ Cục Quản lý dữ liệu khí quyển và đại dương Quốc gia, Hoa Kỳ (NOAA) [35]. Cuối cùng, dữ liệu mặn lớn nhất giai đoạn 1991-2023 trạm Cầu Quan (Hình 1) được thu thập từ Bình et al. [36] và Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam [37]

2.2.2. Phương pháp đánh giá hạn hán khí tượng bằng chỉ số chuẩn hóa mưa - bốc hơi (SPEI)

Để tính toán SPEI, trước tiên sẽ tính toán chuỗi thời gian hàng tháng của (P-PET) tại trạm nghiên cứu với các khoảng trung bình 1 tháng khác nhau theo công thức (1):

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

Trong đó, P_i : lượng mưa tháng thứ i ; PET_i : lượng bốc hơi tháng thứ i .

Hàm phân bố xác suất D_i tính theo công thức (1) được lựa chọn phù hợp với phân bố Log-logistic (LL2) và được chuẩn hóa theo cách như SPI và SRI [15]. Dạng phân bố của hàm số xác suất theo công thức (2).

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (2)$$

Trong đó, x là biến đầu vào trong trường hợp này là D_i ; α : tham số tỉ lệ; β : tham số hình dạng; γ : tham số vị trí dịch chuyển của phân phối trên trục x .

Trong nghiên cứu này nhằm muốn đánh giá sự biến động hạn khí tượng ở mỗi tháng dưới tác động của BĐKH và ENSO nên chỉ số SPEI 1 là phù hợp nhất để sử dụng trong nghiên cứu này đánh giá biến động khô hạn từng tháng ở tỉnh Trà Vinh.

Sau khi tính chỉ số SPEI, tình trạng hạn hán sẽ được phân loại được dựa trên hệ thống phân loại của Thomas et al. [38], được trình bày trong Bảng 1. Hạn hán xảy ra theo SPEI, bắt đầu khi giá trị SPEI bằng hoặc dưới -1,0 và không bị hạn khi giá trị này >-1,0. Giá trị SPEI thường phân bố từ 3 (>2 rất âm) đến -3 (<-2: rất cực hạn) [15], [39]. Trong nghiên cứu này, SPEI được tính toán với gói thư viện "SPEI" trong phần mềm R. Tập tin đầu vào có thể ở dạng text (.txt), excel (.csv) sau đó được đọc.

Bảng 1. Phân cấp hạn hán khí tượng theo SPI/SPEI [38], [40]

Giá trị SPEI	Phân loại	Giá trị SPEI	Phân loại
+ 2,0	Cực kỳ âm	-1,0 đến -1,49	Hạn vừa
1,5 đến 1,99	Rất âm	-1,5 đến -1,99	Hạn nặng
1,0 đến 1,49	Âm vừa	-2,0 và thấp hơn	Hạn cực nặng
-0,99 đến 0,99	Bình thường		

2.2.3. Phương pháp phân tích xu thế đa giác cải tiến (IPTA)

Các bước tính toán của phương pháp xu thế đa giác cải tiến (IPTA) như sau:

Khi một chuỗi thời gian khí tượng tháng được xem xét là " $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ", chuỗi này có thể được sắp xếp thành một ma trận tháng như công thức (3).

$$\begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,12} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & & x_{2,12} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n/2,1} & x_{n/2,2} & \dots & x_{n/2,12} \\ \dots & \dots & & \dots \\ x_{n,1} & x_{n,2} & \dots & x_{n,12} \end{bmatrix} \begin{matrix} \uparrow \\ \downarrow \end{matrix} \quad (3)$$

Có thể xem xét ma trận trên thành hai nửa (nửa đầu và nửa sau). Trong đó, có giá trị trung bình (tối thiểu, tối đa hoặc độ lệch chuẩn của biến đánh giá) của mỗi nửa ma trận.

Trong biểu đồ phân tán, giá trị trung bình của nửa đầu của chuỗi hàng tháng được đánh dấu trên trục hoành và giá trị trung bình của nửa sau của chuỗi được đánh dấu trên trục tung. Điều này sẽ tạo ra 12 điểm phân tán (tượng trưng cho 12 tháng của năm).

Một đa giác được tạo ra khi các đoạn thẳng nối các điểm biểu thị cho các tháng liên tiếp.

Trong phương pháp IPTA, chỉ số ý nghĩa thống kê có thể được tính bằng phần trăm sai số tương đối (α) giữa hai

nửa chuỗi [41] như công thức (4):

$$\alpha = 100 \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\bar{x}_2} \quad (4)$$

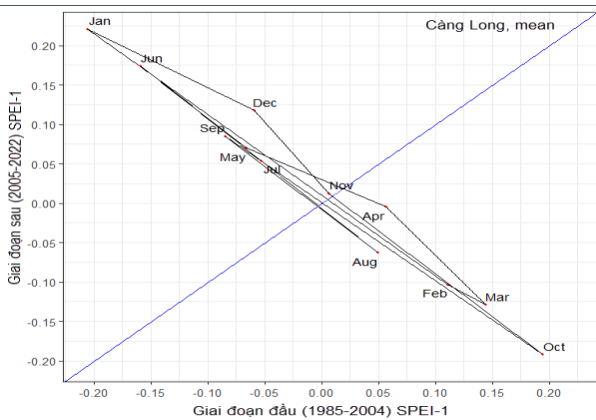
Khi $\alpha < \pm 5\%$ thì không có xu thế tồn tại trong chuỗi thời gian [41].

Trong nghiên cứu này, công cụ đánh giá xu thế IPTA được chạy trên ngôn ngữ R, mã nguồn tính toán được tham khảo từ Yıldız và cộng sự [42] được sử dụng để phân tích dữ liệu trong các giai đoạn, bởi vì điểm mạnh của phương pháp này cho kết quả xu thế hạn khí tượng theo tháng của trong chu trình năm mà theo tổng quan trên các nghiên cứu trước chưa nghiên cứu đến

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân tích xu thế hạn hán trung bình ở các tháng

Kết quả nghiên cứu Bảng 2 và Hình 4 cho thấy, các giá trị SPEI-1_{mean} là xu thế giảm (-) vào tháng 2, 3, 4, 8 và tháng 10, trong đó chỉ số SPEI-1_{mean} tháng 10 giảm nhiều nhất (SPEI-1_{mean} = 0,19 ở giai đoạn 1985-2004, xuống còn SPEI-1_{mean} = -1,92 (-200%) đều này nghĩa là các tháng này có xu thế giai tăng hạn khí tượng trong giai đoạn 1985-2022 (theo Bảng 1 chỉ số SPEI càng giảm về âm đồng nghĩa càng gia tăng hạn khí tượng). Trong khi đó, các chỉ số SPEI-1_{mean} vào các tháng 1, 5, 6, 7, 9 và 12 là có xu thế gia tăng (+) trong giai đoạn 1985-2022, trong đó tăng nhiều nhất tháng 1 có chỉ số SPEI-1_{mean} = -0,21 ở giai đoạn 1985-2004, lên SPEI-1_{mean} = 0,22 (+208%) (theo Bảng 1 chỉ số SPEI càng tăng về dương đồng nghĩa càng giảm hạn khí tượng). Riêng tháng 11, xu thế biến động hạn khí tượng trong giai đoạn 1985-2022 không biến động đáng kể (Bảng 2 và Hình 4).



Hình 4. Xu thế SPEI-1_{mean} (trung bình) trạm Càng Long, Trà Vinh giai đoạn 1985-2022

Bảng 2. Kết quả thống kê giá trị SPEI-1_{mean} (trung bình) và xu thế các tháng ở trạm Càng Long, Trà Vinh theo phương pháp IPTA cho giai đoạn 1985-2022

TT	SPEI-1 _{mean} Giai đoạn (1985-2004)	SPEI-1 _{mean} Giai đoạn (2005-2022)	Xu thế chỉ số SPEI-1 _{mean}	Xu thế hạn hán trung bình
T1	-0,21	0,22	+	Giảm hạn
T2	0,11	-0,10	-	Tăng hạn
T3	0,14	-0,13	-	Tăng hạn
T4	0,06	0,01	-	Tăng hạn
T5	-0,07	0,07	+	Giảm hạn
T6	-0,16	0,17	+	Giảm hạn

T7	-0,05	0,05	+	Giảm hạn
T8	0,05	-0,06	-	Tăng hạn
T9	-0,08	0,09	+	Giảm hạn
T10	0,19	-0,19	-	Tăng hạn
T11	0,01	0,01	0	0
T12	-0,06	0,12	+	Giảm hạn

Chú thích: (0): Không xu thế ($\alpha < \pm 5\%$); (+): Xu thế tăng (giảm hạn khi tượng); (-): Xu thế giảm (tăng hạn khi tượng); T: tháng

Kết quả Bảng 2 tính theo IPTA phân tích chỉ số SPEI-1_{mean} trung bình giữa hai giai đoạn (1985-2004 và 2005-2022) ở các trạm Trà Vinh đã minh chứng được sự tác động của BĐKH đã lên biến động (tăng/giảm) xu thế hạn khí tượng so với giá trị trung bình trong thời gian dài hơn 35 năm. Kết quả phân tích cho thấy, các tháng mùa khô điển hình như từ tháng 2 đến tháng 4 có xu thế khô hạn hơn điều này sẽ gây ra xu thế thiếu TNN ở vùng này vào mùa khô.

3.2. Phân tích xu thế hạn hán cực trị ở các tháng

Sự biến đổi của các đợt cực hạn ở Trà Vinh thông qua chỉ số cực trị hạn khí tượng SPEI-1_{min} cho thấy giá trị SPEI cực trị này có sự biến đổi đáng kể giữa hai giai đoạn 1985-2004 và 2005-2022 (Bảng 3 và Hình 5). Cụ thể, trong tháng 1, hạn cực trị giảm từ mức hạn cực nặng (SPEI-1_{min} = -2,27) ở giai đoạn 1985-2004, xuống mức hạn vừa (SPEI-1_{min} = -1,29). Tháng 2 ghi nhận có xu thế gia tăng nhẹ của hạn cực trị, giai đoạn 1985-2004 là hạn nặng (SPEI-1_{min} = -1,56), lên mức hạn nặng hơn (SPEI-1_{min} = -1,73) ở giai đoạn 2005-2022. Trong tháng 3, hạn cực nặng (SPEI-1_{min} = -2,69) có xu hướng giảm nhẹ nhưng vẫn duy trì ở mức hạn cực nặng (SPEI-1_{min} = -2,20). Ngược lại, tháng 4 ghi nhận sự gia tăng mạnh từ hạn vừa (SPEI-1_{min} = -1,31) ở giai đoạn 1985-2004 lên hạn nặng (SPEI-1_{min} = -1,73) ở giai đoạn 2005-2022.

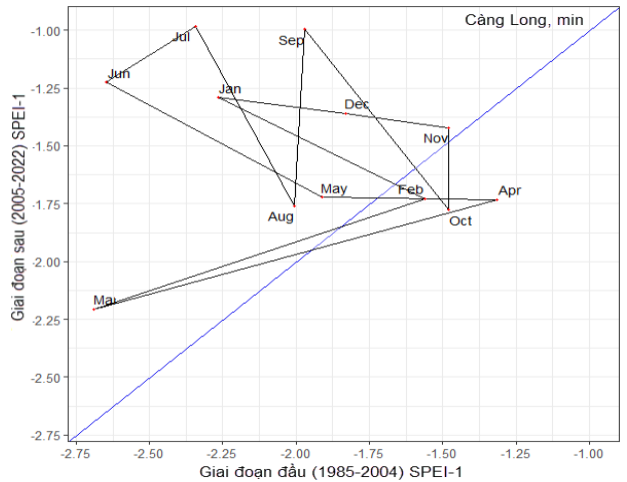
Tháng 5 cho thấy, hạn cực trị giảm nhẹ nhưng vẫn duy trì ở mức hạn nặng, từ SPEI-1_{min} = -1,91 ở giai đoạn 1985-2004, xuống SPEI-1_{min} = -1,72 ở giai đoạn 2005-2022. Đáng chú ý, tháng 6 và tháng 7 đều ghi nhận sự suy giảm đáng kể của hạn cực trị từ hạn cực nặng xuống hạn vừa và không hạn, với SPEI-1_{min} giảm từ -2,65 ở giai đoạn 1985-2004 xuống -1,23 ở giai đoạn 2005-2022 trong tháng 6 và từ -2,35 xuống -0,98 trong tháng 7. Tương tự, tháng 8 có sự giảm nhẹ từ hạn cực nặng (SPEI-1_{min} = -2,01) ở giai đoạn 1985-2004 xuống hạn nặng (SPEI-1_{min} = -1,75) ở giai đoạn 2005-2022, trong khi tháng 9 ghi nhận sự suy giảm mạnh từ hạn nặng (SPEI-1_{min} = -1,97) ở giai đoạn 1985-2004 xuống hạn vừa (SPEI-1_{min} = -1,00) ở giai đoạn 2005-2022.

Đối với các tháng cuối năm, tháng 10 cho thấy, sự gia tăng nhẹ của hạn cực trị từ hạn vừa (SPEI-1_{min} = -1,48) ở giai đoạn 1985-2004 lên hạn nặng (SPEI-1_{min} = -1,78) ở giai đoạn 2005-2022. Trong khi đó, tháng 11 không có sự thay đổi đáng kể, duy trì ở mức hạn vừa với SPEI gần như không đổi (-1,48 so với -1,42). Cuối cùng, tháng 12 ghi nhận sự giảm sút từ hạn nặng (SPEI-1_{min} = -1,80) ở giai đoạn 1985-2004 xuống hạn vừa (SPEI-1_{min} = -1,36) ở giai đoạn 2005-2022. Nhìn chung, xu hướng biến đổi hạn cực trị ở Trà Vinh cho thấy sự dao động đáng kể giữa các tháng, đáng chú ý là vào các tháng mùa khô như tháng 2 và tháng 4, có các đợt hạn cực trị có xu thế xảy ra nghiêm trọng hơn là chuyển từ hạn vừa ở giai đoạn 1985-2004 sang hạn nặng ở giai đoạn 2005-2022 (Bảng 3).

Bảng 3. Kết quả thống kê giá trị SPEI-1_{min} (nhỏ nhất) và xu thế các tháng ở trạm Càng Long, Trà Vinh theo phương pháp IPTA cho giai đoạn 1985-2022

TT	SPEI-1 _{min} Giai đoạn (1985-2004)	SPEI-1 _{min} Giai đoạn (2005-2022)	Xu thế chỉ số SPEI-1 _{min}	Xu thế hạn hán cực trị
T1	-2,27 (Hạn cực nặng)	-1,29 (Hạn vừa)	+	Giảm hạn
T2	-1,56 (Hạn nặng)	-1,73 (Hạn nặng)	-	Tăng hạn
T3	-2,69 (Hạn cực nặng)	-2,21 (Hạn cực nặng)	+	Giảm hạn
T4	-1,31 (Hạn vừa)	-1,73 (Hạn nặng)	-	Tăng hạn
T5	-1,91 (Hạn nặng)	-1,72 (Hạn nặng)	+	Giảm hạn
T6	-2,65 (Hạn cực nặng)	-1,23 (Hạn vừa)	+	Giảm hạn
T7	-2,34 (Hạn cực nặng)	-0,98 (Bình thường)	+	Giảm hạn
T8	-2,00 (Hạn cực nặng)	-1,76 (Hạn nặng)	+	Giảm hạn
T9	-1,97 (Hạn nặng)	-1,00 (Hạn vừa)	+	Giảm hạn
T10	-1,48 (Hạn vừa)	-1,78 (Hạn nặng)	-	Tăng hạn
T11	-1,48 (Hạn vừa)	-1,42 (Hạn vừa)	+	Giảm hạn
T12	-1,83 (Hạn nặng)	-1,36 (Hạn vừa)	+	Giảm hạn

Chú thích: (0): Không xu thế ($\alpha < \pm 5\%$); (+): Xu thế tăng (giảm hạn khí tượng); (-): Xu thế giảm (tăng hạn khí tượng); T: tháng



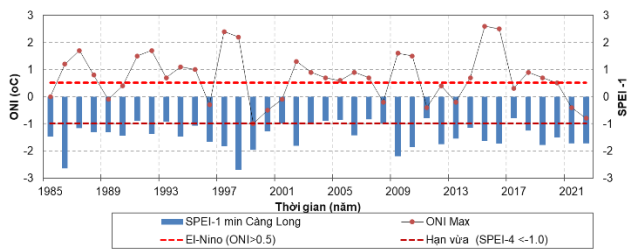
Hình 5. Xu thế SPEI-1_{min} (nhỏ nhất) tại trạm Càng Long, Trà Vinh giai đoạn 1985-2022

Kết quả phân tích ở 3.1 và 3.2 chứng tỏ rằng trong tỉnh Trà Vinh đang có xu thế gia tăng khô hanh (hạn hán) vào mùa khô.

3.3. Phân tích mối tương quan giữa hạn khí tượng cực trị và chỉ số nhiệt độ bề mặt đại dương (ONI)

Kết quả tính toán thay đổi giá trị SPEI-1_{min} của trạm khí tượng Càng Long, Trà Vinh và giá trị ONI lớn nhất mùa khô cho chuỗi thời gian 1985-2022 cho thấy các giai đoạn ENSO, đặc biệt là những năm xảy ra El Niño (ONI > 0,5), có sự tương

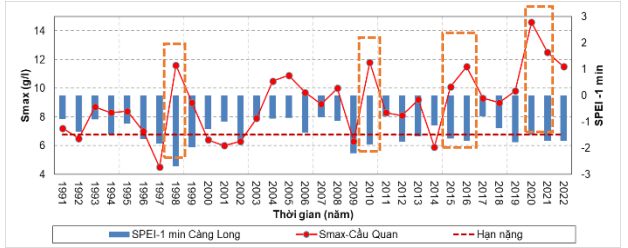
quan chặt chẽ với các đợt hạn vừa và hạn nặng tại Trà Vinh. Cụ thể, trong giai đoạn 1986-1987, khi El Niño hoạt động mạnh với giá trị ONI dao động từ 1,2 đến 1,7, hạn khí tượng tại Trà Vinh cũng nghiêm trọng, với SPEI-1_{min} giảm xuống mức hạn vừa đến hạn cực nặng (-1,39 đến -2,64).



Hình 6. Diễn biến chỉ số SPEI-1_{min} của trạm Càng Long, Trà Vinh và chỉ số ONI_{max} giai đoạn 1985-2022

Điều này cho thấy tác động rõ rệt của El Niño đến sự gia tăng mức độ hạn hán trong khu vực. Các năm 1998, 2003, 2010, 2016 và 2019-2020 cũng có ONI lớn hơn 0,5, trong những năm này, kết quả tính toán cũng ghi nhận các đợt hạn vừa (SPEI-1_{min} < -1,0) và hạn nặng (SPEI-1_{min} < -2,0). Kết quả phân tích đã cho thấy, biến động hạn khí tượng tại Trà Vinh có liên quan chặt chẽ với các hiện tượng ENSO, cái mà làm nhiệt độ nền cao, thiếu mưa dẫn tới khô hanh.

3.4. Phân tích mối tương quan giữa hạn khí tượng cực trị và độ mặn lớn nhất khu vực Trà Vinh



Hình 7. Diễn biến chỉ số SPEI-1_{min} của trạm Càng Long, Trà Vinh và độ mặn lớn nhất trạm Cầu Quan, Trà Vinh giai đoạn 1991-2022

Trong phần này nghiên cứu tiến hành đánh giá mối tương quan giữa độ mặn lớn nhất tại trạm Cầu Quan, trên sông Hậu thuộc tỉnh Trà Vinh và chỉ số SPEI 1_{min} khu vực này trong giai đoạn 1991-2022. Kết quả Hình 7 cho thấy, trong những năm hạn nặng (SPEI 1_{min} < -1,5) như 1998 (SPEI 1_{min} = -2,7, thì độ mặn S_{max} = 11,6 g/l), 2010, 2015-2016 và 2020-2021 là những năm có sự gia tăng nồng độ mặn ở mức cao > 11 g/l tại trạm Cầu Quan trên sông chính thuộc tỉnh Trà Vinh so với những năm bình thường, điều này phù hợp với các nghiên cứu trước [2], [43]. Nhưng lưu ý là sự gia tăng XNM những năm gần đây còn bị ảnh hưởng bởi các yếu tố nhân sinh khác như hoạt động hồ chứa thượng lưu, hạ thấp lòng dẫn,... [44], [45] khi có kết hợp với những năm hạn nặng này vừa gây ra khí hậu khô hanh nặng và bị XNM nhiều hơn, nên gây hiệu nước ngọt nghiêm trọng hơn những năm bình thường ở khu vực này.

3.5. Nhận định xu thế hạn hán và khuyến nghị giải pháp thích ứng với BĐKH tỉnh Trà Vinh trong tương lai

Theo “Kịch bản BĐKH, nước biển dâng ở Việt Nam” của Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020 cho thấy những biến đổi về khí hậu ở ĐBSCL với kịch bản (KB) RCP 4.5 là khá phù hợp với xu thế gia tăng nhiệt độ hiện tại

ở Trà Vinh 0,02 °C/năm (Hình 2). Sự biến đổi nhiệt độ trong tương lai được dự báo so với điều kiện nền (1986-2005) như sau: Theo kịch bản KB RCP 4.5, nhiệt độ trung bình trạm Càng Long, Trà Vinh tăng 0,02°C/ năm từ 2005 đến 2055 (2046-2065) tăng lên khoảng 1,2-1,3°C. Thêm nữa, ở KB này mùa khô có lượng mưa biến động mạnh nhất trung biến động (-18,0 ÷ 35,0%) so với thời kỳ cơ sở 1986-2005 [34]. Bởi vậy trong tương lai, tỉnh Trà Vinh sẽ có xu thế gia tăng nhiệt độ làm gia tăng độ bốc hơi. Nếu lượng mưa rơi vào cận thấp giảm -18% so với hiện trạng, điều này có thể xảy ra ở những năm El-Nino, nên nghiên cứu nhận định trong tương lai rằng các đợt hạn cực trị ở Trà Vinh sẽ được dự báo xảy ra càng xu thế nghiêm trọng hơn hiện nay.

Như nhận định ở mục 3.4, các sự kiện hạn hán cực trị thường đi kèm đến XNM mạnh ở tỉnh Trà Vinh nên trong tương lai khi các sự kiện hạn hán cực trị ở Trà Vinh xảy ra vào mùa khô càng nghiêm trọng hơn thì tình hình XNM cũng có xu thế nghiêm trọng hơn nếu không có giải pháp thích ứng và đối phó. Các giải pháp công trình hay phi công trình thuận đưa ra cần thuận theo xu thế tự nhiên. Về nông nghiệp cần chuyển dịch cơ cấu cây trồng như tăng diện tích cây trồng cận vào mùa khô, cây trồng chịu mặn tốt,... thay đổi thời vụ gieo trồng tránh các tháng hạn nặng như tháng 4. Về nguồn nước khuyến khích các hộ nông dân lắp đặt hệ thống tưới thông minh tiết kiệm nước ở vùng đầu nguồn nhằm đảm bảo nguồn nước tưới cuối vùng,... Về giải pháp công trình là cần các giải pháp lớn về trữ nước ngọt, ngăn triều XNM nên được quan tâm phát triển ở Trà Vinh và toàn vùng ĐBSCL để ứng phó giai tăng hạn hán do BĐKH trong tương lai.

4. Kết luận

Nghiên cứu này tập trung đánh giá thay đổi xu thế và các mối liên quan của hạn khí tượng theo tháng đối với tác động của BĐKH, ENSO hơn 35 năm qua ở Tỉnh Trà Vinh. Kết quả phân tích đã cho thấy, biến động hạn khí tượng tại Trà Vinh có liên quan chặt chẽ với các hiện tượng ENSO. Tại tỉnh Trà Vinh ghi nhận có sự gia tăng cường độ hạn khí tượng theo kết quả đánh giá xu thế chỉ số SPEI-1_{mean}, cụ thể thứ tự gia tăng độ lớn hạn hán ở các tháng 4, 8, 2, 3 và tháng 10. Thêm nữa, tại đây cũng ghi nhận các đợt hạn cực trị ở giai đoạn sau (2005-2022) xuất hiện trận hạn nặng nhiều hơn trong giai đoạn (1985-2004) ở các tháng mùa khô như tháng 2 và tháng 4 theo kết quả đánh giá xu thế chỉ số SPEI-1_{min}. Về sự gia tăng tần suất và cường độ hạn, các đặc trưng này ghi nhận sự kéo dài theo thời gian do tác động chính của BĐKH và yếu tố El-Nino.

Thêm nữa, Trà Vinh là một vùng ven biển còn bị tác động thường xuyên XNM đặc biệt những năm hạn nặng 1998, 2010, 2015-2016 và 2020-2021 thì mức độ XNM càng mạnh theo kết quả đánh giá tương quan giữa độ mặn lớn nhất tại trạm Cầu Quan và chỉ số SPEI-1_{min} theo năm, nên xu thế gia tăng thiếu nước ngọt và khô hanh vào mùa khô ở Trà Vinh nên cần giải pháp đặt ra trong tương lai nhằm cải thiện nguồn nước dùng cho sinh hoạt và tưới trong mùa khô để ứng phó với BĐKH.

Trong nghiên cứu này, xu thế hạn hán trong tương lai khu vực Trà Vinh vẫn chưa được đánh giá chi tiết, theo đó, các nghiên cứu về dự báo biến động hạn hán khí trong tương lai kết hợp với trên dự báo của về chỉ số ENSO (ONI) của NOAA và các mô hình khí hậu toàn cầu GCM cần thiết

được triển khai để phục vụ cho các chiến lược nông nghiệp trong điều kiện bất lợi trong tương lai.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia – Hồ Chí Minh trong khuôn khổ đề tài mã số C2023-24-04 và chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.V.H., N.T.B.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: H.V.H., N.T.B. Xử lý số liệu: H.V.H., L.V.T., N.T.B.; Mô hình hóa: H.V.H.; Phân tích kết quả: H.V.H., T.T.K., N.T.B; Chỉnh sửa bài báo: H.V.H., T.T.K., N.T.B, L.V.T.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

REFERENCES

- [1] P. V. V. Le *et al.*, “Responses of groundwater to precipitation variability and ENSO in the Vietnamese Mekong Delta”, *Hydrol. Res.*, vol. 52, no. 6, pp. 1280–1293, Dec. 2021, doi: 10.2166/nh.2021.024.
- [2] Q. T. To, “Study on upstream water resource fluctuations, extreme climatic conditions in the Mekong Delta, and proposed solutions for production structure transformation”. The Southern Institute of Water Resources Research, final report of project No. KC 08.04/16-20. p. 300, 2020.
- [3] B. Nguyen, “Tra Vinh suffers severe damage due to drought and saltwater intrusion”, <https://baocantho.com.vn/>, 2020. [Online]. Available: <https://baocantho.com.vn/tra-vinh-thiet-hai-nang-vi-han-han-va-xam-nhap-man-a120337.html> [Accessed Apr. 16, 2020].
- [4] M. Giang, “Drought and saltwater intrusion cause over 600 billion VND in damages”, <https://dantri.com.vn/>, 2016. [Online]. Available: <https://dantri.com.vn/kinh-doanh/han-han-xam-nhap-man-lam-thiet-hai-hon-600-ty-dong-20160326164528725.htm> [Accessed Mar. 26, 2016].
- [5] IPCC, “Climate Change 2013: physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change”, in *Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5)*, Cambridge Univ Press, New York, 2013, p. 1535.
- [6] K. Abbass, M. Z. Qasim, H. Song, M. Murshed, H. Mahmood, and I. Younis, “A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 29, no. 28, pp. 42539–42559, 2022, doi: 10.1007/s11356-022-19718-6.
- [7] S. Nacar, M. Kankal, and U. Okkan, “Evaluation of the suitability of NCEP/NCAR, ERA-Interim and, ERA5 reanalysis data sets for statistical downscaling in the Eastern Black Sea Basin, Turkey”, *Meteorol. Atmos. Phys.*, vol. 134, no. 2, p. 39, 2022, doi: 10.1007/s00703-022-00878-6.
- [8] G. Zittis *et al.*, “Climate Change and Weather Extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East”, *Rev. Geophys.*, vol. 60, no. 3, p. e2021RG000762, 2022, doi: <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>.
- [9] H. Liu, L. Zou, J. Xia, T. Chen, and F. Wang, “Impact assessment of climate change and urbanization on the nonstationarity of extreme precipitation: A case study in an urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze river”, *Sustain. Cities Soc.*, vol. 85, p. 104038, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104038>.
- [10] S. Ahsan, M. S. Bhat, A. Alam, H. Farooq, and H. A. Shiekh, “Evaluating the impact of climate change on extreme temperature and precipitation events over the Kashmir Himalaya”, *Clim. Dyn.*, vol. 58, no. 5, pp. 1651–1669, 2022, doi: 10.1007/s00382-021-05984-6.
- [11] L. T. A. Dao, T. A. Nguyen, and A. A. Chandio, “Climate change and its impacts on Vietnam agriculture: A macroeconomic perspective”, *Ecol. Inform.*, vol. 74, p. 101960, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101960>.
- [12] D. D. Tran *et al.*, “Climate change impacts on rice-based livelihood vulnerability in the lower Vietnamese Mekong Delta: Empirical

- evidence from Can Tho City and Tra Vinh Province", *Environ. Technol. Innov.*, vol. 28, p. 102834, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.ETI.2022.102834.
- [13] L. V Noto, G. Cipolla, A. Francipane, and D. Pumo, "Climate Change in the Mediterranean Basin (Part I): Induced Alterations on Climate Forcings and Hydrological Processes", *Water Resour. Manag.*, vol. 37, no. 6, pp. 2287–2305, 2023, doi: 10.1007/s11269-022-03400-0.
- [14] L. V Noto, G. Cipolla, D. Pumo, and A. Francipane, "Climate Change in the mediterranean basin (part ii): a review of challenges and uncertainties in climate change modeling and impact analyses", *Water Resour. Manag.*, vol. 37, no. 6, pp. 2307–2323, 2023, doi: 10.1007/s11269-023-03444-w.
- [15] S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, and J. I. López-Moreno, "A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index", *J. Clim.*, vol. 23, no. 7, pp. 1696–1718, 2010, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- [16] F. Serinaldi, F. Chebana, and C. G. Kilsby, "Dissecting innovative trend analysis", *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, vol. 34, no. 5, pp. 733–754, 2020, doi: 10.1007/s00477-020-01797-x.
- [17] G. Naveendrakumar *et al.*, "South Asian perspective on temperature and rainfall extremes: A review", *Atmos. Res.*, vol. 225, no. August 2018, pp. 110–120, 2019, doi: 10.1016/j.atmosres.2019.03.021.
- [18] B. K. Pandey, H. Tiwari, and D. Khare, "Trend analysis using discrete wavelet transform (DWT) for long-term precipitation (1851–2006) over India", *Hydrol. Sci. J.*, vol. 62, no. 13, pp. 2187–2208, 2017, doi: 10.1080/02626667.2017.1371849.
- [19] P. J. Block, F. A. Souza Filho, L. Sun, and H. H. Kwon, "A streamflow forecasting framework using multiple climate and hydrological models", *J. Am. Water Resour. Assoc.*, vol. 45, no. 4, pp. 828–843, 2009, doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00327.x.
- [20] Z. Sen, "Innovative Trend Analysis Methodology", *J. Hydrol. Eng.*, vol. 17, no. 9, pp. 1042–1046, 2012, doi: 10.1061/(asce)jhe.1943-5584.0000556.
- [21] Z. Şen, "Innovative trend significance test and applications", *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 127, no. 3, pp. 939–947, 2017, doi: 10.1007/s00704-015-1681-x.
- [22] Z. Şen, E. Şişman, and I. Dabanli, "Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) and applications", *J. Hydrol.*, vol. 575, no. April, pp. 202–210, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.05.028.
- [23] D. T. Anh, L. P. Hoang, M. D. Bui, and P. Rutschmann, "Modelling seasonal flows alteration in the Vietnamese Mekong Delta under upstream discharge changes, rainfall changes and sea level rise", *Int. J. River Basin Manag.*, vol. 17, no. 4, pp. 435–449, 2019, doi: 10.1080/15715124.2018.1505735.
- [24] H. M. Nguyen, S. Ouillon, and V. D. Vu, "Sea Level Variation and Trend Analysis by Comparing Mann-Kendall Test and Innovative Trend Analysis in Front of the Red River Delta, Vietnam (1961–2020)", *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 11, 2022, doi: 10.3390/w14111709.
- [25] M. Zakwan, Q. B. Pham, O. Bonacci, and B. Đurin, "Application of revised innovative trend analysis in lower Drava River", *Arab. J. Geosci.*, vol. 15, no. 8, 2022, doi: 10.1007/s12517-022-09591-5.
- [26] F. Akçay, M. Kankal, and M. Şan, "Innovative approaches to the trend assessment of streamflows in the Eastern Black Sea basin, Turkey", *Hydrological Sciences Journal*, vol. 67, no. 2, pp. 222–247, 2022, doi: 10.1080/02626667.2021.1998509.
- [27] H. Guo *et al.*, "Meteorological drought analysis in the Lower Mekong Basin using satellite-based long-term CHIRPS product", *Sustain.*, vol. 9, no. 6, 2017, doi: 10.3390/su9060901.
- [28] B. Zhang, L. Zhang, H. Guo, and P. Leinenkugel, "Drought impact on vegetation productivity in the Lower Mekong Basin", *Int. J. Remote Sens.*, no. August, pp. 37–41, 2014, doi: 10.1080/01431161.2014.890298.
- [29] F. Tian *et al.*, "Drought characteristics of Lancang-Mekong River basin and the impacts of reservoir regulation on streamflow", 2020. <https://www.semanticscholar.org/paper/Drought-Characteristics-of-Lancang-Mekong-River-and-Tian-Hou/e228052a460411069ab80636ade33f45bca8d234> [Accessed Feb. 14, 2021].
- [30] O. Keovilnavong, T. H. Nguyen, and P. Hirsch, "Reviewing the causes of Mekong drought before and during 2019–2020", *Int. J. Water Resour. Dev.*, vol. 39, no. 1, pp. 155–175, 2023, doi: 10.1080/07900627.2021.1967112.
- [31] S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, and J. I. López-Moreno, "A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index", *J. Clim.*, vol. 23, no. 7, pp. 1696–1718, 2010, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- [32] L. T. Hoa, "The Impact of Saltwater Intrusion on Rice Cultivation and Aquaculture in Ham Tan Commune, Tra Cu District, Tra Vinh Province, Mekong Delta, Vietnam", *Eur. Sci. Journal, ESJ*, vol. 19, no. 22, p. 27, 2023, doi: 10.19044/esj.2023.v19n22p27.
- [33] MARD, Vietnam "Summary Report on the Drought Situation in Southern Provinces in 2019-2020". [phongchongthientai.mard.gov.vn](https://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/bao-cao-tong-hop-tinh-hinh-han-han-xam-nhap-man-khu-vuc-mien-nam-2019-2020.aspx), p. 7, 2020, [Online]. Available: <https://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/bao-cao-tong-hop-tinh-hinh-han-han-xam-nhap-man-khu-vuc-mien-nam-2019-2020.aspx>. [Accessed Mar. 11, 2020].
- [34] MONRE, *Vietnam Climate Change Scenario 2020*. Published by the Vietnam Publishing House for Natural Resources, Environment and Cartography, 2022. [in Vietnamese]
- [35] NOAA, "Cold & Warm Episodes by Season. 1985-2023", [origin.cpc.ncep.noaa.gov](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php), 2023. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php [Accessed: Jul. 22, 2025]
- [36] D. Van Binh *et al.*, "Long-term alterations of flow regimes of the Mekong River and adaptation strategies for the Vietnamese Mekong Delta", *J. Hydrol. Reg. Stud.*, vol. 32, no. October, p. 100742, 2020, doi: 10.1016/j.ejrh.2020.100742.
- [37] Southern Institute of Water Resources Research (SIWRR), "Project Report: Investigation, Forecasting, and Monitoring of Saltwater Intrusion in the Mekong Delta to Support Agricultural Production Management from 2005 to Present", Ho Chi Minh City, Vietnam: SIWRR, [in Vietnamese].
- [38] T. B. McKee, N. J. Doesken, and J. Kleist, "The relationship of drought frequency and duration to time scales", *Eighth Conf. Appl. Climatol. Anaheim, 17-22 January 1993*, 1993, pp. 179–184, [Online]. Available: https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf.
- [39] S. M. Vicente-Serrano and National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), "The Climate Data Guide: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)", *Climate Data Guide*, 29-Apr-2025. [Online]. Available: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei>. [Accessed: Jul. 22, 2025].
- [40] C. N. X. Quang, H. V Hoa, N. N. H. Giang, and N. T. Hoa, "Assessment of meteorological drought in the Vietnamese Mekong delta in period 1985-2018", *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 652, no. 1, p. 012020, Feb. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/652/1/012020.
- [41] Z. Şen, "Up-to-date statistical essentials in climate change and hydrology: a review", *Int. J. Glob. Warm.*, vol. 22, no. 4, pp. 392–431, 2020.
- [42] M. B. Yıldız, M. Kankal, S. Nacar, N. T. T. Linh, H. V. Hoa, and V. T. Nam, "Investigation of precipitation trends in Lower Mekong Delta River Basin of Vietnam by innovative trend analysis methods", *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 155, no. 12, pp. 10033–10050, 2024, doi: 10.1007/s00704-024-05221-0.
- [43] V. B. Doan *et al.*, "Long-term alterations of flow regimes of the Mekong River and adaptation strategies for the Vietnamese Mekong Delta", *J. Hydrol. Reg. Stud.*, vol. 32, p. 100742, 2020, doi: 10.1016/j.ejrh.2020.100742.
- [44] D. Van Binh *et al.*, "Effects of riverbed incision on the hydrology of the Vietnamese Mekong Delta", *Hydrol. Process.*, vol. 35, no. 2, 2021, doi: 10.1002/hyp.14030.
- [45] N. P. Mai, S. Kantoush, T. Sumi, T. D. Thang, L. V. Trung, and D. V. Binh, "Impacts of cascade hydropower development on salinity intrusion into Vietnamese Mekong Delta", *Proc. - Int. Assoc. Hydro-Environment Eng. Res. (IAHR)-Asia Pacific Div. Congr. Multi-Perspective Water Sustain. Dev. IAHR-APD 2018*, vol. 1, no. November, 2018, pp. 503–511.