VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 41, No. 1S (2025) 181-194

VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences

Journal homepage: https://js.vnu.edu.vn/EES

Original Article

Analyze Streamflow and Suspended Sediment Load in Upstream Stations of the Cuu Long River

Luu Van Ninh[1], Nguyen Tien Giang[2], Can Thu Van[3,*]

[1]*Hydro-Meteorology center An Giang Province, 1 Nguyen Van Kien, Rach Gia, An Giang, Vietnam*

[2]*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

[3]*Ho Chi Minh city University of Natural Resources and Environment, 236B Le Van Sy, Tan Son Hoa, Ho Chi Minh, Vietnam*

Received 25th August 2025
Revised 15th October 2025; Accepted 30th October 2025

Abstract: In recent years, the Mekong Delta - the downstream region of the Mekong River system has experienced pronounced alterations in streamflow regime and sediment transport. Hydrological monitoring data from stations reveal significant trends in water level and discharge at stations along the main channels of the Tien and Hau Rivers, as well as their major tributaries, particularly in the flood season. The amount of suspended sediment transported downstream has shown a decreasing trend compared to the long-term average of previous decades. This paper applies the non-parametric Mann–Kendall test in combination with Sen's slope estimator to assess the trends in streamflow characteristics (water level and discharge) and suspended sediment at two upstream stations of the Mekong Delta: Tan Chau (in the Tien River) and Chau Doc (in the Hau River). The results indicate a decreasing trend in water levels at both stations, with Tan Chau declining by 4.85 cm/year and Chau Doc declining by 3.43 cm/year. At Chau Doc, maximum discharge (Q_{max}) decreased by 71.25 m³/s/year and average discharge (Q_{ave}) decreased by 46 m³/s/year, respectively, while discharge trends at Tan Chau did not reach the 95% significance level.

Keywords: Flow characteristics, sediment, Mekong River, Mann–Kendall, Sen's slope.

* Corresponding author.
E-mail address: ctvan@hcmunre.edu.vn

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5390

Phân tích xu thế thay đổi dòng chảy và bùn cát lơ lửng tại các trạm đầu nguồn sông Cửu Long

Lưu Văn Ninh[1,2], Nguyễn Tiền Giang[2], Cấn Thu Văn[3,*]

[1]*Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh An Giang, 1 Nguyễn Văn Kiến, Rạch Giá, An Giang, Việt Nam*
[2]*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*
[3]*Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố Hồ Chí Minh, 236B Lê Văn Sỹ, Tân Sơn Hòa, Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Nhận ngày 25 tháng 8 năm 2025
Chỉnh sửa ngày 15 tháng 10 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 10 năm 2025

Tóm tắt: Những thập kỷ gần đây, đồng bằng sông Cửu Long – vùng hạ lưu thuộc hệ thống sông Mê Công đã cho thấy rõ nét những biến động mạnh mẽ trong chế độ dòng chảy và bùn cát. Các dữ liệu quan trắc thủy văn ở các trạm quốc gia và các trạm dùng riêng cho thấy mực nước và lưu lượng dòng chảy tại nhiều trạm trên dòng chính sông Tiền, sông Hậu cũng như các nhánh sông chính có xu thế thay đổi đáng kể, đặc biệt là trong mùa lũ. Đồng thời, lượng bùn cát vận chuyển về hạ du cũng cho thấy sự thay đổi (giảm) nghiêm trọng so với trung bình nhiều năm trước đây. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp kiểm định xu thế phi tham số Mann-Kendall kết hợp phương pháp Sen's slope để đánh giá xu thế thay đổi các đặc trưng dòng chảy (mực nước và lưu lượng) và bùn cát lơ lửng (hàm lượng và tổng lượng) tại 2 trạm đầu nguồn sông Cửu Long là Tân Châu (sông Tiền) và Châu Đốc (sông Hậu). Kết quả cho mực nước tại 2 trạm đều có xu thế giảm: Tân Châu giảm 4,85cm/năm, Châu Đốc giảm 3,43 cm/năm. Xu thế lưu lượng tại Châu Đốc giảm 71,25 m^3/s/năm đối với Qmax và 46 m^3/s/năm đối với Qtb; trong khi đó lưu lượng tại Tân Châu không đảm bảo mức độ tin cậy 95%.

Từ khóa: đặc trưng dòng chảy, bùn cát, sông Cửu Long, Mann-Kendal, Sen's slope.

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), còn gọi là miền Tây Nam Bộ, là vùng châu thổ hạ lưu của hệ thống sông Mê Công, nằm ở cực Nam của Việt Nam. Sau sáp nhập các đơn vị hành chính, hiện nay ĐBSCL có 6 tỉnh/thành: Thành phố Cần Thơ (gồm Cần Thơ + Sóc Trăng + Hậu Giang), Tỉnh Vĩnh Long (gồm Vĩnh Long + Bến Tre + Trà Vinh), Tỉnh Đồng Tháp (gồm Đồng Tháp + Tiền Giang), Tỉnh An Giang (gồm An Giang + Kiên Giang), Tỉnh Cà Mau (gồm Cà Mau + Bạc Liêu), và Tỉnh Tây Ninh (gồm Long An + Tây Ninh). Với diện tích trên 40 nghìn km², chiếm khoảng 12% diện tích cả nước, và dân số gần 20 triệu người, đây là vùng đồng bằng rộng lớn nhất Việt Nam, đồng thời là trung tâm kinh tế - xã hội đặc thù gắn với nông nghiệp, thủy sản và sông nước [1, 2].

ĐBSCL có vị trí chiến lược quan trọng cả về kinh tế, an ninh lương thực và quốc phòng. Vùng này được mệnh danh là "vựa lúa" của cả nước,

* Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: ctvan@hcmunre.edu.vn

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5390

đóng góp hơn 50% sản lượng lúa, trên 65% sản lượng thủy sản nuôi trồng và gần 70% sản lượng trái cây. Ngoài ra, ĐBSCL còn là địa bàn có hệ thống sông ngòi, kênh rạch dày đặc, tạo điều kiện thuận lợi cho giao thông thủy, phát triển thương mại, du lịch và giao lưu quốc tế thông qua biển Đông và vịnh Thái Lan [2-4].

Trong vài thập kỷ qua, ĐBSCL – vùng hạ lưu thuộc hệ thống sông Mê Công đã cho thấy rõ nét những biến động mạnh mẽ trong chế độ dòng chảy và vận chuyển bùn cát [3, 4]. Các dữ liệu quan trắc thủy văn ở các trạm quốc gia và các trạm dùng riêng cho thấy mực nước và lưu lượng dòng chảy tại nhiều trạm trên dòng chính sông Tiền, sông Hậu cũng như các nhánh sông chính có xu thế thay đổi (tăng/giảm) đáng kể, đặc biệt là trong mùa lũ [1, 2]. Đồng thời, lượng bùn cát vận chuyển về hạ du cũng cho thấy sự thay đổi (giảm) nghiêm trọng so với trung bình nhiều năm trước đây [6-9]. Các nghiên cứu chuyên sâu cơ bản xác định nguyên nhân của xu thế này được xác định là do tác động tổng hợp của nhiều yếu tố, trong đó nổi bật là sự gia tăng xây dựng và vận hành các hồ chứa thủy điện ở thượng nguồn, hoạt động khai thác cát quy mô lớn trên các tuyến sông, cùng với biến đổi khí hậu toàn cầu làm thay đổi chế độ mưa – dòng chảy trong lưu vực. Những thay đổi này không chỉ làm thay đổi quy luật dòng chảy tự nhiên vốn có của ĐBSCL, mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến sự phân bố và vận chuyển bùn cát – yếu tố nền tảng hình thành và duy trì cấu trúc địa mạo đồng bằng [4, 6-7, 10].

Sự suy giảm nguồn nước và bùn cát đã và đang gây ra hàng loạt hệ quả tiêu cực đối với hệ thống sông ngòi và sinh kế tại ĐBSCL. Thiếu hụt bùn cát khiến cho quá trình bồi tụ giảm sút, đồng thời gia tăng nguy cơ xói lở bờ sông, bờ kênh, đe dọa trực tiếp đến cơ sở hạ tầng, nhà cửa và đất sản xuất ven sông. Hiện tượng sạt lở không chỉ xảy ra với tần suất cao hơn mà còn với mức độ nghiêm trọng hơn, gây tổn thất lớn về kinh tế – xã hội [6, 8-11] . Song song đó, chế độ dòng chảy bất thường với biên độ dao động ngày càng khó dự báo, đã làm thay đổi quy luật ngập lũ và dòng chảy mùa khô. Nông nghiệp – ngành kinh tế chủ lực của ĐBSCL đang đối diện với nhiều thách thức: mùa vụ khó bố trí hợp lý, nguồn nước tưới ngày càng khan hiếm, và quá trình xâm nhập mặn diễn biến phức tạp, lấn sâu vào nội đồng. Việc thiếu hụt phù sa không chỉ ảnh hưởng đến độ phì nhiêu đất mà còn làm suy giảm năng suất và chất lượng cây trồng. Ngoài ra, sự thay đổi của dòng chảy và bùn cát còn tác động đến hệ sinh thái thủy sinh, làm suy giảm nguồn lợi thủy sản tự nhiên – một trong những nguồn sinh kế quan trọng của cư dân địa phương [12, 13].

Trước thực trạng biến đổi sâu sắc của chế độ thủy văn và bùn cát, việc nghiên cứu, phân tích và đánh giá xu thế này trên cơ sở khoa học và dữ liệu tin cậy trở thành yêu cầu cấp thiết. Một mặt, nghiên cứu sẽ giúp làm sáng tỏ các cơ chế thủy văn – bùn cát đang chi phối sự vận động của hệ thống sông ngòi và đồng bằng, từ đó nhận diện được các yếu tố tác động chủ đạo trong bối cảnh biến đổi khí hậu và các hoạt động nhân sinh. Mặt khác, kết quả đánh giá có giá trị thực tiễn to lớn, cung cấp cơ sở khoa học cho công tác quy hoạch, quản lý và khai thác hợp lý tài nguyên nước – đất – cát, góp phần hạn chế rủi ro sạt lở và bảo đảm an ninh lương thực, sinh kế cho hàng chục triệu người dân ĐBSCL. Đồng thời, việc hiểu rõ xu thế biến đổi dòng chảy – bùn cát với mức độ tin cậy cao cũng giúp các nhà quản lý chủ động hơn trong việc xây dựng các giải pháp công trình và phi công trình, nhằm bảo vệ đồng bằng, giảm thiểu thiệt hại do thiên tai và thích ứng hiệu quả với bối cảnh phát triển mới. Do vậy, những nghiên cứu có hệ thống về xu thế thay đổi chế độ dòng chảy và vận chuyển bùn cát tại ĐBSCL không chỉ mang ý nghĩa khoa học, mà còn là nền tảng cho các chính sách phát triển bền vững toàn vùng.

Các nghiên cứu cơ bản về phân tích, đánh giá xu thế các đặc trưng khí tượng – khí hậu, thủy văn và bùn cát đã được nghiên cứu khá nhiều cả trong và ngoài nước và việc sử dụng phương pháp kiểm định phi tham số Mann-Kendall kết hợp xu thế Sen (Sen's Slope) cũng đã được cộng đồng khoa học nghiên cứu ứng dụng rộng rãi. Các nghiên cứu trong nước điển hình như [1, 2, 14-19] đã nghiên cứu, phân tích và đánh giá xu thế các đặc trưng khí tượng – thủy văn như: nhiệt cực trị, mưa lớn, ngập lụt, xâm nhập mặn,… ở các tỉnh, khu vực trong cả nước như: thành phố Hồ Chí Minh [1, 2], khu vực Tây Nguyên [17],

Đà Nẵng [19], ĐBSCL [14-15, 22],… hay phạm vi cả nước [16, 18]. Còn trên thế giới, các nghiên cứu phải kể đến như là: F. Fernández-Chacón và cộng sự nghiên cứu về đặc trưng mưa, nhiệt độ ở Tây Ban Nha [20]; Ü. Güner Bacanli và cộng sự [21] nghiên cứu ở Thổ Nhĩ Kỳ; A. Mustapha [23] nghiên cứu xu thế chất lượng nước mặt; R. Yadav và cộng sự [24] nghiên cứu xu thế mưa, nhiệt ở Uttarakhand; J. Mallick và cộng sự [25] nghiên cứu ở Saudi Arabia; F. Aditya và cộng sự [26] nghiên cứu ở West Kalimantan; hay các nghiên cứu của A. Marsick và cộng sự, S. Alashan và cộng sự [27, 28] cũng đã sử dụng phương pháp phi tham số Mann-Kendall để đánh giá xu thế các đặc trưng. Từ những nghiên cứu cho thấy tính hữu dụng và tin cậy khi sử dụng phương pháp này để đánh giá và phân tích xu thế biến đổi các đặc trưng khí tượng – khí hậu, thủy văn, bùn cát hay chất lượng nước sông,…

2. Cơ sở phương pháp và dữ liệu

2.1. Kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall (M - K test)

Nghiên cứu sử dụng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall và Sen slope để đánh giá xu thế thay đổi các đặc trưng dòng chảy (mực nước, lưu lượng) và bùn cát (hàm lượng, tổng lượng) tại các trạm đo đầu nguồn sông Cửu Long. Đây là phương pháp đánh giá xu thế có độ tin cậy cao, hiệu quả và đã được lựa chọn trong nhiều nghiên cứu đánh giá xu thế [27-30].

Phương pháp kiểm nghiệm Mann - Kendall [28] là phương pháp thống kê phi tham số để kiểm định sự xuất hiện của xu thế đơn điệu tăng và giảm. Phương pháp này rất phù hợp để phân tích xu thế dữ liệu theo thời gian, không yêu cầu bất kỳ giả định nào về phân phối thống kê của dữ liệu và có thể được sử dụng với các tập dữ liệu, bao gồm các khoảng thời gian lấy mẫu không đều và dữ liệu bị thiếu [29]. Phương pháp thực hiện so sánh độ lớn tương đối của các phần tử trong chuỗi dữ liệu, điều này có thể tránh được các giá trị cực đại hoặc cực tiểu cục bộ của chuỗi giá trị. Nếu giả thuyết có một dữ liệu theo chuỗi tuần tự thời gian (x_1, x_2, …, x_n) với x_i biểu diễn số liệu tại thời điểm i thì mỗi giá trị dữ liệu tại mỗi thời điểm được so sánh với các giá trị trên toàn chuỗi thời gian. Các giá trị ban đầu của thống kê Mann - Kendall, S là 0 (nghĩa là không có xu thế). Khi đó, chỉ số thống kê Mann - Kendall S được tính bởi công thức (1):

$$S=\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} sign(x_j - x_i) \quad (1)$$

Trong đó:

$$\text{sign}(x_j - x_i)=\begin{Bmatrix} 1 \text{ khi}(x_j - x_i)>0 \\ 0 \text{ khi}(x_j - x_i)=0 \\ -1 \text{ khi}(x_j - x_i)<0 \end{Bmatrix}$$

Giá trị S > 0 chỉ xu thế tăng, S < 0 chỉ xu thế giảm. Tuy nhiên, cần phải tính toán xác suất đi kèm với S và n để xác định mức ý nghĩa của xu thế. Phương sai của S được tính theo công thức (2):

$$\text{VAR(S)}=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{p=1}^{g} t_p(t_p - 1)(2t_p+5)\right] \quad (2)$$

Trong đó: g là số các nhóm có giá trị lặp lại (giống nhau); t_p là số phần tử thuộc nhóm thứ p.

Giá trị chuẩn hóa Z của S được tính theo các công thức (3) và (4):

$$Z=\frac{S - 1}{[\text{VAR(S)}^{1/2}]}, S > 0 \quad (3)$$

Với Z = 0, S = 0

$$Z=\frac{S + 1}{[\text{VAR(S)}^{1/2}]}, S < 0 \quad (4)$$

Z có phân phối chuẩn N (0,1) dùng để kiểm định chuỗi có xu thế hay không với mức ý nghĩa cho trước (trong nghiên cứu này dùng $P_value = 0{,}05$).

Hệ số tự tương quan tại độ trễ k được tính theo công thức (5):

$$r_1 = \frac{\sum_{t=2}^{n}(X_t - \bar{X})(X_{t-1} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^{n}(X_t - \bar{X})^2} \quad (5)$$

Với k =1 gọi là tự tương quan bậc 1, để kiểm tra tự tương quan bậc 1 (r_1) có ý nghĩa thống kê hay không, sử dụng công thức ngưỡng:

Ngưỡng = $\pm 1{,}96\sqrt{n}$, với chuỗi n = 45 năm tương đương 0,29.

- Nếu $|r_1| > 0{,}29$ → chuỗi có tự tương quan bậc 1 đáng kể, cần hiệu chỉnh khi dùng Mann–Kendall.

- Nếu $|r_1| \leq 0{,}29$ → không có tự tương quan đáng kể, có thể dùng kết quả Mann–Kendall gốc.

Với chuỗi không có tự tương quan đáng kể, giữ nguyên kết quả Mann–Kendall gốc.

Dữ liệu để phân tích xu thế, nghiên cứu sử dụng giá trị chuẩn sai.

Ngoài ra, Trước khi kiểm định xu thế, nghiên cứu đã xác định chuỗi dữ liệu có độc lập hay không. Ở đây, nghiên cứu kiểm tra tự tương quan bậc 1 bằng hệ số r_1 theo công thức 5.

Nếu chuỗi có tương quan, phải khử trước bằng phương pháp 'pre-whitening' để tạo chuỗi mới, sau đó dùng chuỗi mới để kiểm định. Việc này giúp kết quả kiểm định xu thế đáng tin cậy, tránh phát hiện nhầm xu thế giả do chuỗi bị ảnh hưởng bởi những năm liền kề.

2.2. Phương pháp xu thế Sen (S - slope)

Ước lượng Sen [30] được dùng để xác định độ lớn của xu thế chuỗi giá trị Q (độ dốc đường xu thế), Q là median của chuỗi n(n - 1)/2 phần tử và được tính như công thức (6):

$$Q = \text{median}\left\{\frac{x_j - x_i}{j-i}\right\} \quad (6)$$

với i=1, .., n-1; j>i

Giá trị Q > 0 thể hiện chuỗi dữ liệu có xu thế tăng và Q < 0 thể hiện xu thế giảm.

2.3. Dữ liệu tính toán

Số liệu sử dụng trong nghiên cứu này được thu thập, xử lý và biên tập theo chuỗi thời gian tại hai trạm thủy văn đầu nguồn sông Cửu Long là trạm Tân Châu trên sông Tiền và trạm Châu Đốc trên sông Hậu (Hình 1), tất cả dữ liệu trên được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh An Giang, gồm:

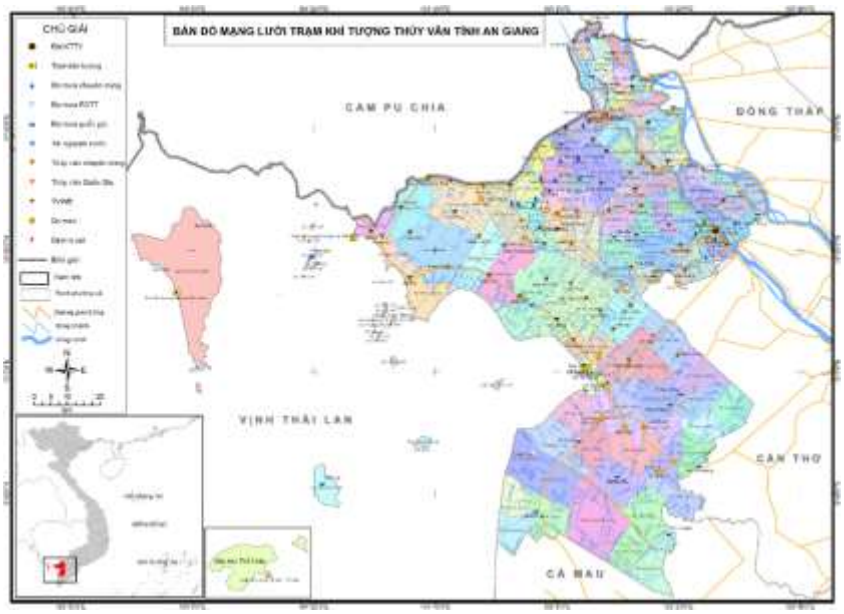
- Dữ liệu dòng chảy (Mực nước và lưu lượng giờ, ngày):

Giai đoạn 1985-2024 (40 năm) để tính toán, đánh giá đặc trưng chuẩn dòng chảy.

Giai đoạn 2000 – 2024 (25 năm) để kiểm định và đánh giá xu thế.

- Dữ liệu bùn cát (bùn cát lơ lửng):

Giai đoạn 1997 – 2024 (28 năm) để tính toán các đặc trưng bùn cát.



Hình 1. Bản đồ khu vực đầu nguồn sông Cửu Long (tỉnh An Giang) và vị trí 02 trạm Tân Châu, Châu Đốc.

Giai đoạn 2008 – 2024 (17 năm) để kiểm định để đánh giá xu thế.

Sở dĩ nghiên cứu sử dụng các giai đoạn khác nhau như thế này là:

- Đối với số liệu dòng chảy được đo đầy đủ từ năm 1985 đến nay, vì thế lấy toàn bộ dữ liệu này để tính đặc trưng chuẩn dòng chảy. Tuy vậy, sau mùa lũ lịch sử năm 2000 thì cả ĐBSCL và đặc biệt là hai tỉnh đầu nguồn An Giang và Đồng Tháp (cũ) đã xây dựng hệ thống đê bao, công trình điều tiết lũ nên đặc trưng và xu thế sẽ khác. Vì lẽ đó, nghiên cứu sử dụng các chuỗi thời gian vậy để nghiên cứu.

- Đối với số liệu bùn cát lơ lửng, ở Tân Châu, Châu Đốc được đo từ 1997 đến nay, tuy nhiên từ 1997-2007 chỉ đo 02 tháng lúc lũ lớn là tháng IX và X, còn từ 2008 đến nay đã đo quanh năm. Vì thế nghiên cứu sử dụng các giai đoạn như trên để đánh giá, phân tích.

3. Kết quả - thảo luận

Sau những bước đầu tiên đánh giá dữ liệu, các chuỗi số liệu cho thấy là dữ liệu đảm bảo tính độc lập, đáp ứng yêu cầu kiểm định theo chuỗi thực.

3.1. Đặc trưng dòng chảy

- Mực nước

Mùa kiệt ở ĐBSCL, tùy tình hình lũ lụt năm trước và kết hợp diễn biến thủy triều ở biển Đông và biển Tây trong mùa kiệt năm sau mà các đặc trưng thủy văn nhỏ nhất mùa kiệt có thể xuất hiện vào tháng IV hoặc đầu tháng V ở mức cao hay thấp (Bảng 1, Hình 2).

Bảng 1: Mực nước thấp nhất năm (m) các trạm đầu nguồn sông Cửu Long

Trạm	H_{MinAve}	H_{MinMax}	H_{MinMin}
Tân Châu	-0,41	-0,18	-0,71
Châu Đốc	-0,51	-0,28	-0,69

Trong giai đoạn 1985-2024, mực nước mùa kiệt của sông Tiền và sông Hậu xuống mức thấp nhất dưới chuẩn "00" tại Tân Châu là -0,71 m, Châu Đốc là -0,69 m. Nếu so với mực nước thấp nhất của năm kiệt nhất với các năm khác thì cũng chỉ chênh nhau trong khoảng 0,30-0,40m, nghĩa là do ảnh hưởng của thủy triều, nên mực nước thấp nhất năm của năm cực kiệt cũng không chênh lệch nhiều so với năm kiệt ít.

Hình 2. Diễn biến mực nước thấp nhất trạm Tân Châu và Châu Đốc.

Bảng 2. Mực nước cao nhất năm (m) các trạm đầu nguồn sông Cửu Long

Trạm	H_{MaxAve}	H_{MaxMax}	H_{MaxMin}
Tân Châu	3,87	5,06	2,55
Châu Đốc	3,48	4,90	2,35

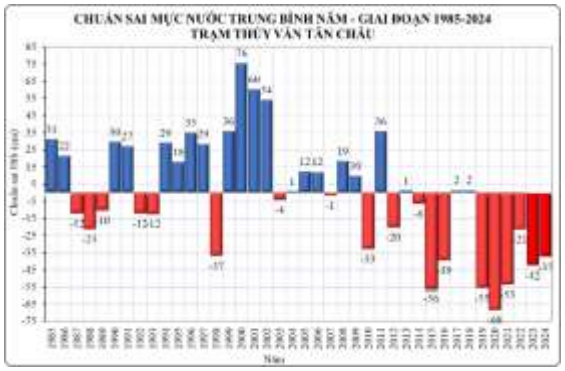
Hình 3. Diễn biến mực nước cao nhất trạm Tân Châu và Châu Đốc.

Vào mùa lũ, trong các tháng VIII, IX các hệ thống thời tiết gây ra mưa hoạt động thường xuyên trên lưu vực sông Mê Công. Đối với vùng hạ lưu, quá trình góp lũ từ các vùng khác nhau trên lưu vực dồn về là nguyên nhân chính để hình thành lũ ở đầu nguồn sông Cửu Long. Chuỗi số liệu mực nước đỉnh lũ năm từ 1985 -2024 của các trạm dọc sông Tiền và sông Hậu cho thấy, khu vực phía trên Vàm Nao đa số lũ lớn nhất năm xảy ra vào tháng IX, X; khu vực phía dưới Vàm Nao do ảnh hưởng của sự phân chia nước và thủy triều nên lũ lớn nhất năm xảy ra muộn hơn so với

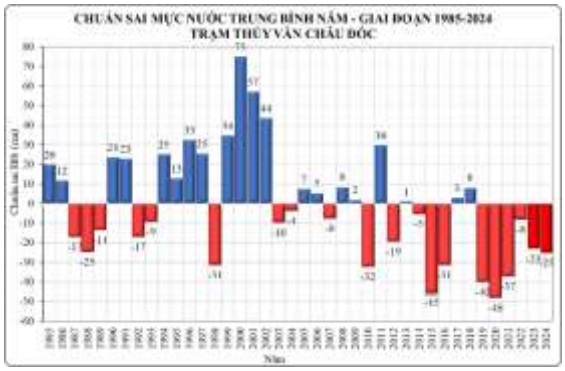
phía trên Vàm Nao khoảng từ 10 ngày đến 01 tháng (Bảng 2, Hình 3).

Tính từ năm 1985-2024, tại Tân Châu vào năm 2000 có mực nước đỉnh lũ lớn nhất là 5,06m và mực nước đỉnh lũ thấp nhất xảy ra năm 2015 là 2,55 m, chênh lệch nhau 2,51 m; trên sông Hậu tại Châu Đốc đỉnh lũ lớn nhất là 4,90 m, thấp nhất là 2,35 m, chênh lệch 2,55 m.

Chuẩn sai mực nước trung bình năm tại Tân Châu giai đoạn 1985-2024 là 0,42 cm, tuy nhiên từ năm 2012, mực nước trung bình năm đều có xu thế thấp hơn TBNN, thấp nhất là -79 cm (năm 2020), và đây cũng là năm ít nước (Hình 4, 5).



Hình 4. Chuẩn sai mực nước trung bình trạm Tân Châu.

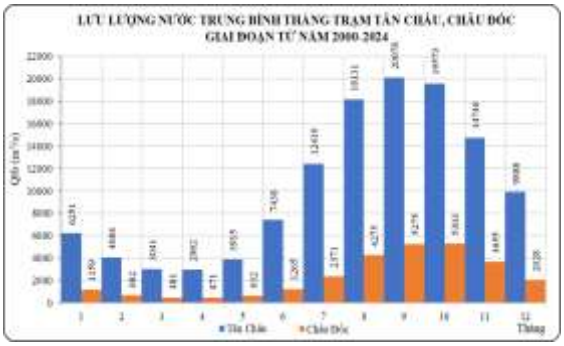


Hình 5. Chuẩn sai mực nước trung bình trạm Châu Đốc.

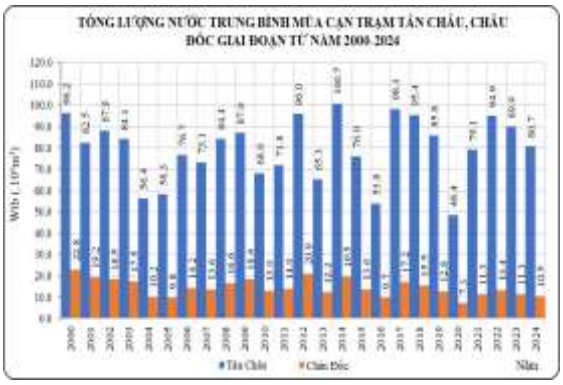
Chuẩn sai mực nước trung bình năm tại Châu Đốc giai đoạn 1985-2024 là 0,30 cm, từ năm 2012 mực nước trung bình năm đều có xu thế thấp hơn TBNN, thấp nhất là -49 cm (năm 2020), và đây cũng là năm ít nước. Riêng năm 2017, 2018 có mực nước trung bình cao hơn 02 cm và 07cm, năm 2018 cũng được xem là năm có đỉnh lũ trung bình.

- Lưu lượng

Lưu lượng, tốc độ dòng chảy lũ và kiệt: Khu vực đầu nguồn, do có hiện tượng chảy tràn nên lưu lượng lũ lớn nhất năm xuất hiện khá sớm so với mực nước lũ lớn nhất năm trung bình từ 2 đến 3 ngày (Hình 6).



Hình 6. Lưu lượng nước trung bình tháng tại trạm Tân Châu và Châu Đốc.

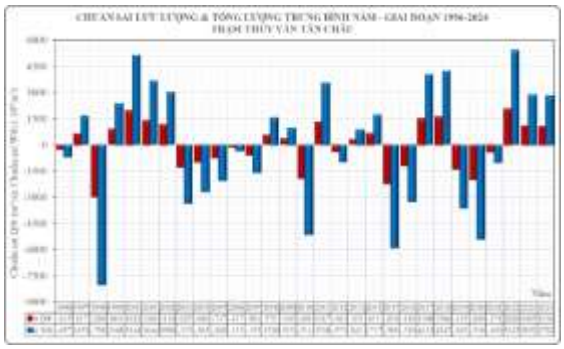


Hình 7. Tổng lượng nước trung bình mùa cạn tại trạm Tân Châu và Châu Đốc.

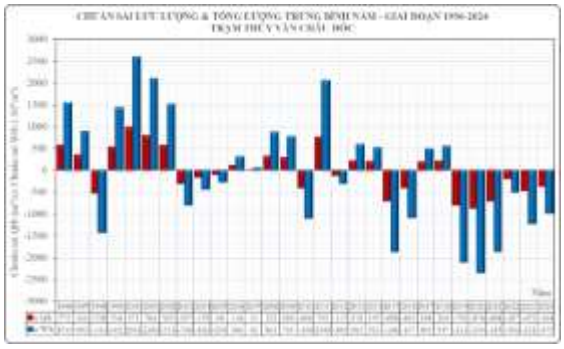
Lưu lượng lũ lớn nhất năm của sông Tiền qua mặt cắt Tân Châu ứng với các trận lũ cực lớn lên tới 27.000 m^3/s và của sông Hậu qua mặt cắt Châu Đốc xấp xỉ 9.000 m^3/s xuất hiện vào đỉnh điểm mùa lũ là tháng IX hoặc tháng X hàng năm. Tuy ở khu vực đồng bằng, nhưng do áp lực lũ rất mạnh nên tốc độ dòng chảy lũ lớn nhất sông Tiền có năm đạt tới trên 2,70 m/s và trên sông Hậu 2,0 m/s (Hình 7, 8).

Hình 8. Tổng lượng nước trung bình mùa lũ tại trạm Tân Châu và Châu Đốc.

Trong giai đoạn 1996-2024, dòng chảy trung bình qua sông Tiền tại Tân Châu có sự biến đổi trong các thời kỳ, các giai đoạn thiếu hụt nhiều nhất từ năm 2003-2007, 2015-2016, 2019-2021. Tuy nhiên, dòng chảy qua sông Hậu có các giai đoạn tương tự như sông Tiền, nhưng từ năm 2019-2024 đều thiếu hụt, điều này cho thấy sự phân phối dòng chảy qua sông Hậu trong những năm gần đây giảm dần (Hình 9, 10).



Hình 9. Chuẩn sai lưu lượng và tổng lượng nước trung bình năm tại trạm Tân Châu.



Hình 10. Chuẩn sai lưu lượng và tổng lượng trung bình năm tại trạm Châu Đốc.

3.2. Xu thế biến đổi

3.2.1. Các đặc trưng dòng chảy

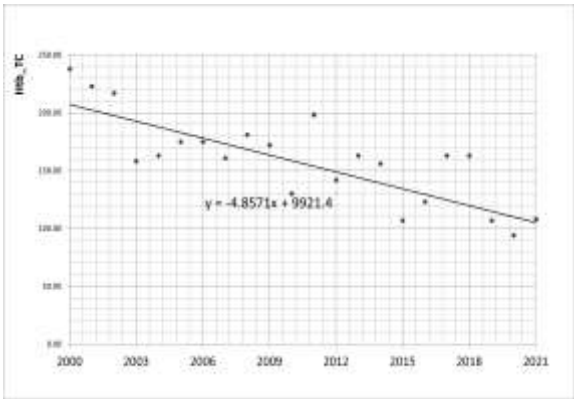
- Mực nước

Kết quả kiểm định Mann-Kendall xu thế biến đổi của mực nước tại Tân Châu và Châu Đốc được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 3. Kết quả kiểm định Mann-Kendall xu thế mực nước tại các trạm đầu nguồn sông Cửu Long

Chỉ số	Htb Châu Đốc	Htb Tân Châu
N	22	22
Min	97	94
Max	220	238
Mean	143,2	159,9
Median	143,5	163
SD	32,14	38,49
M-K Test (S)	-109	-129
Var(S)	35,44	35,31
Z	-3,05	-3,625
P_value	0,0011	0,00014
Sen’s slope	-3,438	-4,857

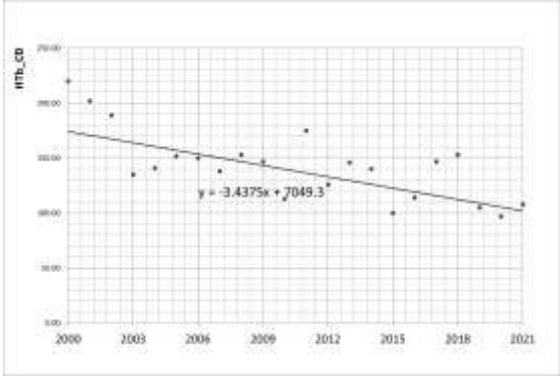
Chú thích: SD - Độ lệch chuẩn; Var (S) - Độ lệch chuẩn của S; Z - Giá trị chuẩn của S; p.value - Mức ý nghĩa.



Hình 11. Xu thế biến đổi của mực nước trung bình (cm) tại Tân Châu.

Kết quả kiểm nghiệm xu thế mực nước ở Bảng 3 cho thấy kết quả kiểm định Mann-Kendall cho giá trị S <0 ở cả trạm Tân Châu và Châu Đốc, điều này chứng tỏ lượng mực nước trung bình có xu thế giảm. Kết quả kiểm định

thống kê M-K test cho thấy tại Tân Châu có P_value =0,0011 và Châu Đốc (P_value=0,00014) thỏa mãn mức ý nghĩa P_value = 0,05 (xác suất sai lầm loại I không quá 5%), như vậy có thể khẳng định mực nước trung bình tại Tân Châu và Châu Đốc có xu thế giảm (Hình 11).



Hình 12. Xu thế biến đổi của mực nước trung bình (cm) tại Châu Đốc.

Xu thế Sen của mực nước trung bình tại Tân Châu cho thấy H_{tb} có xu thế giảm rất rõ rệt với tốc độ giảm 4,85 cm/năm, H_{tb} cả giai đoạn khoảng 159,8 cm, H_{tb} năm cao nhất là 238 cm (xuất hiện vào năm có lũ kỷ lục ở ĐBSCL năm 2000), thấp nhất là 94 cm (năm 2021), chênh lệch H_{tb} giữa năm cao nhất và thấp nhất là 144 cm (gần tương đương với mực nước trung bình nhiều năm). Ngoài ra có thể thấy hơn 10 năm gần đây mực nước trung bình tại Tân Châu chủ yếu thấp hơn so với mực nước trung bình nhiều năm.

Xu thế biến đổi (xu thế Sen) của Htb tại Châu Đốc từ thể hiện trên, giống với trạm Tân Châu, H_{tb} tại Chấu Đốc có xu thế giảm rõ rệt với tốc độ khoảng 3,43 cm/năm, tốc độ xu thế tại Châu Đốc giảm ít hơn so với tại Tân Châu. Htb trung bình nhiều năm ở Châu Đốc khoảng 143,3cm, H_{tb} năm cao nhất là 220 cm (xuất hiện vào năm 2000) và thấp nhất là năm 2021 (H_{tb} khoảng 97 cm), tương tự như tại trạm Tân Châu, mực nước trung bình ở Châu Đốc trong thời đoạn tính toán thấp hơn so với trung bình nhiều năm (trừ các năm 2017, 2018) điều này cho thấy xu thế giảm của mực nước ở Châu Đốc càng thể hiện rõ trong những năm gần đây.

- Lưu lượng

Cùng với việc phân tích xu thế biến đổi của mực nước, bài báo tiến hành phân tích xu thế biến đổi của lưu lượng lớn nhất và lưu lượng trung bình tại Tân Châu và Châu Đốc.

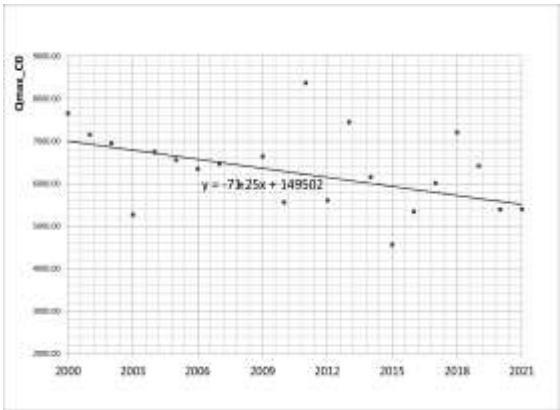
Bảng 3. Kết quả kiểm định Mann-Kendall xu thế lưu lượng tại các trạm đầu nguồn sông Cửu Long

Chỉ số	Qmax Châu Đốc	Qtb Châu Đốc	Qmax Tân Châu	Qtb Tân Châu
N	22	22	22	22
Min	4560	1470	18600	7960
Max	8370	3318	26800	12058
Mean	6331	2350	22514	10050
Median	6385	2412	22045	9910
SD	918.8	520	2527	1267
M-K Test (S)	-73	-94	37	-31
Var (S)	35,46	35,42	35,44	35,46
Z	-2,03	-2,626	1,016	-0,846
P_value	0,02	0,004	0,155	0,199
Sen's slope	-71,25	-46,35	94,44	-52,15

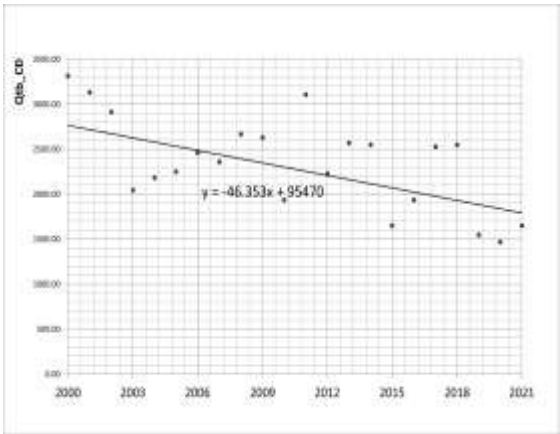
Kết quả kiểm định Mann-Kendall (S) về Q_{max} và Q_{tb}, Kết quả kiểm định thống kê M-K test cho thấy tại Châu Đốc cả Q_{max} và Qtb đều có S < 0 thể hiện xu thế giảm, riêng đối với Tân Châu Q_{max} có S >0 (xu thế tăng) và Qtb có S <0 (thể hiện xu thế giảm). Tuy nhiên xét về mức ý nghĩa thống kê của kiểm định Man-Kendal thì Q_{max} Tân Châu (P_value = 0,155) và Qtb Tân Châu (P_value = 0,199) có P_value > 0,05 không thỏa mãn mức tin cậy 95%, tức là phương trình xu thế không chặt chẽ. Tại Châu Đốc Q_{max} có P_value = 0,02 và Qtb có P_value = 0,004) thỏa

mãn mức ý nghĩa P_value = 0,05, như vậy có thể thấy rằng Q_{max} và Q_{tb} tại Châu Đốc có xu thế rõ ràng, tốc độ xu thế của Qmax và Q_{tb} tại Châu Đốc.

Kết quả thể hiện xu thế biến đổi của Qmax tại Châu Đốc, kết quả cho thấy Q_{max} có xu thế giảm khá nhanh với tốc độ khoảng -71,25 m^3/s/năm, tốc độ giảm của Q_{max} thể hiện sự tương đồng với mức giảm của Htb tại Châu Đốc, Qmax lớn nhất xuất hiện vào năm 2011 với lưu lượng khoảng 8370 m^3/s đây là năm có lũ lớn ở ĐBSCL, Qmax nhỏ nhất xuất hiện vào năm 2015 (năm có hạn hán kỷ lục ở ĐBSCL) với lưu lượng khoảng 4560 m^3/s chỉ bằng khoảng 54% so với năm 2011, như vậy có thể thấy lưu lượng lớn nhất xuất hiện trùng với những năm có mực nước cao và có lũ lớn ở ĐBSCL.



Hình 13. Xu thế biến đổi của lưu lượng cực đại (m^3/s) tại Châu Đốc.



Hình 14. Xu thế biến đổi của lưu lượng trung bình (m^3/s) tại Châu Đốc

Đối với lưu lượng trung bình ở Châu Đốc, xu thế Sen giảm với tốc độ khoảng 46 m^3/s/năm, tốc độ giảm này thấp hơn so với Qmax tại Châu Đốc, Qtb trung bình nhiều năm khoảng 2350 m^3/s, Q_{tb} năm cao nhất là 3318 m^3/s (xuất hiện năm 2000) và thấp nhất là 1470 m^3/s (năm 2020) chỉ bằng 44% so với năm 2000. Lưu lượng trung bình trong khoảng 10 năm trở lại đây chủ yếu thấp hơn so với trung bình nhiều năm đặc biệt là các năm 2015-2016 và ba năm 2019-2021 Q_{tb} thấp hơn so với TBNN từ 30-37%, điều này phản ảnh thực tế lưu lượng nước đổ về Châu Đốc giảm rõ rệt trong những năm gần đây và mực nước ở Châu Đốc có xu thế giảm rõ rệt.

Bảng 5: Bảng tổng hợp xu thế mực nước, lưu lượng ở trạm đầu nguồn sông Cửu Long

Đặc trưng	Sen's slope	P_ value	Xu thế
H_{tb} Châu Đốc (cm)	-3,438	0,001	Xu thế giảm
Q_{max} Châu Đốc (m^3/s)	-71,25	0,020	Xu thế giảm
Q_{tb} Châu Đốc (m^3/s)	-46,35	0.004	Xu thế giảm
H_{tb} Tân Châu (cm)	-4,857	0,0014	Xu thế giảm
Q_{max} Tân Châu (m^3/s)	94,44	0,155	Không đảm bảo ý nghĩa thống kê
Q_{tb} Tân Châu (m^3/s)	-52,15	0,199	Không đảm bảo ý nghĩa thống kê

3.2.2. Bùn cát lơ lửng

- Hàm lượng bùn cát lơ lửng

Bùn cát lơ lửng trong mùa lũ (Tháng IX, X Giai đoạn 1997-2024).

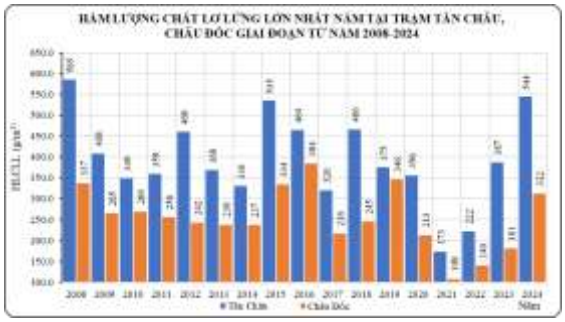
Tổng lượng bùn cát lơ lửng Tân Châu trung bình là 20,2 triệu tấn/năm. Xu thế giảm 650 nghìn tấn/năm (2,3%/năm; 57,2%/25 năm); Tổng lượng bùn cát lơ lửng Châu Đốc trung bình là $2,52*10^6$ tấn/năm. Xu thế giảm 40 nghìn tấn/năm (1,3%/năm; 32,5%/25 năm). So sánh Tân Châu với Châu Đốc, tổng lượng lớn hơn gấp 8,0 lần; Xu thế giảm nhanh gấp 1,8 lần (Hình 15).

Hình 15. Tổng lượng bùn cát lơ lửng tại trạm Tân Châu và Châu Đốc giai đoạn 1997-2024.

Tổng lượng bùn cát lơ lửng về sông Cửu Long có xu thế giảm 690 nghìn tấn/năm (2,2%/năm; giảm 55% sau 25 năm); Tổng lượng bùn cát lơ lửng trung bình nhiều năm (Tháng IX, X) là 22,7 triệu tấn/năm, trong đó: 89% qua Tân Châu, 11% qua Châu Đốc.

- Bùn cát lơ lửng hàng năm (Giai đoạn 2008-2024).

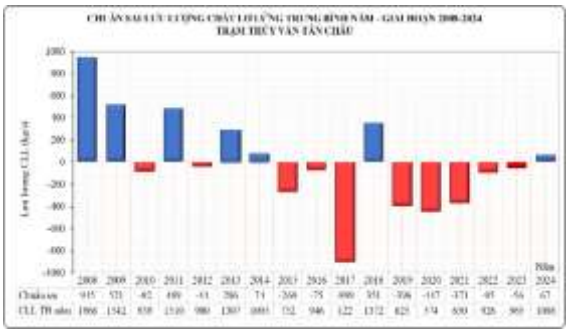
Hàm lượng bùn cát lơ lửng lớn nhất năm tại Trạm Tân Châu xu thế giảm 2,2%/năm (31,3%/17 năm). Trạm Châu Đốc xu thế giảm 1,7%/năm (24,1%/17 năm). So sánh Tân Châu với Châu Đốc, xu thế giảm nhanh hơn 1,3 lần (Hình 16).



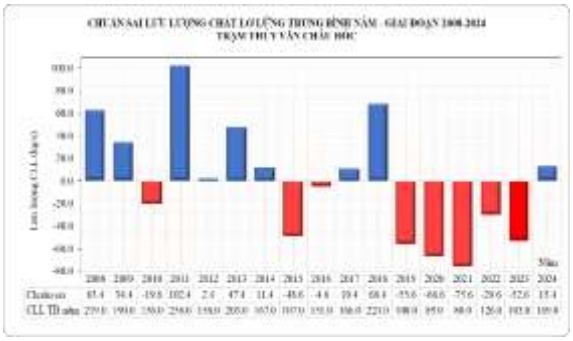
Hình 16. Nồng độ bùn cát lơ lửng lớn nhất năm trạm Tân Châu và Châu Đốc giai đoạn 2008-2024

Hàm lượng bùn cát lơ lửng trung bình năm tại Trạm Tân Châu xu thế giảm 3,8%/năm (53,0%/17 năm). Trạm Châu Đốc xu thế giảm 2,2%/năm (30,3%/17 năm). So sánh Tân Châu với Châu Đốc, xu thế giảm nhanh hơn 1,7 lần.

Lưu lượng bùn cát lơ lửng tại Tân Châu có xu thế giảm, các giai đoạn thiếu hụt nhiều nhất từ năm 2015-2017, 2019-2022, năm 2017 giảm nhiều nhất là 898 kg/s. Tương tự như sông Tiền, trên sông Hậu tại Châu Đốc có xu thế giảm, tuy nhiên năm 2021 là năm giảm nhiều nhất, điều này cho thấy sự do có phân phối dòng chảy qua sông Hậu trong những năm gần đây giảm dần (Hình 17, 18).



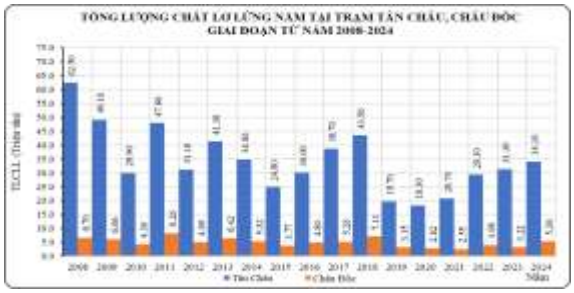
Hình 17. Chuẩn sai lưu lượng bùn cát lơ lửng trung bình năm trạm Tân Châu giai đoạn 2008-2024.



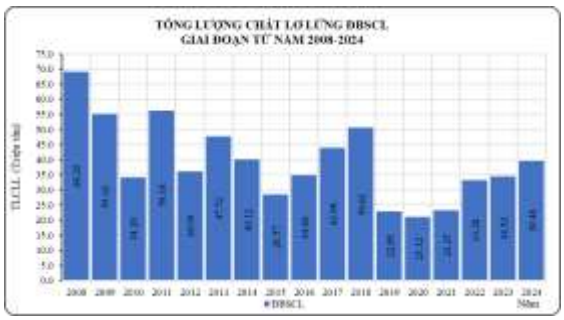
Hình 18. Chuẩn sai lưu lượng bùn cát lơ lửng trung bình năm trạm Châu Đốc giai đoạn 2008-2024.

Tổng lượng bùn cát lơ lửng hàng năm tại Trạm Tân Châu xu thế giảm 4,2%/năm (58,2 %/17 năm). Trạm Châu Đốc xu thế giảm 3,4%/năm (47,4%/17 năm). So sánh Tân Châu với Châu Đốc, tổng lượng bùn cát lơ lửng lớn hơn gấp 6,9 lần; có 87% qua Tân Châu và 13% qua Châu Đốc. Xu thế giảm nhanh gấp 1,2 lần (Hình 18-21).

Kết quả đo đạc và tính toán về bùn cát lơ lửng của sông Mê Công chảy vào ĐBSCL qua 2 trạm Tân Châu và Châu Đốc cho thấy xu thế giảm nhanh của bùn cát lơ lửng (cả 2 yếu tố hàm lượng và tổng lượng).

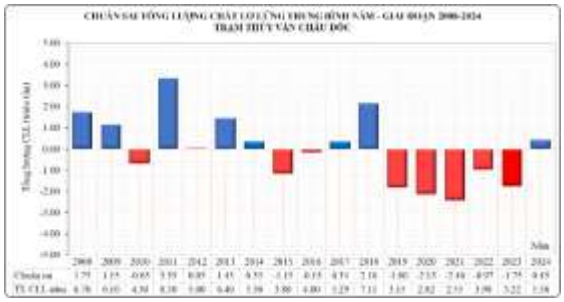


Hình 18. Tổng lượng bùn cát lơ lửng năm trạm Châu Đốc giai đoạn 2008-2024.



Hình 19. Tổng lượng bùn cát lơ lửng năm trạm Tân Châu giai đoạn 2008-2024.

Hình 20. Chuẩn sai tổng lượng bùn cát lơ lửng trung bình năm trạm Tân Châu giai đoạn 2008-2024.



Hình 21. Chuẩn sai tổng lượng bùn cát lơ lửng trung bình năm trạm Châu Đốc giai đoạn 2008-2024.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy: giá trị dòng chảy các trạm đầu nguồn sông Cửu Long – nơi nhận nước từ sông Mê Công vào ĐBSCL có lượng phong phú, song phân bố không đều theo thời gian, mùa lũ từ tháng V đến tháng XI chiếm tới 80-90% tổng lượng, mùa kiệt từ tháng XII đến tháng IV năm sau chỉ có 10-20% tổng lượng. Lưu lượng nhỏ nhất trung bình ngày hàng năm của sông Tiền qua trạm Tân Châu dao động từ 1.100- 3.900 m^3/s, của sông Hậu qua trạm Châu Đốc từ 250-600 m^3/s. Lưu lượng nhỏ nhất năm (Q chảy ngược) của sông Tiền khoảng từ -5.000 đến -19.000 m^3/s; sông Hậu -1.800 đến -2.100 m^3/s.

Xu thế mực nước trung bình tại Tân Châu và Châu Đốc có xu thế giảm rất rõ rệt (đảm bảo tiêu chuẩn kiểm định). Tại Tân Châu có tốc độ giảm 4,85 cm/năm, H_{tb} cả giai đoạn phân tích giảm 159,8 cm; tại Châu Đốc có tốc độ khoảng giảm 3,43 cm/năm, Htb cả giai đoạn phân tích giảm 143,3 cm.

Xu thế lưu lượng lớn nhất và trung bình tại Châu Đốc giảm rõ rệt và đảm bảo mức ý nghĩa kiểm định và kết quả cho thấy có xu thế giảm: Qmax giảm 71,25 m^3/s/năm, Qtb giảm 46 m^3/s/năm. Còn xu thế lưu lượng lớn nhất và trung bình tại trạm Tân Châu không đảm bảo mức ý nghĩa kiểm định, tuy nhiên xu thế Qmax tăng 94,44 m^3/s/năm và Qtb giảm 52,15 m^3/s/năm.

Xu thế bùn cát lơ lửng từ 1997 đến nay: tổng lượng bùn cát lơ lửng trung bình nhiều năm về ĐBSCL qua Tân Châu và Châu Đốc là 22,7 triệu tấn/năm, trong đó: 89% qua Tân Châu, 11% qua Châu Đốc. Tổng lượng bùn cát lơ lửng về sông Cửu Long có xu thế giảm khoảng 690 nghìn tấn/năm (giảm 2,2%/năm; giảm 55% sau 25 năm); Nồng độ bùn cát lơ lửng lớn nhất năm tại Trạm Tân Châu xu thế giảm 2,2%/năm (31,3%/17 năm). Trạm Châu Đốc xu thế giảm 1,7%/năm (24,1%/17 năm). Tổng lượng bùn cát lơ lửng hàng năm tại Trạm Tân Châu xu thế giảm 4,2%/năm (58,2 %/17 năm). Trạm Châu Đốc xu thế giảm 3,4%/năm (47,4%/17 năm).

Bài báo đã tiến hành phân tích xu thế các đặc trưng dòng chảy ở hai trạm đầu nguồn sông Cửu Long (nơi tiếp nhận nguồn nước từ sông Mê

Công) chảy về ĐBSCL từ số liệu thực đo ở các trạm cơ bản với dữ liệu đồng bộ và đủ dài. Kết hợp với việc sử dụng phương pháp phân tích phi tham số Mann-Kendal kết hợp Sen's slope đã cho thấy những kết quả sự thay đổi mang tính xu thế của giá trị mực nước là giảm rõ rệt; trong khi đó lưu lượng dòng chảy tại sông Hậu giảm, sông Tiền còn phân tán; tổng lượng bùn cát lơ lửng về sông Cửu Long có xu thế giảm khoảng 690 nghìn tấn/năm (hơn 1 nửa kể từ 2000).

5. Thảo luận

Những kết quả công bố của nghiên cứu này là minh chứng rõ nét và tin cậy, có tính thực tế rất cao cho những nhận định về suy giảm nguồn nước (cả số lượng và bùn cát) về ĐBSCL trong những năm gần đây, đặc biệt là sau khi có hệ thống công trình khai thác phía thượng lưu sông Mê Công. Đây cũng là những đóng góp hữu ích cho cộng đồng khoa học khi đánh giá tác động của các yếu tố khác nhau đến dòng chảy vùng ĐBSCL, từ đó có những nghiên cứu thiết thực và sát thực tiễn hơn. Tuy nhiên, trong khuôn khổ bài báo mới chỉ dừng ở một phương pháp mà chưa đánh giá đến sự thay đổi từ các nước thượng lưu thông qua phân tích ảnh viễn thám cũng như các dữ liệu vận hành hồ chứa. Đây sẽ là hướng nghiên cứu tiếp theo của tập thể tác giả trong các công bố sau.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.V. N., C. T. V.; Xử lý số liệu: L. V. N., N. T. G., C. T. V.; Viết bản thảo bài báo: L. V. N., C. T. V.; Chỉnh sửa bài báo: N. T. G.

Lời cảm ơn

Kết quả bài báo là một phần nội dung của Luận án tiến sĩ của NCS Lưu Văn Ninh. Đồng thời nhóm tác giả cảm ơn sự hỗ trợ dữ liệu từ đề tài KHCN cấp tỉnh An Giang: "Nghiên cứu xây dựng thử nghiệm hệ thống cảnh báo sớm nguy cơ sạt lở do hiện tượng thời tiết cực đoan trên nền tảng trí tuệ nhân tạo".

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.

Tài liệu tham khảo

[1] C. T. Van et al., Assessment of Changes in Surface Runoff at Characteristic Sites in the Dong Thap Muoi Area. Hydro-Meteorology Journal, Vol. 692, 2018, pp 19-25 (in Vietnamese).

[2] T. H. Thai et al., Changes in River Flow in the Mekong Delta, Hydro-Meteorology Journal, Vol. 7-2014 (in Vietnamese).

[3] L. V. Ninh et al., Study on the Development of a Meteorological and Hydrological Database for An Giang Province in the Context of Climate Change, Final Summary Report of the Province Science and Technology Project (in Vietnamese), 2018.

[4] L. V. Ninh, N. M. Giam, Climate Features of An Giang Province, Hydro-Meteorology journal, 12/2017, pp 18-26 (in Vietnamese).

[5] C. T. Van, N. T. Son, Hydrological and Hydraulic Modeling of the Mekong River Delta to Assess the Impact of the Dike System on Surface Runoff Changes in the Dong Thap Muoi Area, VNU Science Journal: Earth and Environmental Sciences, Vol. 32, 3S, 2016 (in Vietnamese).

[6] N. T. P. Mai, Impacts of Upstream Dams on Salinity Dynamics in the Mekong River Estuary Region, Journal of Water Resources and Environmental Engineering, Vol. 58, 2017 (in Vietnamese).

[7] N. V. Manh et al., Large-scale Suspended Sediment Transport and Sediment Deposition in the Mekong Delta. HESS (in Vietnamese).

[8] T. Q. Toan, T. D. Thang, Analysis of the Impacts of Upstream Reservoirs on Dry-Season Hydrological Changes in the Mekong Delta, Journal of Water Resources Science and Technology Vol. 31, 2016 (in Vietnamese).

[9] T. Q. Toan et al., Study on the Assessment of the Impacts of Cascade Hydropower Projects on the Mainstream of the Lower Mekong River on Flow Regime, Environment, and Socio-Economic Conditions in the Mekong Delta, and Proposed Mitigation Measures, Final Summary Report of the National Science and Technology Project, KC, Vol. 08, No. 13, 2016, pp. 11-15 (in Vietnamese).

[10] D. V. Duy et al., Assessing River Corridor Stability and Erosion Dynamics in the Mekong Delta: Implications for Sustainable Management, Earth, Vol. 6, No. 2, 2025, pp. 34, https://doi.org/10.3390/earth6020034.

[11] T. Tamura et al., Long-term Sediment Decline Causes Ongoing Shrinkage of the Mekong Megadelta, Vietnam, Scientific Reports, Vol. 10, 2020, https://doi.org/10.1038/s41598-020-64630-z.

[12] C. T. Da et al., Farmers' Perceived Impact of High-Dikes on Rice and Wild Fish Yields, Water Quality, and Use of Fertilizers in the Mekong Delta, Vietnam, Published as part of ACS ES&T Water Virtual Special Issue Navigating Challenges and Charting Solutions of Water Issues in South East Asia, 2024.

[13] V. H. T. Pham, et al., Impact of Water Resources Variation on Winter–Spring Rice Yield in the upper Vietnamese Mekong Delta: A Case Study of An Giang Province. Irrigation & Drainage, Vol. 73, 2024, pp. 574-587.

[14] V. T. Linh et al., Application of Modeling to Assess Flood and Salinity Intrusion Trends under Climate Change: A Pilot Study in Ho Chi Minh City, Hydro-Meteorology Journal, 2019, pp. 98-110 (in Vietnamese).

[15] N. V. Tin, Assessment of Long-Term Rainfall Trends in Peak Periods in Ho Chi Minh City (1971–2016) Using the Non-Parametric Mann-Kendall Test, Hydro-Meteorology Journal, Vol. 11, 2017, pp. 52-55 (in Vietnamese).

[16] N. D. Thanh et al., Assessment of Trends in Selected Meteorological Parameters (1961–2007) Using Non-Parametric Tests, Journal of Science, Vietnam National University – Hanoi, Natural Sciences and Technology, Vol. 28, 2012, pp. 129-135 (in Vietnamese).

[17] N. V. Tin, C. T. Van, et al., Analysis of Rainfall Trend Changes in the Central Highlands Region during 1990–2021, Hydro-Meteorology Journal, Vol. 744, No. 1, 2022, pp 15-25, https://doi.org/10.36335/VNJHM.2022(744(1)).15-25 (in Vietnamese).

[18] P. V. Tan et al., Trends and Magnitude of Extreme Temperature Changes in Vietnam During 1961–2007, Journal of Science, Vietnam National University – Hanoi, Natural Sciences and Technology, Vol. 25, No. 3S, 2009, pp. 412-422 (in Vietnamese).

[19] D. T. N. Canh et al., Nonparametric Estimation Approach for Evaluating the Trend of Hydro-Meteorological Factors in Quang Nam-Da Nang, Journal of Science and Technology – University of Danang, 2021, pp. 8-13 (in Vietnamese).

[20] F. F. Chacón, D. P. Velázquez, J. J. Sánchez, P. J. Sáez, A. J. C. Lara, J. A. L. Espinar, Trends Analysis of Precipitation and Temperature in the Alto Genil Basin (Southeast Spain) from 1970 to 2010, in EGU General Assembly Conference Abstracts, 2016, pp. EPSC2016-14606.

[21] Ü. Güner Bacanli, Trend Analysis of Precipitation and Drought in the Aegean Region, Turkey, Meteorological Applications, Vol. 24, No. 2, 2017, pp. 239-249.

[22] P. T. Minh et al., Applying the Mann-Kendall Method to Test the Change Trend of Rainfall and Temperature in Bac Lieu Province 1980-2022, VNUHCM Journal of Earth Science Environment, Vol. 8, No. 2, 2024, pp. 975-987 (in Vietnamese).

[23] A. Mustapha, Detecting Surface Water Quality Trends Using Mann-Kendall Tests and Sen's Slope Estimates, International Journal of Agriculture Innovations Research, Vol. 1, 2013, pp. 108-114.

[24] R. Yadav, S. Tripathi, G. Pranuthi, S. Dubey, Trend Analysis by Mann-Kendall Test for Precipitation and Temperature for Thirteen Districts of Uttarakhand, Journal of Agrometeorology, Vol. 16, 2014, No. 2, pp. 164-171.

[25] J. Mallick et al., Analysing the Trend of Rainfall in Asir Region of Saudi Arabia Using the Family of Mann-Kendall Tests, Innovative Trend Analysis, and Detrended Fluctuation Analysis, Theoretical Applied Climatology, Vol. 143, 2021, No. 1, pp. 823-841.

[26] F. Aditya, E. Gusmayanti, J. Sudrajat, Rainfall Trend Analysis Using Mann-Kendall and Sen's Slope Estimator Test in West Kalimantan, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, Vol. 893, 2021, No. 1, pp. 012006

[27] A. Marsick, H. André, I. Khelf, Q. Leclère, J. Antoni, Benefits of Mann–Kendall Trend Analysis for Vibration-Based Condition Monitoring, Mechanical Systems Signal Processing, Vol. 216, 2024, pp. 111486.

[28] S. Alashan, Non-monotonic Trend Analysis Using Mann–Kendall with Self-Quantiles, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 155, No. 2, 2024, pp. 901-910.

[29] M. G. Kendall, Rank Correlation Methods, 1948.

[30] R. O. Gilbert, Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, John Wiley & Sons, 1987.