

XU THẾ BIẾN ĐỘNG LƯU LƯỢNG VÀ MỨC NƯỚC TRÊN SÔNG HỒNG ĐOẠN QUA HÀ NỘI

TRENDS OF DISCHARGE AND WATER LEVEL VARIATIONS ON THE RED RIVER IN THE HANOI AREA, VIETNAM

➔ **Hoàng Nam Bình, Nguyễn Thanh Nga** - Trường Đại học Giao thông vận tải -
Email: ntnga@utc.edu.vn

Tóm tắt: Nghiên cứu xu thế biến động lưu lượng và mực nước được thực hiện nhằm làm rõ đặc điểm thay đổi của dòng chảy theo thời gian và xác định các nguyên nhân chi phối. Nghiên cứu sử dụng chuỗi số liệu 21 năm (2004 ÷ 2024) và áp dụng phương pháp phi tham số Mann-Kendall kết hợp với ước lượng độ dốc Sen's slope để phân tích xu thế và tốc độ biến đổi của lưu lượng và mực nước trên sông Hồng đoạn qua Hà Nội tại các trạm thủy văn Sơn Tây và Hà Nội. Các đặc trưng trung bình năm, lớn nhất năm, nhỏ nhất năm và cùng đặc trưng trung bình tháng được xem xét trong quá trình phân tích. Kết quả cho thấy các đặc trưng lưu lượng và mực nước tại Sơn Tây và Hà Nội có thể có các xu thế tăng hoặc giảm hoặc không rõ ràng nhưng xét về mực nước thì hầu hết các đặc trưng đều có xu thế giảm khá rõ rệt. Sự suy giảm này không bắt nguồn từ sự biến động của lưu lượng mà phản ánh tác động của việc hạ thấp lòng dẫn do nhiều nguyên nhân khác nhau, trong đó có nguyên nhân khai thác tài nguyên trên lưu vực. Các kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học quan trọng cho công tác quản lý, khai thác hợp lý tài nguyên nước, đồng thời gợi ý các giải pháp nhằm bảo đảm an toàn hệ sinh thái và các công trình giao thông, thủy lợi trên khu vực.

Từ khóa: Lưu vực sông Hồng, Chỉ số Mann - Kendall, Độ dốc Sen's slope, Hạ thấp mực nước.

Abstract: The present study was conducted to ascertain the characteristics of flow changes over time and to identify the dominant causes. To this end, a study of discharge and water level fluctuation trends was conducted. The study employed a 21-year data series (2004-2024) and utilized the non-parametric Mann-Kendall method, in conjunction with Sen's slope estimation, to analyze the trends and change rates of discharge and water level at Son Tay and Ha Noi hydrological stations on the Red River in the Hanoi area. The analysis process entailed a thorough examination of the annual average, annual maximum, annual minimum, and monthly average characteristics. The results definitively show that the discharge and water level at Son Tay and Ha Noi are either increasing or decreasing, or not trending. However, the majority of results clearly indicate a downward trend in water levels. This decline does not originate from discharge variations. It clearly shows the impact of riverbed change due to many different causes, including resource exploitation in the basin. This article definitively lays out the scientific foundation for managing and using water resources wisely. It also offers clear solutions to safeguard the ecosystem, traffic, and irrigation systems in the area.

Keywords: Red river basin, Mann - Kendall test, Sen's slope, Riverbed change, Water level decline.

1. GIỚI THIỆU

Lưu vực sông Hồng - Thái Bình (Hình 1) có mạng lưới sông ngòi dày đặc, đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp nước, phù sa và dịch vụ sinh thái cho Đồng bằng Bắc Bộ [1][11]. Diện tích lưu vực khoảng 169.000km², trong đó có 48% thuộc lãnh thổ Trung Quốc, 0,9% thuộc Lào và khoảng hơn 51% thuộc lãnh thổ Việt Nam [1][12].

Lưu vực trải dài từ 20°00' ÷ 25°30' vĩ độ Bắc và 100°00' ÷ 107°10' kinh độ Đông, tiếp giáp với lưu vực sông Trường Giang và Châu Giang (Trung Quốc) ở phía Bắc, sông Mê Kông ở phía Tây, sông Mã ở phía Nam và Vịnh Bắc Bộ ở phía Đông [1].

Lưu vực sông Hồng trên địa phận Việt Nam có ba nhánh chính gồm các sông Đà, Lô và Thao. Sông Đà là nhánh lớn nhất, có tiềm năng thủy điện dồi dào [4]. Sông Lô có chiều dài 464km (275km



Hình 1. Lưu vực sông Hồng - Thái Bình [1]

trong lãnh thổ Việt Nam), cùng các nhánh lớn như sông Gâm và sông Chảy [4]. Sông Thao bắt nguồn từ tỉnh Vân Nam (Trung Quốc), chảy vào biên giới

nước ta thuộc địa phận tại tỉnh Lào Cai [12].

Hệ thống sông Thái Bình nằm hoàn toàn trên lãnh thổ nước ta, hình thành từ ba nhánh sông lớn gồm các sông Cầu, Thương và Lục Nam, hội tụ tại Phả Lại [1]. Sông Hồng và Thái Bình nối thông với nhau qua sông Đuống và sông Luộc, hình thành mạng sông phức tạp. Đồng bằng sông Hồng - Thái Bình có địa hình thấp và phẳng, nhiều khu vực thấp hơn 3m so với mực nước biển, do đó chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của thủy triều và xâm nhập mặn [4].

Khí hậu chung của lưu vực mang đặc trưng nhiệt đới gió mùa, với mùa mưa từ tháng V ÷ X chiếm 80 ÷ 85% tổng lượng mưa năm và mùa khô kéo từ tháng XI ÷ IV năm sau. Lượng mưa trung bình đạt khoảng 1.600mm/năm [1][4]. Tổng dòng chảy năm trung bình khoảng 136km³, trong đó sông Hồng chiếm 93% và sông Thái Bình chiếm 7% [4]. Lũ trên lưu vực có biên độ lớn, với khoảng 3 ÷ 5 trận/năm, thời gian lũ lên 3 ÷ 5 ngày và lũ xuống 5 ÷ 7 ngày, gây áp lực rất lớn cho hệ thống đê dài hơn 5.000km phía hạ du [4].

Các công trình thủy điện lớn, đặc biệt là hồ Hòa Bình (hoàn thành năm 1988), đã làm giảm đáng kể lượng phù sa và thay đổi chế độ dòng chảy. Theo thống kê, lượng bùn cát tại Sơn Tây đã giảm tới 61% sau khi hồ Hòa Bình đi vào hoạt động [4]. Bên cạnh đó, quá trình đô thị hóa, khai thác nước ngầm và khai thác cát lòng sông cũng đang góp phần gia

tăng sụt lún, xói lở và suy giảm chất lượng môi trường nước trong khu vực đồng bằng [5].

Sông Hồng đoạn qua Hà Nội tính từ cầu Trung Hà đến cầu Thanh Trì có 2 trạm thủy văn cấp 1 là Sơn Tây và Hà Nội. Hiện trên dòng chính có 9 cầu theo thứ tự từ thượng lưu về hạ lưu gồm Trung Hà, Văn Lang, Vĩnh Thịnh, Thăng Long, Nhật Tân, Long Biên, Chương Dương, Vĩnh Tuy và Thanh Trì. Các cầu đang và dự kiến xây dựng gồm Vân Phúc, Hồng Hà (trên đường vành đai 4), Thượng Cát (trên đường vành đai 3.5), Tứ Liên (nằm giữa cầu Nhật Tân và Long Biên), Trần Hưng Đạo (nằm giữa Chương Dương và Vĩnh Tuy), Ngọc Hồi và Mễ Sở (trên đường vành đai 4) (Hình 2).

Những năm gần đây, vấn đề hạ thấp mực nước trên các sông đặc biệt được quan tâm. Việc xây dựng các hồ chứa lớn trên dòng chính của các con sông lớn trên thế giới (như Mississippi, Nile, Dương Tử) trong thế kỷ XX đã mang lại nhiều lợi ích (cấp nước, giảm lũ, phát điện) nhưng cũng gây ra tác động tiêu cực, đặc biệt là giảm lượng bùn cát ở hạ du, dẫn đến xói mòn lan truyền sau đập [2][10].

Đối với dòng chảy trên sông Hồng, theo Quang và cs. [5], mặc dù lưu lượng dòng chảy mùa kiệt tại Sơn Tây tăng (nhờ điều tiết hồ chứa, từ 1.200m³/s lên 1.800m³/s, nhưng mực nước lại liên tục giảm. Mực nước bình quân tháng II tại Sơn Tây giảm từ 5.5m (năm 2000) xuống còn khoảng 3.17m (năm 2017). Mực nước tại Sơn Tây đã giảm đến mức nghiêm trọng, làm cho nhiều công trình thủy lợi trên các sông khu vực thượng lưu trạm Hà Nội không thể hoạt động, kể cả trong trường hợp các hồ chứa thượng nguồn đã xả nước hết công suất. Hầu hết các công trình lấy nước (cống, trạm bơm) vùng đồng bằng sông Hồng được thiết kế với mực nước tại Sơn Tây là 5.5m và Hà Nội là 2.5m. Với mực nước hạ thấp như hiện nay, nhiều công trình chính ở thượng lưu trạm Hà Nội (Bạch Hạc, Đại Định, Phù Sa, Cẩm Đình, Liên Mạc, Thanh Diềm, Ấp Bắc) không thể lấy được nước, ảnh hưởng nghiêm trọng đến sản xuất nông nghiệp và môi trường.

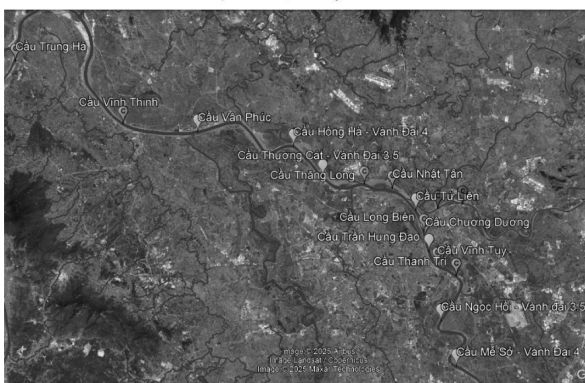
Nhằm làm rõ hơn về xu thế biến động của lưu lượng và mực nước trên sông Hồng đoạn qua Hà Nội, nghiên cứu thực hiện phân tích các đặc trưng lưu lượng và mực nước trung bình ngày của 21 năm (2004 - 2024) tại trạm thủy văn Sơn Tây và Hà Nội bằng phương pháp phi tham số Mann-Kendall [3] [6] kết hợp với ước lượng độ dốc Sen's slope [8] để phân tích xu thế và tốc độ biến đổi.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phân tích xu thế của các chuỗi số liệu khí tượng thủy văn có ý nghĩa quan trọng trong bối cảnh biến đổi khí hậu và hoạt động khai thác con người tác



a) Các trạm thủy văn



b) Các cầu hiện có và dự kiến

Hình 2. Sông Hồng đoạn qua Hà Nội

động đến dòng chảy. Việc xác định xu thế biến đổi không chỉ giúp hiểu rõ hơn về đặc điểm thủy văn khu vực nghiên cứu mà còn hỗ trợ quy hoạch, quản lý và khai thác tài nguyên nước bền vững.

Đối với chuỗi số liệu thủy văn, các phương pháp thống kê phi tham số được coi là phù hợp trong việc đánh giá chuỗi số liệu do quy luật phân bố thường không tuân theo phân phối chuẩn, đồng thời cũng thường xuất hiện nhiều giá trị đặc biệt nằm ngoài quy luật chung. Một chỉ tiêu phổ biến áp dụng để phát hiện xu thế của chuỗi thời gian là chỉ số Mann-Kendall (MK test) do Mann [6] đề xuất năm 1945 và Kendall [3] phát triển năm 1975. Phương pháp này được ứng dụng nhiều bởi tính đơn giản, có khả năng áp dụng cho dữ liệu không có phân phối chuẩn.

Bên cạnh việc xác định sự tồn tại của xu thế, nhiều nghiên cứu khuyến nghị sử dụng kết hợp với ước lượng độ dốc Sen (Sen's slope [8]) nhằm định lượng tốc độ thay đổi trung bình của chuỗi dữ liệu [7][9].

Mann-Kendall hoạt động dựa trên việc so sánh tất cả các cặp giá trị trong một chuỗi thời gian. Đối với mỗi cặp (x_i, x_j) với $i < j$, nếu $x_j > x_i$ là một cặp tăng, nếu $x_j < x_i$ là một cặp giảm và khi $x_j = x_i$ là một cặp không thay đổi.

Với S là tổng số cặp dữ liệu tăng trừ đi tổng số cặp dữ liệu giảm, xét trên tất cả các cặp dữ liệu nêu trên, nếu $S > 0$ thì chuỗi có xu thế tăng, nếu $S < 0$ thì chuỗi có xu thế giảm và nếu S xấp xỉ 0 thì chuỗi không có xu thế rõ rệt. Công thức tính S được biểu diễn như sau:

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

$$\text{Trong đó: } \text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{khi } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{khi } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{khi } x_j - x_i < 0 \end{cases}$$

Giá trị tuyệt đối của $|S|$ càng lớn thì xu thế biến động càng mạnh.

Để kiểm định ý nghĩa thống kê, sử dụng phương sai $\text{Var}(S)$ để chuẩn hóa S thành giá trị Z (chuẩn hóa sang phân phối chuẩn). Giá trị Z được tính dựa trên giả định rằng khi n đủ lớn ($n > 10$) thì giá trị S sẽ tuân theo phân phối chuẩn.

Trường hợp chuỗi không có các giá trị giống nhau thì $\text{Var}(S)$ xác định theo công thức:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (2)$$

Trường hợp chuỗi có các nhóm giá trị giống nhau thì $\text{Var}(S)$ xác định theo công thức:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} - \frac{\sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p-5)}{18} \quad (3)$$

Trong đó: n là độ dài chuỗi dữ liệu; g là số nhóm có giá trị giống nhau; t_p là độ dài chuỗi dữ liệu trong nhóm thứ p giống nhau.

Sau khi xác định được $\text{Var}(S)$ thì Z được xác định như sau:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{khi } S > 0 \\ 0 & \text{khi } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{khi } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Mức ý nghĩa thống kê P-value là xác suất để quan sát được xu thế biến động nào đó của chuỗi thống kê hoặc thậm chí còn cực đoan hơn trong trường hợp giả thiết chuỗi không có xu thế. Để kết luận xu thế có ý nghĩa thống kê, P-value được so sánh với một ngưỡng ý nghĩa (α) cho trước, thường là 0.05 (tương ứng với độ tin cậy 95%). Nếu P-value $\leq \alpha$ đồng nghĩa với việc bác bỏ giả thuyết không có xu thế, nghĩa là chuỗi có xu thế (tăng hoặc giảm) và có ý nghĩa thống kê. Ngược lại, P-value $> \alpha$ thì không đủ cơ sở bác bỏ giả thuyết trên, đồng nghĩa xu thế quan sát được không có ý nghĩa thống kê.

P-value được xác định từ giá trị chuẩn hóa Z . Vì chỉ số Mann-Kendall xác định cả xu thế tăng hoặc giảm nên P-value được xác định theo công thức kiểm định 2 phía:

$$P\text{-value} = 2(1 - \Phi(|Z|)) \quad (5)$$

Trong đó, $\Phi(Z)$ là hàm phân phối lũy tích chuẩn.

Như vậy, xu thế biến đổi của chuỗi được kết luận theo tiêu chí sau:

- Nếu $Z > 0$ và P-value $\leq \alpha$ thì chuỗi có ý nghĩa thống kê và có xu thế tăng.

- Nếu $Z < 0$ và P-value $\leq \alpha$ thì chuỗi có ý nghĩa thống kê và xu thế giảm.

- Nếu P-value $> \alpha$ (với mọi giá trị Z mang "dương" hoặc "âm") thì đều không có ý nghĩa thống kê (xu thế có thể là ngẫu nhiên).

Sen's slope là một phương pháp phi tham số để ước tính tốc độ biến đổi của chuỗi thời gian. Ưu điểm của phương pháp này là ít bị ảnh hưởng bởi các giá trị cực trị so với phương pháp hồi quy tuyến tính. Độ dốc Sen được tính cho tất cả các cặp giá trị dữ liệu (x_i, x_j) với $j > i$:

$$\text{Sen}_i = \frac{x_j - x_i}{j - i} \quad (6)$$

Giá trị Sen's slope là số giữa (trung vị - ME) của tất cả các giá trị Sen_i được sắp xếp theo thứ tự tăng dần hoặc giảm dần:

$$\text{Sen's slope} = \text{ME}(\text{Sen}_1, \text{Sen}_2, \dots, \text{Sen}_n) \quad (7)$$

- Nếu Sen's slope > 0, xu hướng là tăng.
- Nếu Sen's slope < 0, xu hướng là giảm.
- Nếu Sen's slope ≈ 0, không có xu hướng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Dữ liệu nghiên cứu

Chuỗi số liệu thu thập là chuỗi giá trị theo ngày của yếu tố mực nước (H-cm) và lưu lượng (Q-m³/s) thực đo tại trạm thủy văn Sơn Tây và Hà Nội. Vị trí các trạm thể hiện trên Hình 2a. Các đặc trưng thống kê của bộ số liệu 21 năm (2004 ÷ 2024) được thể hiện trên Bảng 1, với N là độ dài chuỗi, TB là giá trị, Max là giá trị lớn nhất, Min là giá trị nhỏ nhất, σ là phương sai, Cv là hệ số biến đổi, Cs là hệ số bất đối xứng.

Bảng 1. Các đặc trưng thống kê của chuỗi số liệu nghiên cứu

Trạm	Sơn Tây		Hà Nội	
	Q	H	Q	H
N	7671	7671	7671	7671
TB	3091.87	478.02	1999.36	323.92
Max	23100	1364	13700	3370
Min	493	33	189	33
σ	2177.3	236.4	1480.80	274.95
Cv	0.70	0.49	0.74	0.85
Cs	1.94	0.64	2.09	2.92

Từ chuỗi số liệu thu thập, các đặc trưng được phân tích xu thế gồm H, Q trung bình, lớn nhất, nhỏ nhất năm và các tháng I đến XII.

3.2. Xu thế đặc trưng năm

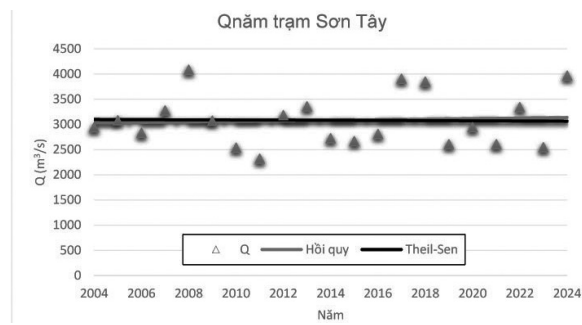
Lưu lượng trung bình 21 năm (2004 ÷ 2024) tại trạm Sơn Tây, Hà Nội và Thượng Cát lần lượt là 3092m³/s, 1999m³/s và 3090m³/s. Tổng lưu lượng trung bình 21 năm gần đây của trạm Hà Nội và Thượng Cát là 3090m³/s, xấp xỉ lưu lượng tại Sơn Tây. Dòng chảy trên sông Hồng từ Sơn Tây về Hà Nội được phân lưu một phần qua sông Đuống với tỷ lệ khoảng 35% và chảy qua trạm Hà Nội khoảng 65%.

Phân tích xu thế biến động lưu lượng trung bình năm trạm Sơn Tây và Hà Nội với độ tin cậy 95% (mức ý nghĩa α = 0.05) cho thấy chuỗi thống kê tại trạm Sơn Tây và Hà Nội đều không có ý nghĩa thống kê và xu thế không rõ rệt theo chỉ tiêu Mann-Kendall. Đối với yếu tố mực nước trung bình năm, tại Sơn Tây cho thấy chuỗi có ý nghĩa thống kê và có xu hướng giảm rõ rệt theo chỉ tiêu Mann-Kendall, mức độ giảm theo độ dốc Sen là 22,7cm/năm xấp xỉ mức độ giảm theo hệ số góc của phương trình hồi

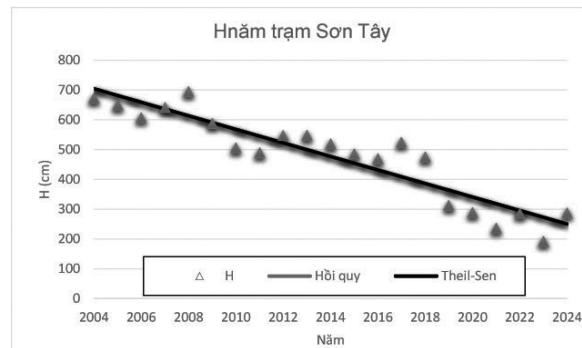
quy tuyến tính ($k_{\text{HOTT}} = 22,6\text{cm/năm}$). Tuy nhiên đối với trạm Hà Nội thì chuỗi được xác định là không có ý nghĩa thống kê và xu thế không rõ rệt. Kết quả phân tích xu thế của các đặc trưng này tại trạm Sơn Tây và Hà Nội được thể hiện trên Bảng 2 và Hình 3 ÷ Hình 6.

Bảng 2. Các thông số phân tích xu thế đặc trưng lưu lượng và mực nước trung bình năm tại Sơn Tây và Hà Nội

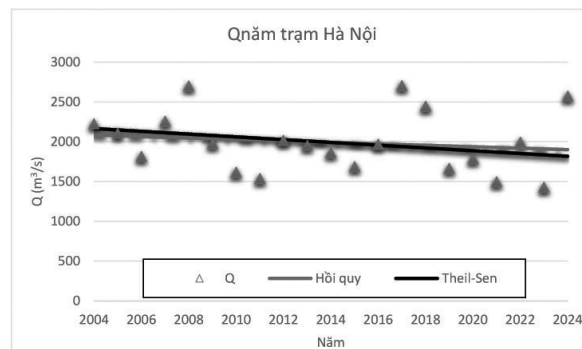
Thông số	Sơn Tây		Hà Nội	
	Q	H	Q	H
Var(S)	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67
Z	-0.030	-4.982	-1.117	-1.419
P-value	0.976	0.000	0.264	0.156
Ý nghĩa TK	Không	Có	Không	Không
Xu thế	Không	Giảm	Không	Không
Sen's slope	-1.71	-22.70	-17.41	-4.39
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	5.48	-22.63	-9.22	-2.54



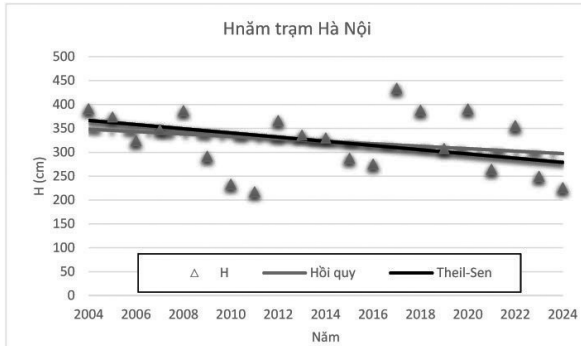
Hình 3. Xu thế lưu lượng trung bình năm trạm Sơn Tây



Hình 4. Xu thế mực nước trung bình năm trạm Sơn Tây



Hình 5. Xu thế lưu lượng trung bình năm trạm Hà Nội

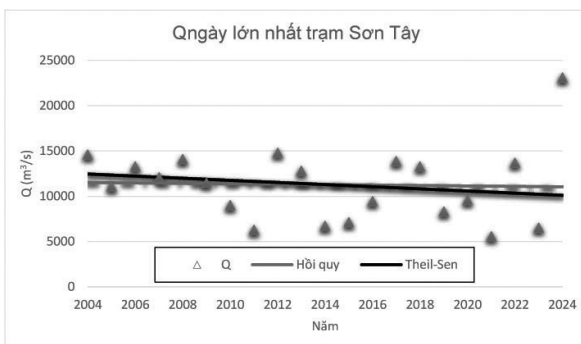


Hình 6. Xu thế mực nước trung bình năm trạm Hà Nội

Đối với đặc trưng lưu lượng và mực nước trung bình ngày lớn nhất năm, tại trạm Sơn Tây, theo chỉ tiêu Mann-Kendall xu thế biến động của đặc trưng lưu lượng là không rõ rệt nhưng xu thế mực nước lại giảm với mức độ 29cm/năm theo tiêu chí Sen's slope. Tại trạm Hà Nội, chuỗi đặc trưng lưu lượng không có ý nghĩa thống kê và xu thế không rõ rệt nhưng mực nước lại có xu thế tăng với mức gia tăng Sen's slope = 61,5cm/năm. Kết quả chi tiết thể hiện trong Bảng 3 và Hình 7 ÷ Hình 10.

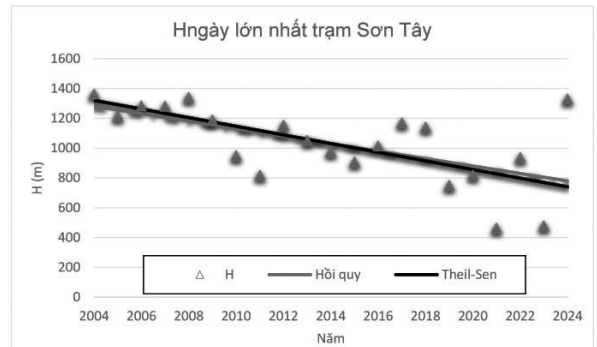
Bảng 3. Các thông số phân tích xu thế đặc trưng lưu lượng và mực nước ngày lớn nhất năm tại Sơn Tây và Hà Nội

Thông số	Sơn Tây		Hà Nội	
Yếu tố	Q	H	Q	H
Var(S)	1095.67	1096.67	1095.67	1096.67
Z	-0.846	-2.989	-1.631	2.144
P-value	0.398	0.003	0.103	0.032
Ý nghĩa TK	Không	Có	Không	Có
Xu thế	Không	Giảm	Không	Tăng
Sen's slope	-117.5	-29.00	-196.25	61.51
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	-23.36	-25.1	-106.92	70.56

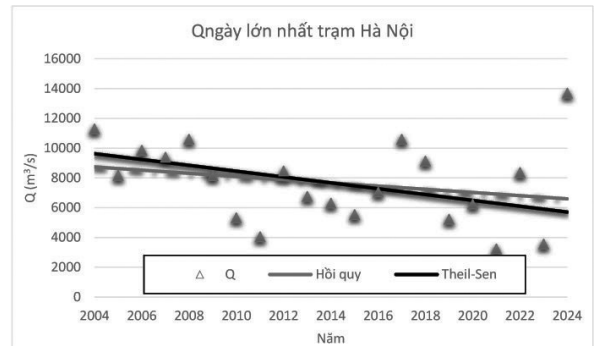


Hình 7. Xu thế lưu lượng trung bình ngày lớn nhất năm trạm Sơn Tây

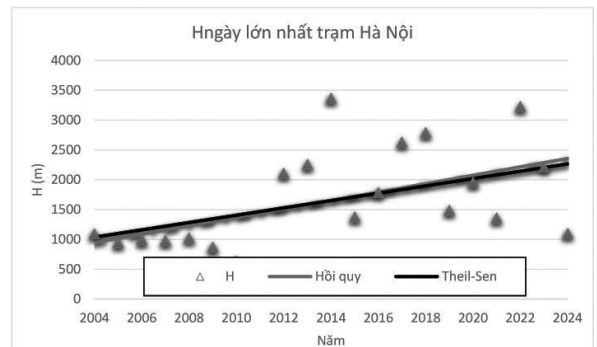
Đối với đặc trưng trung bình ngày nhỏ nhất năm, theo chỉ tiêu Mann-Kendall, lưu lượng tại trạm Sơn Tây và Hà Nội đều không có ý nghĩa thống kê và xu thế không rõ rệt (Bảng 4, Hình 11, Hình 12). Về mực nước, xu thế chung ghi nhận được ở cả 2 trạm là giảm với mức độ khác nhau



Hình 8. Xu thế mực nước trung bình ngày lớn nhất năm trạm Sơn Tây



Hình 9. Xu thế lưu lượng trung bình ngày lớn nhất năm trạm Hà Nội

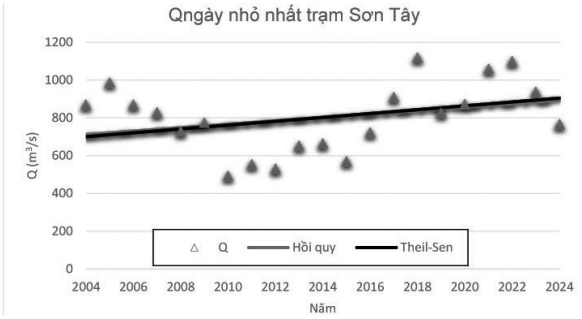


Hình 10. Xu thế mực nước trung bình ngày lớn nhất năm trạm Hà Nội

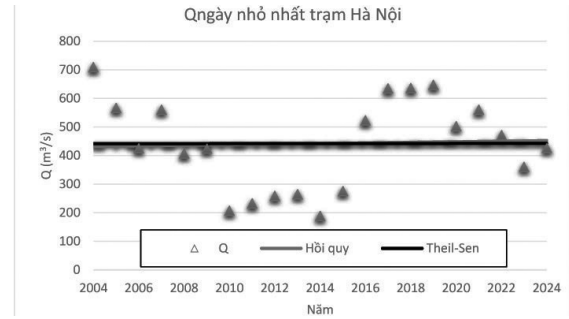
(Hình 13, Hình 14). Theo tiêu chí Sen's slope, mực nước tại Sơn Tây giảm khoảng 18,1cm/năm, tại Hà Nội giảm khoảng 4,2cm/năm (Bảng 4).

Bảng 4. Các thông số phân tích xu thế đặc trưng lưu lượng và mực nước ngày nhỏ nhất năm tại Sơn Tây và Hà Nội

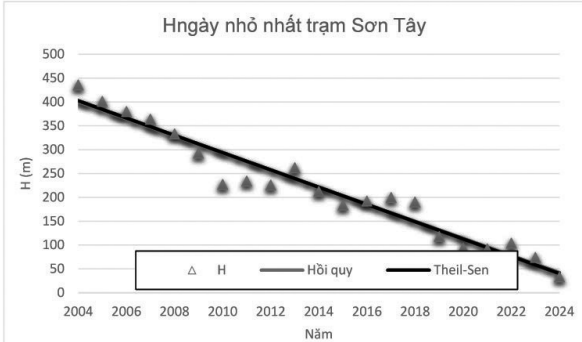
Thông số	Sơn Tây		Hà Nội	
Yếu tố	Q	H	Q	H
Var(S)	1095.67	1096.67	1096.67	1095.67
Z	1.148	-5.707	0.030	-3.686
P-value	0.251	0.000	0.976	0.000
Ý nghĩa TK	Không	Có	Không	Có
Xu thế	Không	Giảm	Không	Giảm
Sen's slope	10.22	-18.11	0.09	-4.16
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	9.04	-17.91	1.07	-5.02



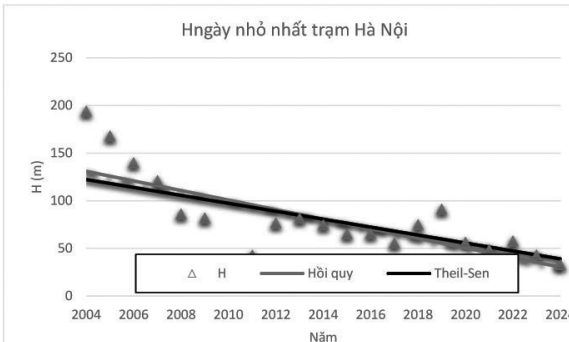
Hình 11. Xu thế lưu lượng trung bình ngày lớn nhất năm trạm Sơn Tây



Hình 13. Xu thế lưu lượng trung bình ngày lớn nhất năm trạm Hà Nội



Hình 12. Xu thế mực nước trung bình ngày lớn nhất năm trạm Sơn Tây



Hình 14. Xu thế lưu mực nước bình ngày lớn nhất năm trạm Hà Nội

Nhìn chung, kết quả phân tích các đặc trưng dòng chảy năm cho thấy lưu lượng tại Sơn Tây và Hà Nội đều có xu thế không rõ ràng theo tiêu chí Mann-Kendall, trong khi mực nước tại các trạm hầu hết có xu thế giảm, với mức độ giảm theo Sen's slope tại trạm Sơn Tây dao động khoảng $18,0 \div 29,0\text{cm/năm}$ và tại Hà Nội giảm khoảng $4,16 \div 4,39\text{cm/năm}$. Riêng đặc trưng mực nước trung bình ngày lớn nhất năm trạm

Hà Nội có xu thế tăng khoảng $61,5\text{cm/năm}$.

3.3. Xu thế đặc trưng tháng

Đối với đặc trưng dòng chảy tháng tại trạm thủy văn Sơn Tây và Hà Nội, giá trị lưu lượng, mực nước trung bình và lớn nhất, nhỏ nhất của 12 tháng được phân tích xu thế trên cơ sở dữ liệu dòng chảy trung bình ngày của 21 năm (2004 ÷ 2024). Kết quả phân tích thể hiện trong các Bảng 5 ÷ Bảng 16.

Bảng 5. Các thông số phân tích xu thế lưu lượng trung bình tháng tại Sơn Tây

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1096.67	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67
Z	3.47	3.23	2.51	1095.67	1.00	0.15	-1.36	-0.69	-0.21	-0.21	0.75	1.30
P-value	0.00	0.00	0.01	1095.67	0.32	0.88	0.17	0.49	0.83	0.83	0.45	0.19
Ý nghĩa TK	Có	Có	Có	Có	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không
Xu thế	Tăng	Tăng	Tăng	Tăng	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không
Sen's slope	52.46	38.41	23.77	38.98	28.14	6.38	-126.33	-54.36	-9.16	-8.23	10.64	10.80
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	44.40	34.36	22.61	45.35	27.80	31.59	-104.92	-47.47	17.25	1.47	-17.24	10.58

Bảng 6. Các thông số phân tích xu thế lưu lượng trung bình tháng tại Hà Nội

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1096.67	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67
Z	3.05	2.57	1.12	1095.67	0.03	-0.94	-2.26	-1.66	-0.39	-0.21	0.57	1.48
P-value	0.00	0.01	0.26	1095.67	0.98	0.35	0.02	0.10	0.69	0.83	0.57	0.14
Ý nghĩa TK	Có	Có	Không	Không	Không	Không	Có	Không	Không	Không	Không	Không
Xu thế	Tăng	Tăng	Không	Không	Không	Không	Giảm	Không	Không	Không	Không	Không
Sen's slope	25.42	17.54	7.99	17.66	1.45	-33.42	-130.78	-77.44	-9.79	-7.40	7.19	10.93
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	21.78	15.76	8.69	18.76	-0.40	-4.22	-110.61	-59.89	5.00	-1.63	-12.93	9.03

Bảng 7. Các thông số phân tích xu thế mực nước trung bình tháng tại Sơn Tây

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1096.67	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67
Z	-4.56	-5.22	-5.28	1095.67	-4.08	-4.50	-3.77	-4.08	-3.05	-3.59	-4.56	-5.04
P-value	0.00	0.00	0.00	1095.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ý nghĩa TK	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có
Xu thế	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm
Sen's slope	-16.81	-18.29	-19.34	-16.88	-21.96	-20.77	-34.29	-28.88	-25.25	-23.66	-21.47	-20.62
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	-17.79	-18.36	-19.00	-17.37	-21.15	-23.28	-32.69	-28.89	-24.13	-24.09	-24.09	-20.77

Bảng 8. Các thông số phân tích xu thế mực nước trung bình tháng tại Hà Nội

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1096.67	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67
Z	-2.75	-2.87	-2.51	1095.67	-1.48	-0.57	-1.12	0.00	0.88	-1.48	-1.72	-3.59
P-value	0.01	0.00	0.01	1095.67	0.14	0.57	0.26	1.00	0.38	0.14	0.09	0.00
Ý nghĩa TK	Có	Có	Có	Có	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Có
Xu thế	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Giảm
Sen's slope	-5.29	-5.49	-4.22	-4.65	-5.89	-2.47	-10.47	-0.04	6.93	-6.58	-4.09	-5.25
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	-4.31	-4.41	-4.23	-4.48	-2.76	1.07	-8.91	3.69	8.50	-3.92	-5.96	-4.77

Bảng 9. Các thông số phân tích xu thế lưu lượng ngày lớn nhất tháng tại Sơn Tây

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1096.67	1095.67	1096.67	1095.67	1095.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1095.67
Z	4.68	3.44	1.72	1095.67	-0.42	-0.33	-2.60	-0.75	-0.63	-0.15	0.27	0.79
P-value	0.00	0.00	0.09	1095.67	0.67	0.74	0.01	0.45	0.53	0.88	0.79	0.43
Ý nghĩa TK	Có	Có	Không	Có	Không	Không	Có	Không	Không	Không	Không	Không
Xu thế	Tăng	Tăng	Không	Tăng	Không	Không	Giảm	Không	Không	Không	Không	Không
Sen's slope	112.16	91.62	27.56	51.63	-22.68	-35.56	-287.31	-105.33	-61.63	-32.83	9.00	12.25
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	111.29	81.43	24.47	42.48	17.01	101.32	-288.14	-80.17	102.39	-42.75	-65.43	5.47

Bảng 10. Các thông số phân tích xu thế lưu lượng ngày lớn nhất tháng tại Hà Nội

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1094.67	1096.67	1093.67	1095.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1093.67	1091.00
Z	3.48	2.69	0.91	1095.67	-0.85	-0.82	-2.87	-1.60	-0.79	-0.15	0.24	1.39
P-value	0.00	0.01	0.36	1095.67	0.40	0.41	0.00	0.11	0.43	0.88	0.81	0.16
Ý nghĩa TK	Có	Có	Không	Không	Không	Không	Có	Không	Không	Không	Không	Không
Xu thế	Tăng	Tăng	Không	Không	Không	Không	Giảm	Không	Không	Không	Không	Không
Sen's slope	53.48	48.34	8.63	20.00	-28.75	-57.06	-320.77	-119.78	-47.09	-25.71	7.64	12.05
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	47.00	37.55	6.46	12.77	-29.43	29.69	-259.90	-112.44	16.73	-50.95	-51.36	10.29

Bảng 11. Các thông số phân tích xu thế mực nước ngày lớn nhất tháng tại Sơn Tây

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1093.00	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67
Z	-2.30	-2.81	-5.16	1095.67	-3.41	-3.05	-4.08	-3.41	-2.57	-3.41	-3.71	-4.26
P-value	0.02	0.00	0.00	1095.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Ý nghĩa TK	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có
Xu thế	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm
Sen's slope	-12.38	-14.30	-20.72	-18.88	-27.35	-25.50	-42.50	-28.10	-26.00	-28.69	-22.70	-21.29
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	-13.80	-16.06	-20.64	-19.30	-24.31	-19.57	-40.04	-28.40	-20.55	-26.80	-26.61	-22.20

Bảng 12. Các thông số phân tích xu thế mực nước ngày lớn nhất tháng tại Hà Nội

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1094.67	1095.67	1095.67	1095.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1094.67	1096.67	1096.67	1095.67
Z	-0.57	-1.63	-0.60	1095.67	0.63	2.11	0.15	1.78	2.27	0.09	0.21	-1.57
P-value	0.57	0.10	0.55	1095.67	0.53	0.03	0.88	0.07	0.02	0.93	0.83	0.12
Ý nghĩa TK	Không	Không	Không	Không	Không	Có	Không	Không	Có	Không	Không	Không
Xu thế	Không	Không	Không	Không	Không	Tăng	Không	Không	Tăng	Không	Không	Không
Sen's slope	-2.19	-4.30	-1.89	-2.25	8.87	28.17	2.30	48.59	48.05	1.43	1.86	-3.27
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	-0.87	-2.27	-0.79	0.64	28.29	37.20	12.11	45.86	48.98	7.81	-1.32	-3.04

Bảng 13. Các thông số phân tích xu thế lưu lượng ngày nhỏ nhất tháng tại Sơn Tây

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1094.67	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67
Z	0.51	1.30	1.48	1095.67	2.99	0.33	-0.60	-0.39	-0.21	-0.15	0.33	1.18
P-value	0.61	0.19	0.14	1095.67	0.00	0.74	0.55	0.69	0.83	0.88	0.74	0.24
Ý nghĩa TK	Không	Không	Không	Có	Có	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không
Xu thế	Không	Không	Không	Tăng	Tăng	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không
Sen's slope	4.59	12.57	11.19	34.28	50.00	11.92	-28.67	-26.61	-9.79	-5.07	4.80	11.49
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	6.69	10.41	10.08	37.18	40.65	6.98	-4.10	-31.36	-15.52	4.52	1.68	8.94

Bảng 14. Các thông số phân tích xu thế lưu lượng ngày nhỏ nhất tháng tại Hà Nội

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1096.67	1096.67	1096.67	1095.67	1095.67	1094.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67
Z	-0.69	0.57	-0.51	1095.67	1.63	-0.88	-1.60	-0.60	-0.75	-0.51	-0.39	-0.27
P-value	0.49	0.57	0.61	1095.67	0.10	0.38	0.11	0.55	0.45	0.61	0.69	0.79
Ý nghĩa TK	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không
Xu thế	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không	Không
Sen's slope	-6.13	5.58	-3.45	10.30	17.62	-21.99	-47.30	-10.50	-20.45	-5.88	-2.83	-1.84
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	-4.88	2.73	-1.97	15.44	14.17	-20.13	-32.26	-28.57	-10.58	-3.23	-3.78	-0.67

Bảng 15. Các thông số phân tích xu thế mực nước ngày nhỏ nhất tháng tại Sơn Tây

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1096.67	1095.67	1096.67	1095.67	1096.67	1096.67	1096.67	1096.67	1095.67	1096.67	1095.67	1096.67
Z	-5.34	-5.56	-5.59	1095.67	-4.38	-4.38	-4.26	-4.56	-3.93	-4.38	-4.71	-5.53
P-value	0.00	0.00	0.00	1095.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ý nghĩa TK	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có
Xu thế	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm
Sen's slope	-19.79	-18.85	-18.72	-16.38	-16.37	-22.87	-27.52	-25.69	-24.71	-23.63	-20.97	-19.72
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	-19.58	-18.68	-18.58	-15.74	-17.21	-23.26	-26.84	-28.44	-26.31	-22.82	-21.73	-19.87

Bảng 16. Các thông số phân tích xu thế mực nước ngày nhỏ nhất tháng tại Hà Nội

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Var(S)	1096.67	1095.67	1096.67	1095.67	1095.67	1096.67	1096.67	1095.67	1094.67	1096.67	1095.67	1096.67
Z	-3.29	-2.54	-3.47	1095.67	-3.81	-2.81	-2.20	-2.60	-1.84	-3.17	-3.38	-3.71
P-value	0.00	0.01	0.00	1095.67	0.00	0.00	0.03	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00
Ý nghĩa TK	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Có	Không	Có	Có	Có
Xu thế	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Giảm	Không	Giảm	Giảm	Giảm
Sen's slope	-5.57	-4.13	-4.93	-5.53	-6.51	-10.43	-10.09	-7.58	-5.78	-7.47	-5.69	-6.27
$k_{\text{Hồi quy TT}}$	-5.32	-3.59	-5.25	-5.49	-6.50	-9.49	-10.68	-7.99	-4.58	-6.84	-6.06	-5.97

Đối với đặc trưng dòng chảy trung bình tháng, kết quả phân tích xu thế biến động lưu lượng tại trạm Sơn Tây cho thấy các tháng mùa lũ ($V \div X$) và 2 tháng đầu mùa kiệt ($XI \div XII$) không có xu thế rõ ràng, trong khi 4 tháng cuối mùa kiệt ($I \div IV$) lại có xu thế tăng với mức độ tăng lớn nhất trong tháng I khoảng $52,5\text{m}^3/\text{s}/\text{năm}$ (Sen's slope) (Bảng 5). Tại trạm Hà Nội, đặc trưng này về cơ bản cũng không có xu thế rõ ràng, ngoại trừ 2 tháng đầu năm có xu thế tăng, riêng tháng VII lại có xu thế giảm (Bảng 6). Tuy nhiên, mực nước tại Sơn Tây của cả 12 tháng đều cùng có xu thế giảm (Bảng 7), với mức độ giảm trung bình khoảng $22\text{cm}/\text{năm}$, nhỏ nhất diễn ra vào tháng I và lớn nhất vào tháng VII. Tại Hà Nội, xu thế biến động mực nước không rõ rệt trong mùa lũ. Các tháng mùa kiệt có xu thế giảm (Bảng 8) với mức giảm nhỏ nhất là $4,22\text{cm}/\text{năm}$ vào tháng III và lớn nhất là $5,49\text{cm}/\text{năm}$ vào tháng II.

Đối với đặc trưng dòng chảy trung bình ngày lớn nhất tháng, xu thế biến động lưu lượng các tháng mùa lũ tại Sơn Tây được ghi nhận là không rõ rệt, ngoại trừ tháng VII có xu thế giảm, các tháng mùa kiệt về cơ bản có xu thế tăng (Bảng 9) tương tự đặc trưng trung bình tháng. Tại Hà Nội, xu thế các tháng khá tương đồng với trạm Sơn Tây (Bảng 10). Về đặc trưng mực nước, tại Sơn Tây, xu thế biến động của 12 tháng đều giảm. Mức độ giảm trung bình được ghi nhận là $22\text{cm}/\text{năm}$, tháng có mức độ giảm nhỏ nhất là tháng I ($12,4\text{cm}/\text{năm}$) và lớn nhất là tháng VII ($42,5\text{cm}/\text{năm}$) (Bảng 11). Tại trạm Hà Nội, xu thế biến động mực nước các tháng về cơ bản là không rõ rệt (Bảng 12).

Đối với đặc trưng dòng chảy trung bình ngày nhỏ nhất tháng, lưu lượng tại Sơn Tây và Hà Nội đều không ghi nhận xu thế, ngoại trừ tháng IV và V tại Sơn Tây có xu thế tăng (Bảng 13, Bảng 14). Ngược lại, đặc trưng mực nước tại cả 2 trạm đều được ghi nhận có xu thế giảm (Bảng 15, Bảng 16) với mức độ giảm trung bình theo Sen's slope tại Sơn Tây là $21,3\text{cm}/\text{năm}$ và tại Hà Nội là $6,7\text{cm}/\text{năm}$.

Như vậy, kết quả phân tích xu thế biến động dòng chảy trên sông Hồng đoạn qua Hà Nội cho thấy khá rõ về sự suy giảm mực nước, đặc biệt là thời kỳ mùa kiệt. Sự biến động của lưu lượng là không rõ rệt nhưng mực nước lại suy giảm cho thấy lòng dẫn liên tục biến động và hạ thấp.

4. KẾT LUẬN

Chỉ số Mann-Kendall và ước lượng Sen's slope là công cụ đáng tin cậy trong việc phân tích xu thế chuỗi thời gian có đặc điểm ngẫu nhiên như chuỗi khí tượng - thủy văn. Tuy nhiên, thách thức đặt ra là cần xử lý tốt các đặc trưng của chuỗi số liệu để đảm bảo kết quả phân tích có ý nghĩa thống kê và có giá

trị thực tiễn trong công tác quản lý tài nguyên nước và ứng phó với biến đổi khí hậu.

Dưới tác động của việc khai thác tài nguyên, lòng dẫn trên sông Hồng đoạn qua Hà Nội bị hạ thấp liên tục qua các năm, có nguy cơ gây mất an toàn cho các công trình trên sông, gây trầm trọng thêm vấn đề xói cục bộ tại các mố, trụ cầu hiện có trên vùng nghiên cứu. □

LỜI CẢM ƠN:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2025-CT-027.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ban quản lý lưu vực sông Hồng - Thái Bình, Lưu vực sông Hồng, <http://rrbo.org.vn/luu-vuc-song-hong-thai-binh>.
- [2] Jason S. Alexander, Richard C. Wilson, W. Reed Green (2012), A brief history and summary of the effects of river engineering and dams on the Mississippi River system and delta, U.S. Geological Survey, <https://doi.org/10.3133/cir1375>.
- [3] Kendall, M. G., (1975), Rank correlation methods, 4th edition, Charles Griffin, London, UK.
- [4] Lê Văn Nghị (2015), Nghiên cứu đánh giá rủi ro đối với thượng, hạ du khi xảy ra sự cố các đập trên hệ thống bậc thang thủy điện sông Đà, Đề tài NCKH trọng điểm cấp Nhà nước, mã số KC.08.22/11-15.
- [5] Lê Xuân Quang, Lê Viết Sơn (2020), Tình trạng hạ thấp mực nước trên hệ thống sông Hồng và các giải pháp để thích ứng, Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy lợi, số 59, 23-33.
- [6] Mann, H. B. (1945), Nonparametric tests against trend, *Econometrical*. 13: 245-259.
- [7] Sheng Yue, Paul Pilon, George Cavadias (2002), Power of the Mann-Kendall and Spearman's Rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series, *Journal of Hydrology*, 259(1-4), 254-271. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7).
- [8] Sen, P. K. (1968), Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
- [9] Vinh H.D, Nghị L.V., Nam N.N., Anh L.H. (2024), Phân tích xu thế biến động các yếu tố thủy văn trên sông Hiếu, tỉnh Nghệ An, Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 91, 61-68.
- [10] Wei Zhang, Jing Yuan, Jianqiao Han, Chengtao Huang, Ming Li (2016), Impact of the Three Gorges Dam on sediment deposition and erosion in the middle Yangtze River: a case study of the Shashi Reach, *Hydrology Research*, 47, 175-186, <https://doi.org/10.2166/nh.2016.092>.
- [11] Wikipedia. (2023a). Red River Delta, https://en.wikipedia.org/wiki/Red_River_Delta.
- [12] Wikipedia. (2023b). Red River (Asia), [https://en.wikipedia.org/wiki/Red_River_\(Asia\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_River_(Asia)).