

NGHIÊN CỨU SỰ BIẾN ĐỔI QUAN HỆ LƯU LƯỢNG VÀ MỨC NƯỚC TRÊN ĐOẠN SÔNG HỒNG QUA HÀ NỘI

A STUDY OF CHANGES IN THE RELATIONSHIP BETWEEN DISCHARGE AND WATER LEVELS IN THE RED RIVER IN THE HANOI AREA

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

Tóm tắt: Ngày nay sự hiểu biết của con người về các quá trình thủy văn đã đạt được nhiều thành tựu đáng kể. Quan hệ lưu lượng (Q) và mực nước (H) sẽ thay đổi khi lòng sông bị xói lở. Hiện nay, hầu hết sông suối tự nhiên đều đã bị tri phối ở mức độ ít nhiều khác nhau bởi các công trình xây dựng như các công trình thủy lợi hay giao thông để khai thác tài nguyên nước. Ngoài ra, tác động của biến đổi khí hậu hay việc khai thác cát sỏi lòng sông cũng là một nguyên nhân gây nên sự biến đổi của quan hệ Q~H. Mực nước trên sông Hồng đoạn qua Hà Nội hiện đang có xu thế hạ thấp mặc dù lưu lượng không có nhiều biến động. Đồng thời lòng dẫn cũng liên tục biến động và hạ thấp. Sự biến động mực nước trên sông đang đặt ra nhiều thách thức cho các nhà khoa học khi lòng dẫn liên tục biến đổi dưới tác động của nhiều yếu tố, trong đó có yếu tố mất cân bằng bùn cát. Sự biến động này là một phần nguyên nhân gây ra các sự cố về sạt lở bờ sông, ảnh hưởng nghiêm trọng tới các công trình và hoạt động dân sinh hai bên bờ sông. Bằng công cụ mô hình toán, nghiên cứu đã phân tích được sự thay đổi quan hệ Q~H tại trạm thủy văn Sơn Tây và Hà Nội. Kết quả cho thấy quan hệ Q~H năm 1971 ít phân tán trong khi năm 1996 lại nhạy cảm hơn với biến động lưu lượng. Mực nước tăng nhanh hơn khi Q tăng. Quan hệ vòng dây rõ ràng hơn thể hiện tác động động lực của lũ lên hình thái lòng dẫn.

Từ khóa: Lưu vực sông Hồng - Thái Bình, Hạ thấp mực nước, Biến động lòng dẫn, Quan hệ lưu lượng và mực nước.

1. GIỚI THIỆU

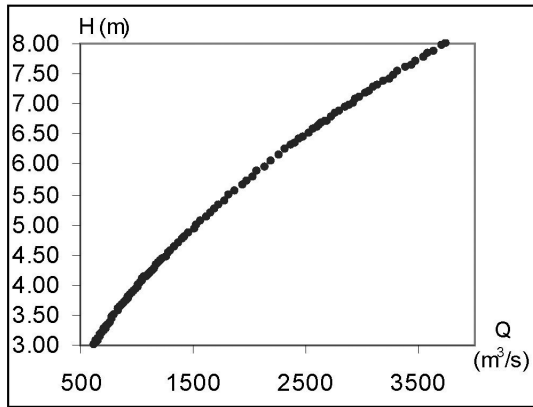
Nghiên cứu và tính toán dòng chảy lũ giữ vai trò quan trọng cả về phương diện thực tiễn và ý nghĩa khoa học. Các đặc trưng cơ bản của dòng chảy lũ, như thời gian duy trì lũ, cường suất lên và xuống lũ... thường có mối quan hệ chặt chẽ với điều kiện khí tượng và đặc điểm địa lý tự nhiên của lưu vực. Vì vậy, những đặc trưng này không chỉ phản ánh bản chất hình thành dòng chảy lũ mà còn thể hiện sự phân hóa không gian của các yếu tố tự nhiên chi phối quá trình lũ [1]. Ngày nay sự hiểu biết của con người về các quá trình thủy văn đã đạt được nhiều thành tựu đáng kể. Tuy nhiên, hiện tượng thủy văn vô cùng phức tạp và hiện nay vẫn thiếu những lý

Abstract: Nowadays, our understanding of hydrological processes has made significant advances. The relationship between discharge (Q) and water level (H) changes when the riverbed erodes. Currently, the construction of hydraulic and transportation infrastructures for water resource exploitation has influenced most natural rivers and streams to varying degrees. The impacts of climate change and riverbed sand and gravel mining are also among the causes of changes in the Q~H relationship. Water levels along the Red river in the Hanoi area are currently declining, despite no significant change in discharge, while the river channel continues to deform and degrade. Variations in river water levels present significant challenges to scientists, as the channel is in a state of continuous change due to multiple factors, including sediment imbalance. These variations partly explain riverbank erosion incidents, which have a serious impact on infrastructure and socio-economic activities along both riverbanks. This study analysed changes in the Q~H relationship at the Son Tay and Ha Noi hydrological stations using a numerical modelling approach. The results show that the Q~H relationship in 1971 was less scattered than in 1996, when it was more sensitive to discharge fluctuations. Water levels increased more rapidly as Q increased. A more pronounced looped relationship was observed, reflecting the dynamic impact of flood flows on channel morphology.

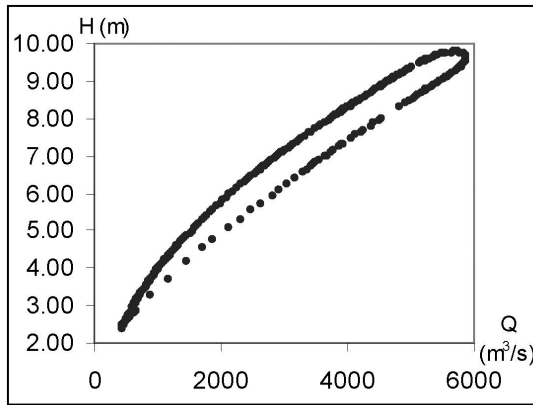
Keywords: Red river basin, Water level decline, Riverbed change, Discharge and water levels.

thuyết hoàn chỉnh để mô tả tất cả các quá trình xảy ra trong tự nhiên. Quan hệ lưu lượng (Q) với mực nước (H) trên sông vào mùa cạn thường có quan hệ dạng parabol (Hình 1) và vào mùa lũ có dạng vòng dây (Hình 2) [1]. Quan hệ Q~H sẽ thay đổi khi lòng sông bị xói lở, hướng dòng chảy thay đổi hay lòng sông có vật cản, cỏ cây phát triển. Nếu dòng ổn định thì có thể sử dụng đường $Q = f(H)$ để xây dựng đường quá trình lưu lượng từ đường quá trình mực nước. Hiện nay, hầu hết sông suối tự nhiên đều đã bị tri phối ở mức độ ít nhiều khác nhau bởi các công trình xây dựng như các công trình thủy lợi hay giao thông để khai thác tài nguyên nước [5], năng lượng và tạo điều kiện giao thương, phát triển kinh tế và

cơ sở hạ tầng. Ngoài ra, tác động của biến đổi khí hậu hay việc khai thác cát sỏi lòng sông cũng là một nguyên nhân gây nên sự biến đổi của quan hệ $Q \sim H$.



Hình 1. Quan hệ $Q \sim H$ trên sông mùa cạn



Hình 2. Quan hệ $Q \sim H$ trên sông mùa lũ

Hoạt động khai thác tác động trực tiếp đến diễn biến dòng chảy trên sông gồm Xây dựng hồ chứa/ đập dâng và các hoạt động khai thác, nạo vét bùn cát. Ngoài các hoạt động chính nêu trên thì biến đổi khí hậu (BĐKH) cũng ảnh hưởng đến quan hệ $Q \sim H$ trên sông thông qua nhiều cơ chế khác nhau. Những thay đổi về lượng mưa, bao gồm chu kỳ hạn hán gia tăng, có thể dẫn đến giảm lưu lượng sông và mực nước thấp hơn. Nhiệt độ tăng góp phần làm tăng lượng bốc hơi từ các con sông, trong khi sự tan chảy nhanh chóng của sông băng và lượng tuyết giảm làm thay đổi thời gian và cường độ dòng chảy của sông. Mực nước biển dâng có thể gây ra hiện tượng xâm nhập mặn vào các cửa sông. Hơn nữa, sự thay đổi chế độ dòng chảy của sông do sự gián đoạn bởi khí hậu gây ra có thể dẫn đến mực nước không đều và khó dự đoán. Ngoài ra, nhiệt độ cao hơn có thể làm tăng nhu cầu nước cho nhiều mục đích khác nhau, có khả năng dẫn đến việc khai thác quá mức từ các con sông [2][10].

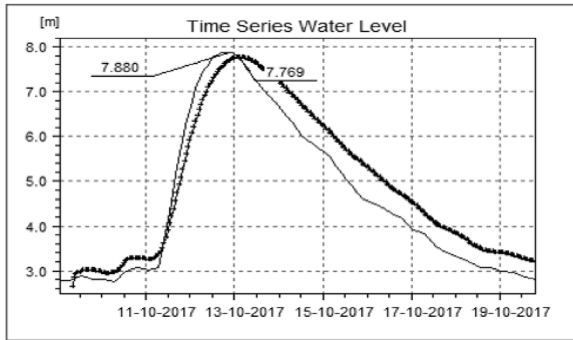
Lưu vực sông Hồng trên địa phận Việt Nam có ba nhánh chính gồm các sông Đà, Lô và Thao.

Sông Đà là nhánh lớn nhất, có tiềm năng thủy điện dồi dào [3]. Sông Hồng có vai trò quan trọng trong việc duy trì và phát triển nguồn nước cho các tỉnh phía Bắc và cũng là con sông huyết mạch trong giao thông thủy. Sông Hồng đoạn qua Hà Nội tính từ cầu Trung Hà đến cầu Thanh Trì hiện 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. Ngoài 9 cầu hiện trạng nêu trên, đoạn sông Hồng qua Hà Nội đang và sẽ xây dựng thêm các cầu như Vân Phúc, Hồng Hà, Thượng Cát, Tứ Liên, Trần Hưng Đạo, Ngọc Hồi, Mễ Sở (Hình 3).

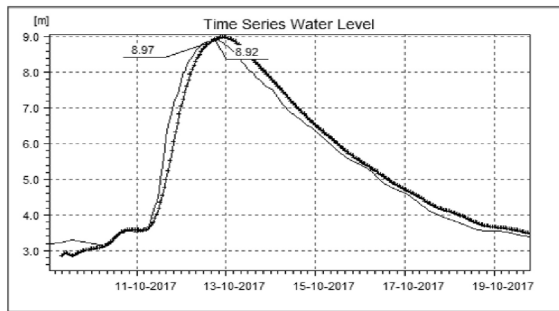


Hình 3. Sông Hồng đoạn qua Hà Nội

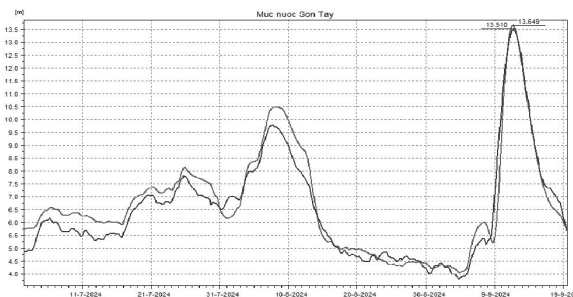
Thành phố Hà Nội, với vị trí trung tâm kinh tế - văn hóa và hành chính quan trọng của Việt Nam, đã và đang đối mặt với nhiều thách thức về biến đổi khí hậu, đặc biệt là tác động của lũ lụt. Trận lũ đặc biệt lớn xảy ra vào tháng 9/2024 do hoàn lưu bão số 3 với tên quốc tế là Yagi đã gây ra những ảnh hưởng nghiêm trọng đến cơ sở hạ tầng giao thông, đặc biệt là hệ thống cầu và đường. Sau lũ, hệ thống cầu qua sông Hồng tại Hà Nội, như cầu Long Biên, Chương Dương, Nhật Tân và Vĩnh Tuy... đóng vai trò huyết mạch trong giao thông nối hai bờ sông Hồng, kết nối trung tâm thành phố với các quận huyện ngoại thành và các tỉnh lân cận đã chịu ảnh hưởng nghiêm trọng do áp lực dòng chảy lớn và sự xói mòn, thay đổi lòng. Một số nghiên cứu trên lưu vực sông đoạn qua Hà Nội cho thấy mực nước có xu thế hạ thấp mặc dù lưu lượng không có nhiều biến động [2], lòng dẫn liên tục biến động và hạ thấp [6], quan hệ mực nước và lưu lượng mùa kiệt biến đổi theo xu thế bất lợi đối với việc cấp nước và ổn định lòng dẫn [7]. Sự biến động mực nước trên sông đang đặt ra nhiều thách thức cho các nhà khoa học khi lòng dẫn liên tục biến đổi dưới tác động của nhiều yếu tố, trong đó có yếu tố mất cân bằng bùn cát. Sự biến động này là một phần nguyên nhân gây ra các sự cố về sạt lở bờ sông, ảnh hưởng nghiêm trọng tới các công trình và hoạt động dân sinh hai bên bờ sông. Ngoài ra, sự biến động lòng



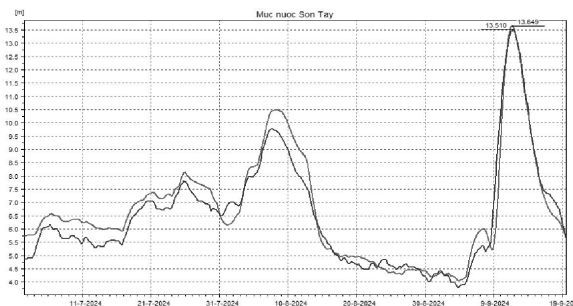
Hình 7. Mức nước thực đo và tính toán tại trạm Thượng Cát trận lũ tháng 10/2017



Hình 8. Mức nước thực đo và tính toán tại trạm Hà Nội trận lũ tháng 10/2017



Hình 9. Mức nước thực đo và tính toán tại trạm Sơn Tây trận lũ tháng 9/2024



Hình 10. Mức nước thực đo và tính toán tại trạm Hà Nội trận lũ tháng 9/2024

tính toán trong giới hạn cho phép. Một số kết quả mô phỏng thể hiện trên các Hình 5 ÷ Hình 10.

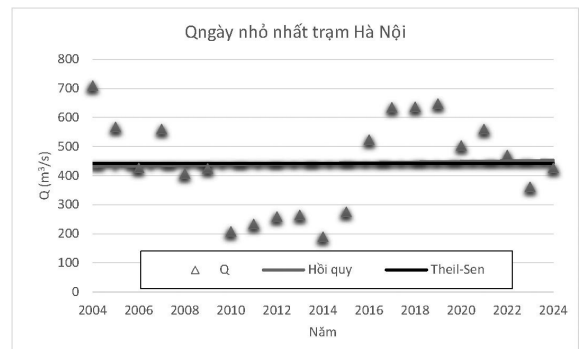
Do số liệu địa hình cập nhật không đồng bộ trên toàn lưu vực nên việc hiệu chỉnh mô hình gặp những khó khăn nhất định. Tuy nhiên, các kết quả

đạt được cho thấy mô hình đã thiết lập và bộ thông số của nó có khả năng mô phỏng tốt quá trình lũ trong hệ thống sông Hồng - sông Thái Bình nói chung và trong phạm vi nghiên cứu nói riêng. Các kết quả tính toán cho thấy sai số của mô hình là tương đối nhỏ, mô hình đảm bảo độ tin cậy và có thể sử dụng trong tính toán đánh giá sự biến động quan hệ lưu lượng và mực nước trên đoạn sông Hồng qua Hà Nội.

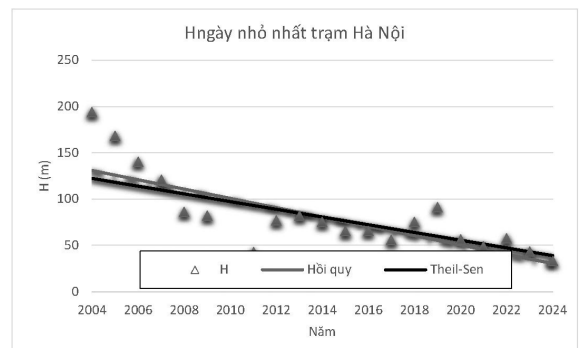
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xu thế biến động dòng chảy

Xu thế biến động dòng chảy được phân tích trên cơ sở dữ liệu thực đo tại các trạm thủy văn. Nhìn chung xu thế biến động lưu lượng trạm Sơn Tây và Hà Nội không rõ rệt theo chỉ tiêu Mann-Kendall (Hình 11), trong khi đó, mực nước có xu hướng giảm rõ rệt (Hình 12) [2].



Hình 11. Xu thế lưu lượng ngày nhỏ nhất trạm Hà Nội

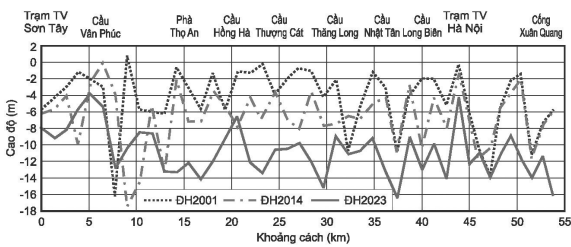


Hình 12. Xu thế mực nước ngày nhỏ nhất trạm Hà Nội

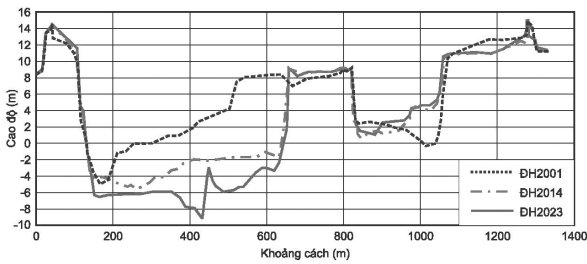
3.2. Xu thế biến động lòng dẫn

Diễn biến tổng thể trên đoạn sông dài khoảng 55km được phân tích trên dữ liệu địa hình đo đạc qua các năm. Kết quả cho thấy mức độ hạ thấp lòng dẫn có xu thế tăng dần từ thượng lưu về hạ lưu (Hình 13). Giai đoạn 2001 - 2014, xói tập trung mạnh ở khu vực từ Sơn Tây đến cầu Thượng Cát. Giai đoạn 2014 - 2023, xu hướng xói lan rộng và mạnh mẽ hơn ở khu vực từ Thượng Cát đến cống Xuân Quang. Toàn bộ đường đáy sông năm 2023 đã thấp hơn trung bình từ 6 ÷ 10m so với năm 2001.

Tốc độ hạ thấp trung bình khoảng $18 \div 65\text{cm/năm}$. Khu vực hạ lưu cầu Vân Phúc có diễn phức tạp. Khu vực thuộc địa phận xã Phúc Thọ năm 2001 có cao độ khoảng $-1,0\text{m}$, đến 2014 hạ thấp xuống khoảng -16m tương đương tốc độ hạ thấp khoảng $1,15\text{m/năm}$. Tuy nhiên, giai đoạn đến năm 2023, cao độ lại tăng lên khoảng 4m , đạt cao trình -12m . Khu vực từ cầu Thượng Cát đến hạ lưu cầu Nhật Tân là khu vực có biến động mạnh. Thượng lưu cầu Thăng Long, cao độ liên tục hạ thấp từ khoảng -2m năm 2001 xuống -7m năm 2014 và đạt cao độ khoảng -14m năm 2023. Tốc độ hạ thấp trong những năm gần đây cao gấp 2 lần giai đoạn trước. Khu vực từ thượng lưu cầu Long Biên đến hạ lưu cống Xuân Quang, có mức độ biến đổi không đáng kể ở giai đoạn trước 2014, nhưng hiện nay đang bị hạ thấp đáng kể. Cao độ đáy sông hiện đang dao động ở ngưỡng $-12 \div -10\text{m}$, trong khi năm 2001 chỉ ở mức khoảng -3m .



Hình 13. Cao độ đáy sông Hồng từ trạm Sơn Tây đến cống Xuân Quang



Hình 14. Mặt cắt ngang sông Hồng tại trạm thủy văn Hà Nội

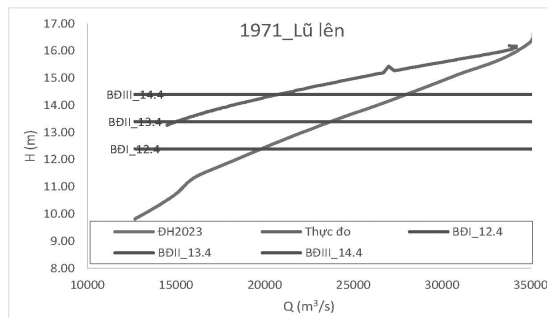
Tại trạm thủy văn Hà Nội trên sông Hồng, mức độ hạ thấp lớn nhất xảy ra tại khu vực giữa lòng chính, cao độ năm 2001 khoảng 2m , nhưng đến năm 2023 đã giảm xuống gần -9m , tương đương chiều sâu xói khoảng 11m (Hình 14).

3.3. Biến đổi quan hệ lưu lượng và mực nước

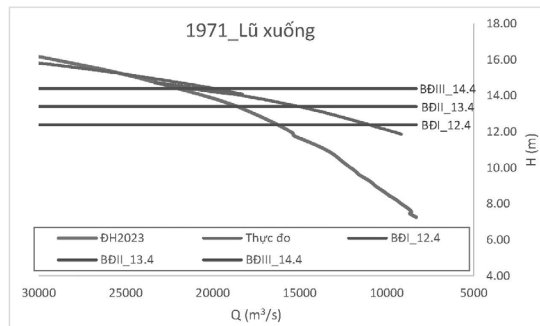
Các bước thực hiện đánh giá gồm: (1) Cập nhật mô hình và thực hiện hiệu chỉnh, kiểm định mô hình thủy văn thủy lực. Bước thực hiện này đã được trình bày ở phần phương pháp nghiên cứu; (2) Sử dụng địa hình sông Hồng đoạn qua Hà Nội khảo sát năm 2023 mô phỏng lũ 1971 và 1996; (3) Đánh giá sự biến đổi quan hệ lưu lượng và mực nước qua các năm lũ điển hình.

Kết quả mô phỏng dòng chảy trạm Sơn Tây và Hà Nội với các trận lũ năm 1971, 1996 theo địa hình năm 2023 như sau:

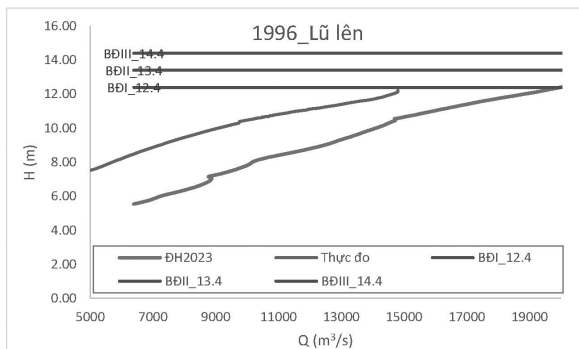
- Về tổng thể, quan hệ $Q \sim H$ nhánh lũ lên và nhánh lũ xuống ở cả trạm Tây Sơn và Hà Nội đều cho thấy có sự biến đổi đáng kể về tương quan lưu lượng và mực nước lũ. Đường quan hệ $Q \sim H$ với địa hình 2023 thấp hơn lũ thực đo. Điều này cho thấy,



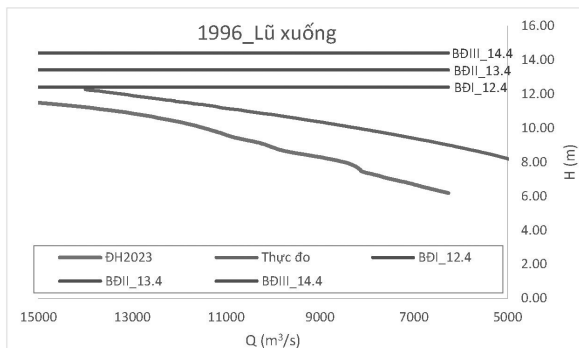
Hình 15. $Q \sim H$ Sơn Tây lũ lên 1971



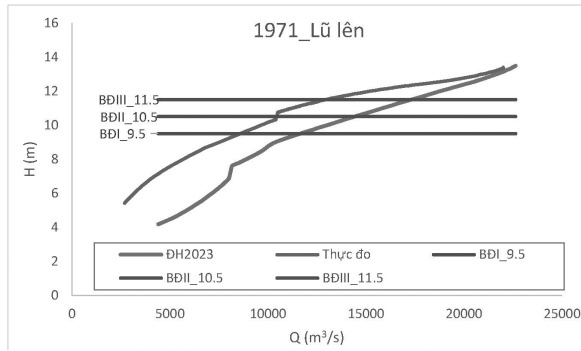
Hình 16. $Q \sim H$ Sơn Tây xuống lên 1971



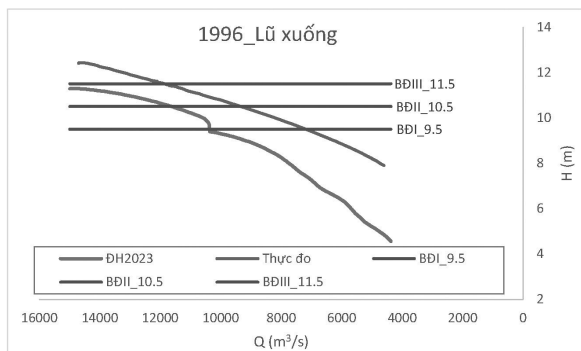
Hình 17. $Q \sim H$ Sơn Tây lũ lên 1996



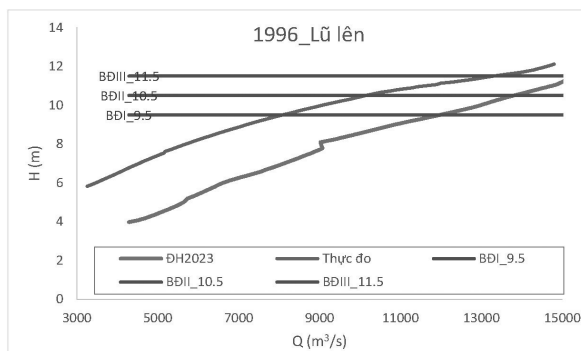
Hình 18. $Q \sim H$ Sơn Tây xuống lên 1996



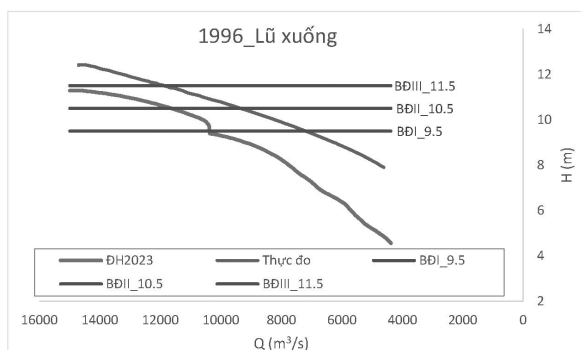
Hình 19. Q~H Hà Nội lũ lên 1971



Hình 20. Q~H Hà Nội xuống lũ 1971



Hình 21. Q~H Hà Nội lũ lên 1996



Hình 22. Q~H Hà Nội xuống lũ 1996

với cùng cấp mực nước thì lưu lượng thời điểm hiện tại lớn hơn trong quá khứ và ngược lại (Hình 15 ÷ Hình 22).

- Tại trạm Sơn Tây: Quan hệ Q~H lũ lên và lũ xuống khi mực nước dưới cấp báo động I (BĐI), là những đường quan hệ gần song song với nhau,

chênh lệch từ 1,5 ÷ 2,5m. Tốc độ lũ lên tương đương nhau, nhưng tốc độ lũ rút với địa hình hiện trạng lớn hơn địa hình trong quá khứ. Điều này cho thấy diện tích thoát nước của phần lòng dẫn chiếm ưu thế và tác động mạnh đến quan hệ Q~H. Khi mực nước trên BĐI, độ dốc đường quan hệ Q~H với địa hình hiện trạng lớn hơn địa hình trong quá khứ, đồng nghĩa với khả năng điều tiết lũ của mặt cắt trong quá khứ ở phần nước cao lớn hơn địa hình hiện trạng. Khi mực nước vượt BĐIII khoảng 1m thì quan hệ Q~H ở cả nhánh lũ lên và lũ xuống với địa hình hiện trạng và quá khứ cho thấy xu thế tiệm cận và gần trùng nhau. Đồng nghĩa khi lưu lượng vượt 30.000m³/s thì mực nước lũ không có nhiều thay đổi giữa 2 trường hợp.

- Tại trạm Hà Nội: Quan hệ Q~H lũ lên và lũ xuống khi mực nước dưới BĐI cho thấy có sự tương đồng với trạm Sơn Tây, cụ thể là các đường quan hệ cũng gần như song song với nhau nhưng khoảng cách giữa 2 đường lớn hơn, dao động từ 2,0 ÷ 3,0m. Tốc độ lũ lên và lũ rút tương đương nhau với địa hình hiện trạng và địa hình trong quá khứ. Khi mực nước lũ trên BĐI, tốc độ lũ lên và lũ rút bắt đầu cho thấy có sự chênh lệch làm thay đổi độ dốc quan hệ Q~H. Khi mực nước vượt BĐIII chênh lệch giữa 2 đường khoảng 1,0 ÷ 1,5m và tiến dần về lưu lượng vượt 20.000m³/s.

4. KẾT LUẬN

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.

Xu thế hạ thấp đáy sông rõ rệt, đặc biệt tại các khu vực tập trung dòng chủ lưu. Trên trắc dọc lòng sông đã cho thấy có những phạm vi xói rất mạnh, tuy nhiên cũng có những khu vực tương đối ổn định, chỉ xảy ra xói nhẹ hoặc bồi tụ không đáng kể.

Xu thế xói sâu trong giai đoạn 2001 - 2021 cho thấy lòng dẫn đang trong trạng thái biến động mạnh, có khả năng ảnh hưởng đến sự ổn định của bờ sông, lưu hướng, an toàn công trình và giao thông thủy. Những kết quả này tạo cơ sở quan trọng cho việc dự báo diễn biến hình thái trong tương lai và đề xuất các giải pháp quản lý phù hợp.

Sự biến động địa hình theo trắc dọc cho thấy sự xuất hiện của các khu vực lòng dẫn bị hạ thấp xảy ra liên tiếp khiến đường đáy sông không còn bằng phẳng, tạo ra các "bậc thang" địa hình dưới lòng sông, làm phức tạp thêm tình hình thủy lực đoạn sông nghiên cứu. Dữ liệu mặt cắt ngang tại trạm thủy văn Hà Nội cho thấy lòng dẫn bị biến dạng rất mạnh là dấu hiệu của việc thay đổi lòng

dẫn rất lớn, có thể gây mất an toàn cho các công trình lân cận. Tốc độ hạ thấp trung bình của toàn bộ mặt cắt từ khoảng 3,3cm/năm. Tuy nhiên, con số này không phản ánh hết mức độ nghiêm trọng vì sự xói lở tập trung quá lớn vào lòng chính, với tốc độ cục bộ lên tới 50cm/năm, gây ra sự mất cân bằng nghiêm trọng cho hình dạng mặt cắt ngang.

Sự thay đổi quan hệ Q~H phản ánh rõ ràng tác động của biến đổi hình thái lòng dẫn theo thời gian, sự khác biệt giữa điều kiện tính toán theo địa hình 2023 và điều kiện thực đo lịch sử, cũng như ảnh hưởng của quá trình động lực của dòng chảy thông qua hiện tượng quan hệ vòng dây giữa lũ lên và lũ xuống. Kết quả này cho thấy việc sử dụng quan hệ Q~H cần được xem xét thận trọng, đặc biệt khi áp dụng cho các giai đoạn khác nhau về mặt hình thái lòng sông hoặc trong các bài toán mô phỏng, dự báo lũ.

Quan hệ Q~H của năm 1971 có hệ số biến thiên nhỏ hơn giữa nhánh lũ lên và lũ xuống. Dạng quan hệ ít phân tán. Điều này cho thấy lòng sông thời kỳ này còn chưa bị tác động mạnh bởi các hoạt động dân sinh, dòng chảy chủ yếu chịu chi phối bởi điều kiện tự nhiên. Ngược lại, lũ năm 1996 thể hiện quan hệ Q~H nhạy cảm hơn với biến động lưu lượng. Mực nước tăng nhanh hơn khi Q tăng. Quan hệ vòng dây rõ ràng hơn thể hiện tác động động lực của lũ lên hình thái lòng dẫn mạnh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hoàng Nam Bình, Mai Quang Huy, Nguyễn Đăng Phóng, Tống Anh Tuấn (2016), Thủy văn cầu đường ứng dụng, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] Hoàng Nam Bình, Nguyễn Thanh Nga (2025), Xu thế biến động lưu lượng và mực nước trên sông Hồng đoạn qua Hà Nội, Tạp chí Người Xây dựng, 402, 32-40;
- [3] Ban quản lý lưu vực sông Hồng - Thái Bình, Lưu vực sông Hồng, <http://rrbo.org.vn/luu-vuc-song-hong-thai-binh>.
- [4] DHI (2014), MIKE 11 - A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual
- [5] G. Grill, C.O. Dallaire, E.F. Chouinard, N. Sindorf and B. Lehner (2014), Development of new indicators to evaluate river fragmentation and flow regulation at large scales: A case study for the Mekong River Basin, Ecol. Indic., vol. 45, pp. 148-159, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.026>
- [6] Nguyễn Hữu Huế (2019), Phân tích diễn biến lòng dẫn sông Hồng đoạn từ Sơn Tây đến trạm thủy văn Hà Nội, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, 53, 1-8.
- [7] Lê Văn Hùng và Phạm Tất Thắng (2011), "Phân tích diễn biến lưu lượng và mực nước sông Hồng mùa kiệt", Tạp chí KHKT Thủy lợi và môi trường - ISSN 1859-3941- số đặc biệt 11/2011.
- [8] Trần Đình Hòa và nnk (2015), Nghiên cứu tổng thể giải pháp công trình đập dâng nước nhằm ứng phó tình trạng hạ thấp mực nước, đảm bảo an ninh nguồn nước cho vùng hạ du sông Hồng, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam
- [9] 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.

- [10] 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.