



Original Article

Modelling Stage-discharge Relationships for Hydrological Stations in the Da River Basin using First-kind Chebyshev Polynomial Approximation

Nguyen Duc Hanh¹, Nguyen Tien Giang^{1,*}, Dang Tran Duc Minh¹,
Dao Ba Huy¹, Le Huu Minh Quan¹, Nguyen Thi Tinh²

¹VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

²Center for Hydro-meteorological Observation, Vietnam Meteorological and Hydrological Administration,
8 Phao Dai Lang, Lang Thuong, Dong Da, Hanoi, Vietnam

Received 01 June 2023

Revised 05 June 2023; Accepted 10 June 2023

Abstract: Observed discharge time series is essential data for hydrological analysis, streamflow forecasting, as well as water resources planning and management. Estimation of continuous discharge time series is generally based on the curves (or empirical models) that can properly simulate the relationships between water levels (stages) and concurrent water discharges observed at a particular hydrological station. For stations with complex hydraulic conditions, in addition to gauged stages at the discharge gauging section, another variable such as stage measured at an auxiliary station (to calculate the slope) or rate of change in stage is added to the estimation process. This paper presents the results of applying the first-kind Chebyshev polynomial approximation method in constructing rating curves for three hydrological stations in the Da river basin, each having different basin characteristics and various influencing factors. The analysis results using five evaluation indices (MAE, σ , Pbias, KGE, and MAPE) show that the Chebyshev polynomials are highly effective in modelling both simple and complex stage-discharge relationships. The Chebyshev polynomial approximation method is suggested to be used for establishing stage-discharge relationships in hydrometry.

Keywords: Rating curve, Chebyshev, Da river, backwater, degradation & aggradation.

* Corresponding author.

E-mail address: giangnt@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4956>

Mô hình hóa quan hệ mực nước - lưu lượng tại các trạm thủy văn trên lưu vực sông Đà sử dụng phương pháp xấp xỉ đa thức Chebyshev dạng 1

Nguyễn Đức Hạnh¹, Nguyễn Tiên Giang^{1,*}, Đặng Trần Đức Minh¹,
Đào Bá Huy¹, Lê Hữu Minh Quân¹, Nguyễn Thị Tình²

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Trung tâm Quan trắc Khí tượng Thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn Việt Nam,
8 Pháo Đài Láng, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 01 tháng 6 năm 2023

Chỉnh sửa ngày 05 tháng 6 năm 2023; Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 6 năm 2023

Tóm tắt: Lưu lượng nước sông là một yếu tố không thể thiếu trong phân tích, dự báo thủy văn, đánh giá, quy hoạch và quản lý tài nguyên nước. Việc xác định giá trị lưu lượng một cách liên tục thường được dựa trên các đường quan hệ (hay mô hình thực nghiệm) giữa mực nước và lưu lượng phù hợp tại mỗi trạm đo. Đối với các trạm có quan hệ thủy lực phức tạp, ngoài yếu tố mực nước tại tuyến đo lưu lượng, một trong số yếu tố đo đạc khác như mực nước tại một trạm phụ (để tính độ dốc), hay vận tốc thay đổi mực nước tại tuyến đo lưu lượng được thêm vào quá trình tính toán. Bài báo này trình bày kết quả việc áp dụng phương pháp xấp xỉ đa thức Chebyshev dạng 1 trong việc xây dựng các mô hình thực nghiệm cho 3 trạm thủy văn trên lưu vực sông Đà, mỗi trạm có các đặc trưng lưu vực không chế và các yếu tố ảnh hưởng rất khác nhau. Kết quả phân tích thông qua 5 chỉ số đánh giá (MAE, σ , Pbias, KGE, và MAPE) cho thấy các đa thức Chebyshev rất hiệu quả trong việc xây dựng các mô hình quan hệ mực nước - lưu lượng đơn giản cũng như phức tạp. Phương pháp này hoàn toàn có thể đưa vào sử dụng trong công tác chỉnh biên của ngành thủy văn, tài nguyên nước.

Từ khóa: Quan hệ lưu lượng - mực nước, Chebyshev, sông Đà, nước vật, bồi xói.

1. Giới thiệu chung

Lưu lượng nước sông là một yếu tố không thể thiếu trong phân tích thủy văn, dự báo thủy văn, đánh giá, quy hoạch và quản lý tài nguyên nước, nhằm phục vụ phát triển kinh tế xã hội, phòng chống và giảm nhẹ thiên tai, đảm bảo an ninh nước. Tuy nhiên việc đo đạc liên tục lưu lượng nước sông là khó khả thi do các vấn đề liên quan đến kinh tế, công nghệ, và an toàn tính

mạng của quan trắc viên. Bên cạnh đó, yếu tố mực nước trong sông lại có thể được quan trắc liên tục, dễ dàng và ít tốn kém với tần suất đo đạc đủ dày, đặc biệt là với các trạm quan trắc mực nước tự động. Do vậy việc ước tính giá trị lưu lượng một cách liên tục thường được dựa trên các đường cong quan hệ mực nước - lưu lượng (quan hệ H-Q) tại mỗi trạm đo.

Phụ thuộc vào đặc trưng thủy lực, đặc trưng hình học, độ nhám đáy của mỗi đoạn sông đặt

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: giangnt@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4956>

trạm quan trắc, các đường quan hệ H-Q có thể được phân chia thành 2 loại: *đơn giản* và *phức tạp*. *Quan hệ H-Q đơn giản* tồn tại khi lưu lượng tại một vị trí đo đặc chỉ phụ thuộc vào mực nước tại vị trí đó. Dựa vào các phân tích thủy động lực đơn giản (bỏ qua tính biến đổi của lòng dẫn), cũng có thể thấy rằng do tính bất ổn định của sóng lũ tại các sông suối mà mỗi quan hệ H-Q luôn có dạng vòng dây ngay cả trong trường hợp lòng sông không có bãi bồi [1]. Ảnh hưởng dạng vòng dây này đôi khi có thể bỏ qua khi độ dốc đáy sông là rất lớn (lớn hơn 1 phần nghìn) [2], hoặc trong các trường hợp giá trị lưu lượng trung bình ngày thay vì lưu lượng giờ là yếu tố cần xác định. Do vậy, đường quan hệ H-Q đơn giản vẫn có nhiều ý nghĩa sử dụng trong thực tế [1]. Quan hệ H-Q đơn giản sẽ không còn phù hợp khi các sông suối có độ dốc nhỏ, có ảnh hưởng của nước vật, có hiện tượng tràn bãi, có tính bất ổn định cao (chuyển động sóng lũ nhanh), hay với các sông suối có biến đổi đáy đáng kể [1-3]. Trong các trường hợp đó thường phải sử dụng *Quan hệ H-Q phức tạp*, liên hệ giữa lưu lượng với mực nước và các biến phụ khác do có sự thiếu đồng nhất giữa mực nước và lưu lượng.

Phương pháp hồi quy với các hàm truyền thống như hàm tuyến tính, logarit, hàm mũ, hàm đa thức, kết hợp với phương pháp phân đoạn theo cấp mực nước thường được sử dụng để xây dựng các quan hệ H-Q đơn giản [4, 5]. Khi ảnh hưởng của sóng lũ tạo nên đường quan hệ H-Q có dạng vòng dây, phương pháp hồi quy phi tuyến sử dụng các biến thể của công thức Jones, kết hợp với các kỹ thuật tối ưu được sử dụng trong [2, 6, 7]. Cũng tương tự như đối với lũ, nước vật do ảnh hưởng của hồ chứa, cầu giao thông, thủy triều, làm cho hàm quan hệ H-Q không còn là đơn trị. Để mô phỏng quan hệ H-Q trong trường hợp này, phương pháp độ dốc thường được sử dụng [8]. Ngoài ra, Hidayat và cộng sự đã áp dụng phương pháp chỉ số lưu tốc (Index-Velocity) và một biến thể của nó khi sử dụng máy đo lưu tốc tự động H-ADCP để thiết lập quan hệ Q-H tại trạm bị ảnh hưởng của nước vật [9]. Kết quả cho thấy phương pháp dựa trên công thức Jones không đủ độ chính xác để mô phỏng quan hệ H-Q tại trạm đồng thời chịu bị ảnh hưởng của nước vật do hồ,

các nhập lưu, thủy triều và sóng lũ. Thêm vào đó, hiện tượng bồi xói do tự nhiên và con người diễn ra rất phổ biến tại các con sông thiên nhiên. Các nghiên cứu [10-12] đã tập trung vào xây dựng các phương pháp để xác định các quan hệ H-Q khi đoạn sông bị bồi xói. Đáng chú ý là trong nghiên cứu [10], các tác giả đã sử dụng độ dốc mặt nước làm biến phụ khi xây dựng các đường quan hệ H-Q, tương tự như phương pháp độ dốc đã được đề cập.

Fenton, 2018 [13], trong những nỗ lực tìm kiếm các phương pháp tự động xây dựng quan hệ H-Q ở các trạm quan trắc lưu lượng ổn định, đã chứng minh hàm đa thức bậc M là hàm xấp xỉ tốt quan hệ H-Q khi về trái của phương trình là $Q^{1/2}$. Đồng thời, tác giả cũng lần đầu tiên đề xuất việc sử dụng hàm đa thức dạng này với về phải là một tập các hàm đa thức Chebyshev dạng 1. Để đánh giá, tác giả đã so sánh dạng hàm đa thức trực giao này với hàm hồi quy Spline bậc 2 và 3 (với các điểm nút có thể được nhập bằng tay hoặc phân chia tự động). Kết luận của tác giả là cả 2 dạng hàm này đều hoạt động rất tốt và có thể được đưa vào tiêu chuẩn ngành khi xây dựng các quan hệ H-Q. Để giải quyết vấn đề các điểm phân tán do biến đổi đáy sông, tác giả đề xuất khái niệm “đường bao” (“rating envelope”) đối với các biến đổi đáy ngắn hạn và phương pháp “trọng số theo thời gian” (weighting with age of the data) đối với các biến đổi đáy dài hạn. Tuy nhiên, điều dễ nhận thấy là tác giả mới chỉ xét đến các dạng đường quan hệ là đơn giản (Q chỉ phụ thuộc vào H) mà chưa xét đến các trường hợp nước vật hay đáy sông bị bồi xói mạnh do con người. Mặt khác, điểm mạnh của các hàm Chebyshev là không cần phân đoạn, khi so sánh với hàm Spline.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu xây dựng đường quan hệ H-Q chưa được thực hiện và công bố nhiều [5]. Việc xây dựng các đường quan hệ này còn phụ thuộc vào các quy trình phức tạp, với nhiều bước tính toán, hiệu chỉnh thủ công, ẩn chứa nhiều yếu tố chủ quan của người chỉnh biên [14], mặc dù tài liệu này đã bao gồm các trường hợp quan hệ bị ảnh hưởng của lũ, phai (các đập tạm), nước vật, bồi xói lòng dẫn. Phần mềm chỉnh biên trên máy tính HYDPRODB 1.0 [15]

hiện đang được sử dụng tại các đơn vị chuyên môn (trạm, đài, trung tâm thủy văn) đã phân nào loại bớt tính chủ quan, tăng độ chính xác bằng cách đưa 8 dạng đường quan hệ H-Q đối với dạng ổn định cũng như các phương pháp để tính cho các trường hợp không ổn định (gồm cả Jones và splines). Mặc dù vậy, trong [14] và [15] chưa có hướng dẫn về việc lựa chọn dạng đường và phương pháp nào là tốt trong các trường hợp cụ thể. Mặt khác, do phần mềm có bản quyền, là đóng, nên không thể thay đổi và cập nhật các mô hình hồi quy và phương pháp mới. Thêm vào đó, dạng phương trình đa thức Chebyshev cũng chưa có trong thư viện hàm của phần mềm chính biên này.

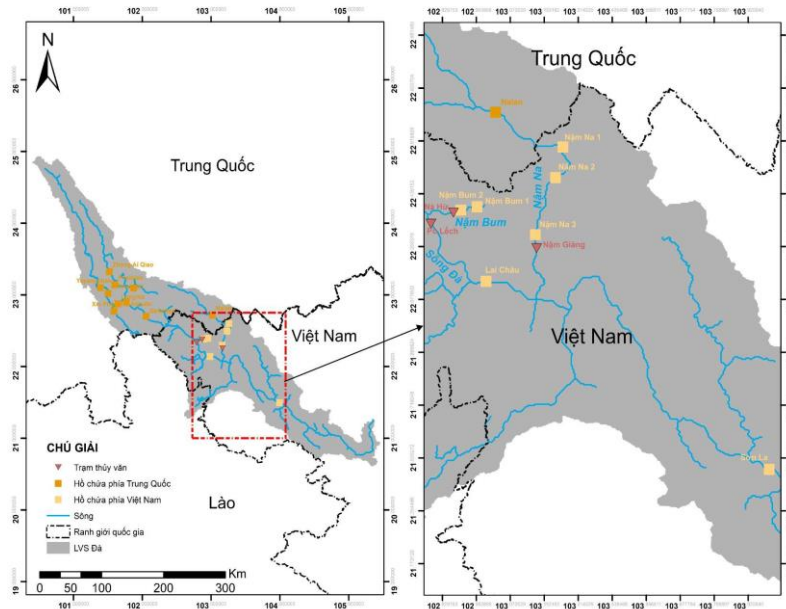
Nghiên cứu này được thực hiện để trả lời hai câu hỏi sau: i) Phương pháp xấp xỉ đa thức Chebyshev dạng 1 có phù hợp để xây dựng đường quan hệ H-Q ổn định, đơn giản ở 3 trạm trên lưu vực sông Đà không?; và ii) Khi kết hợp phương pháp này với phương pháp độ dốc mặt nước và phân đoạn theo thời gian để xây dựng các quan hệ H-Q phức tạp (ảnh hưởng bởi biến đổi mặt cắt, biến đổi lòng dẫn, nước vật) cho các trạm này thì kết quả ra sao? Các kết quả nghiên

cứ được phân tích, đánh giá thông qua số liệu quan trắc tại các trạm Pô Lếch, Nà Hừ, Nậm Giàng trong các năm từ 2006 đến 2011.

2. Khu vực nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Đà là một trong những lưu vực sông lớn của Việt Nam, với diện tích là 52.900 km² (trong đó phần lưu vực thuộc lãnh thổ Trung Quốc chiếm 49%). Là một sông liên quốc gia, sông Đà có vị trí đặc biệt quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội vùng Tây Bắc và Đồng Bằng sông Hồng. Do có tiềm năng phát triển thủy điện rất lớn nên trên lưu vực sông Đà đã có rất nhiều các hồ chứa thủy điện của cả Việt Nam và Trung Quốc được xây dựng. Các hồ chứa này (Hình 1) đã có những ảnh hưởng sâu sắc đến chế độ dòng chảy, tài nguyên nước, vận chuyển bùn cát và biến đổi lòng dẫn cũng như hệ sinh thái khu vực hạ lưu của lưu vực. Những ảnh hưởng này cũng làm thay đổi quan hệ H-Q nhiều, ít khác nhau tại các trạm thủy văn trên toàn lưu vực.



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Đà và các hồ chứa có dung tích trên 50 triệu m³ (trái) và vị trí các trạm nghiên cứu (phải).

2.2. Lựa chọn trạm và dữ liệu sử dụng

Nghiên cứu đã lựa chọn 3 trạm thủy văn Pô Lếch, Nà Hừ, và Nậm Giàng do các trạm này không chế các diện tích lưu vực rất khác nhau và bị ảnh hưởng bởi các nhân tố khác nhau ở cuối thời kỳ tính toán (2010-2011). Dưới đây là một số nét chính về các trạm.

Trạm thủy văn Pô Lếch thuộc xã Can Hồ, huyện Mường Tè, tỉnh Lai Châu. Diện tích không chế trạm là 26270 km². Trạm được thành lập năm 2003, là trạm thủy văn hạng 1 để phục vụ xây dựng hồ thủy điện Sơn La và tiếp tục đo từ năm 2007 đến năm 2011 phục vụ tính toán thiết kế cho hồ thủy điện Lai Châu. Sau đó, trạm không còn được duy trì hoạt động nữa. Các dữ liệu đo Q, H của trạm Pô Lếch đã được sử dụng trong nghiên cứu xây dựng quan hệ H-Q bằng một số phương trình hồi quy trong [5].

Trạm Thủy văn Nà Hừ được xây dựng trên sông Nậm Bum thuộc Bản Nà Hừ, Xã Bum Nưa, Huyện Mường Tè, Tỉnh Lai Châu. Diện tích lưu vực không chế là 155 km². Trạm được thành lập năm 1967, là trạm hạng 2 thuộc sông miền núi, quan trắc các yếu tố lưu lượng, mực nước, lượng mưa, nhiệt độ. Trạm nằm ở phía bờ phải sông Nậm Bum. Lưu vực này mang đặc tính cơ bản của sông miền núi là dài và hẹp nên lũ tập chung nhanh và rút nhanh, độ dốc lòng sông rất lớn. Từ tháng 11 năm 2009, do tiến hành dự án làm tỉnh lộ Mường Tè - Pa Tần, tại khu vực phía thượng lưu (ngoài hành lang đoạn sông đặt trạm), đất đá đổ xuống lòng sông rất nhiều do việc mở đường, do đó trong năm 2010, 2011 ứng với mỗi thời kỳ thi công làm đường và có lũ xuất hiện trên sông thì mặt cắt tuyến đo Q và H của trạm bị bồi lên rõ rệt, cao trình đáy sông bị nâng dần lên theo thời gian và theo biến trình của các trận lũ trong năm.

Trạm thủy văn Nậm Giàng thuộc địa phận xã Chăn Nưa, huyện Sìn Hồ, tỉnh Lai Châu, cách thị xã Mường Lay tỉnh Điện Biên khoảng 30 km. Diện tích lưu vực trạm không chế là 6740 km². Trạm được thành lập năm 1964, là trạm hạng 2 thực hiện việc quan trắc, đo đạc các yếu tố thủy văn trên sông Nậm Na thuộc lưu vực sông Đà nhằm phục vụ các công trình dân sinh, kinh tế của địa phương, thu thập số liệu phục vụ công

tác dự báo phòng chống thiên tai, điều tiết hồ chứa thủy điện. Phía thượng lưu của trạm thủy văn Nậm Giàng có 3 thủy điện: Thủy điện Nậm Na 3 cách trạm khoảng 4 km, xây dựng từ năm 2012; thủy điện Nậm Na 2 (xây dựng năm 2009) cách trạm khoảng 37 km, phía đầu nguồn sông có thủy điện Nậm Na 1 (xây dựng năm 2014). Trong thời kỳ tính toán, dòng chảy qua trạm Thủy văn Nậm Giàng ít chịu ảnh hưởng thủy điện Nậm Na 2 phía thượng lưu, và chịu ảnh hưởng lớn của nước vật từ thủy điện Sơn La năm 2011 (chặn dòng, tích nước từ ngày 15/5/2010).

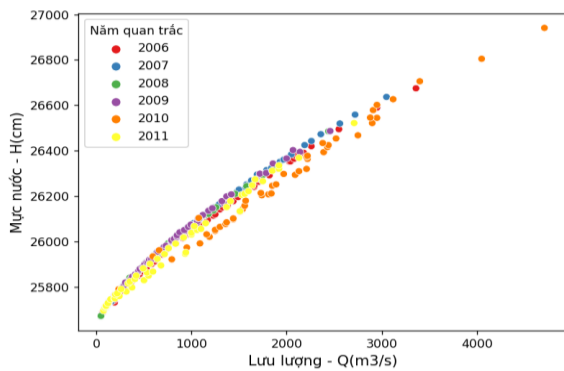
Bảng 1. Thống kê dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu (từ năm 2006 đến 2011)

	Pô Lếch	Nà Hừ	Nậm Giàng
Số điểm đo Q (Q ^g)	398	225	324
H ^r _{max}	27070	33981	21504
H ^r _{min}	25666	33696	20448
H ^g _{max}	27251	33916	21504
H ^g _{min}	25671	33696	20424
Q ^g _{max}	6460	155	3050
Q ^g _{min}	42,7	22	35,8
S _{max}	Không có	86	9,2
S _{min}		13	0,02

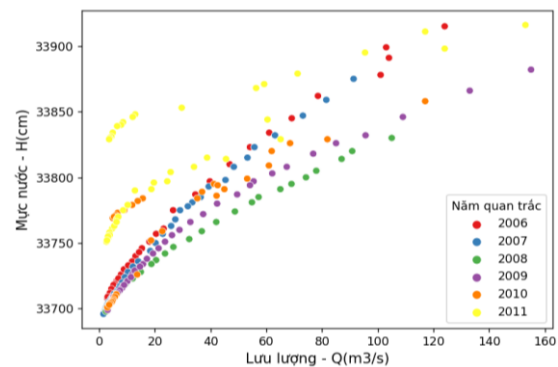
Số liệu được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm số liệu mực nước và lưu lượng đo đồng thời trong các năm từ 2006 - 2011 tại 3 trạm Pô Lếch, Nà Hừ, Nậm Giàng cũng như số liệu mực nước lớn nhất, nhỏ nhất (không đo Q) và độ dốc lớn nhất, nhỏ nhất. Số lượng điểm đo, các giá trị tức thời, giá trị max, min của H, Q và độ dốc (S) được được tóm tắt trong bảng 1. Các cặp đo Q^g – H^g (gauging) là các giá trị Q, H được đo đồng thời; các giá trị đo H không đồng thời với đo Q được ký hiệu là H^r.

Trên Hình 2 là các điểm H-Q thực đo tổng hợp (6 năm) của 3 trạm Nhà Hừ, Pô Lếch, Nậm Giàng. Qua đó có thể thấy: đối với trạm Pô Lếch, quan hệ H-Q trong thời kỳ 2006-2011 tương đối ổn định (Hình 2a); đối với trạm Nhà Hừ (Hình 2b), quan hệ H-Q có sự thay đổi giữa các năm, từ 2006 đến 2009 tương đối ổn định, tuy nhiên có thể thấy rất rõ ảnh hưởng của sự biến đổi lòng

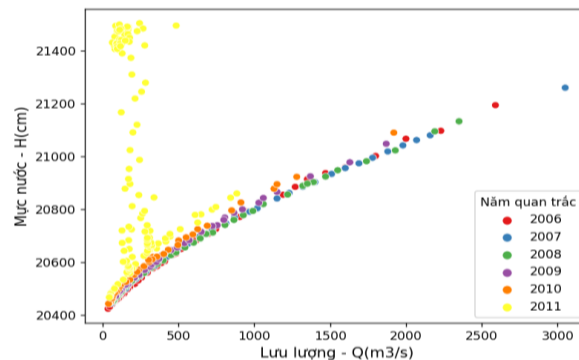
dẫn đặc biệt là vào thời kỳ mùa lũ trong năm 2010 và 2011; đối với trạm Nậm Giàng (Hình 2c), quan hệ H-Q trước năm 2011 tương đối ổn định, tuy nhiên với số liệu năm 2011 cho thấy từ tháng 11/2010, do ảnh hưởng của việc tích nước của hồ chứa thủy điện Sơn La nên quan hệ H-Q bị biến đổi rõ rệt.



a) Trạm Pô Lếch



b) Trạm Nhà Hừ



c) Trạm Nậm Giàng

Hình 2. Quan hệ mực nước - lưu lượng thực đo tại các trạm nghiên cứu từ 2006 đến 2011.

3. Phương pháp

3.1. Cơ sở thủy động lực học của mối quan hệ H-Q

Trong trường hợp dòng chảy nhỏ, các yếu tố của mặt cắt như hình dạng, độ nhám,... là những yếu tố chính có ảnh hưởng đến quan hệ H-Q và quan hệ này thường có dạng đơn giản, tuyến tính. Với các trường hợp dòng chảy trung bình hoặc

lớn thì các yếu tố mặt cắt ảnh hưởng ít đi, và các yếu tố quyết định của lòng dẫn đến quan hệ H-Q trở nên quan trọng hơn, bao gồm các đặc điểm vật lý của phần lòng dẫn phía hạ lưu (như hình dạng, độ dốc, độ cong và độ nhám). Các yếu tố này có thể được mô tả bằng phương trình Manning như sau [3]:

$$v = \frac{k}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Với $k = 1,49$ trong hệ đo lường của Anh và $k = 1$ trong hệ mét, n là hệ số nhám, R là bán kính thủy lực, S_f là độ dốc ma sát, v là vận tốc trung bình mặt cắt. Bán kính thủy lực được tính như sau:

$$R = \frac{A}{P} \quad (2)$$

Với A là diện tích mặt cắt ướt, P là chu vi ướt.

Từ phương trình (1), ta có lưu lượng, được tính toán từ vận tốc và diện tích mặt cắt sông:

$$Q = \frac{k}{n} AR^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Đối với dòng chảy ổn định đều, độ dốc ma sát S_f bằng độ dốc đáy S_0 theo [16], phương trình (3) trở thành:

$$Q = \frac{k}{n} AR^{\frac{2}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Đối với trường hợp kênh hình chữ nhật, với B là chiều rộng, Y là độ sâu, ta có:

$$Q = \frac{k}{n} B Y^{\frac{5}{3}} S_0^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Phương trình (5) mô tả mối quan hệ giữa mực nước và lưu lượng trong một kênh chữ nhật trong điều kiện dòng chảy ổn định và đồng nhất. Mối quan hệ này chỉ đúng khi đoạn kênh có đặc trưng hình học, độ nhám và độ dốc đáy không thay đổi. Tuy nhiên, trong các dòng chảy tự nhiên và sông suối, dòng chảy ổn định và đồng nhất hiếm khi có được do tính biến đổi theo không gian và thời gian của dòng chảy trong kênh hở. Các yếu tố như tính không ổn định, gia tốc hướng dòng và áp lực thủy động tạo nên sự sai khác so với dòng chảy ổn định. Khi dòng chảy chủ yếu là một chiều, độ dốc ma sát có thể được biểu diễn bằng phương trình (6).

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (6)$$

Trong đó: $(\partial y/\partial x)$ là sự thay đổi của độ sâu dòng chảy (y) theo khoảng cách (x), thể hiện ảnh hưởng của sự không đồng nhất lòng dẫn; $(v/g)(\partial v/\partial x)$ là gia tốc đối lưu, trong đó v là vận tốc và g là gia tốc trọng trường, đặc trưng cho ảnh hưởng của sự thay đổi vận tốc dọc theo lòng dẫn; $(1/g)(\partial v/\partial t)$ đại diện cho độ không ổn định của dòng chảy, trong đó $(\partial v/\partial t)$ biểu thị sự thay đổi vận tốc theo thời gian.

Bằng cách kết hợp các số hạng này, phương trình (6) xem xét ảnh hưởng của sự không đồng nhất của kênh, sự thay đổi vận tốc dòng chảy và sự không ổn định trên độ dốc ma sát của dòng chảy. Những yếu tố của thủy động lực học gây nên sự phức tạp của đường cong quan hệ lưu lượng mực nước.

Bên cạnh đó, từ nguyên lý bảo toàn vật chất ta có phương trình liên tục cho dòng chảy một chiều không có nhập lưu có thể được viết như sau:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (7)$$

Từ các phương trình (6) và (7) có thể thấy các yếu tố chính ảnh hưởng đến điều kiện thủy động lực là: Tính không đồng nhất của lòng dẫn, tính bất ổn định của dòng chảy và chênh lệch áp suất thủy tĩnh. Do ảnh hưởng của các yếu tố này khiến cho quan hệ H-Q tại một vị trí trong sông tự nhiên luôn có dạng vòng dây trong [17, 18].

3.2. Các phương pháp xây dựng quan hệ H-Q

3.2.1. Xây dựng quan hệ H-Q dạng đa thức thường

Theo phương pháp này, lưu lượng Q có thể được biểu diễn bằng một đa thức bậc M của mực nước H [13, 19, 20]:

$$Q = a_0 + a_1 H + a_2 H^2 + \dots + a_M H^M = \sum_{m=0}^M a_m H^m \quad (8)$$

Trong đó: a_0, a_1, \dots, a_M là các hệ số. Có thể sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu để xác định các hệ số. Fenton [20] đề xuất sử dụng đa thức với Q^v :

$$Q^v = a_0 + a_1 H + a_2 H^2 + \dots + a_M H^M = \sum_{m=0}^M a_m H^m \quad (9)$$

và kiến nghị lấy $v = 1/2$.

Trong nghiên cứu [5], khi áp dụng dạng hàm đa thức (8), (9) với bậc 1, 2 và so sánh với một số dạng hàm thường dùng thì cho thấy sử dụng hàm dạng phương trình (9) với $M = 2$ (sau đây gọi là hàm đa thức thường) cho kết quả tốt nhất với trường hợp của trạm Pô Lêch. Tuy nhiên khi áp dụng dạng hàm này cho đường tổng hợp (TH) vẫn chưa đảm bảo tiêu chí đánh giá $\sigma \leq 5\%$.

Trong phương trình (9) có thể thay các hàm H^m bằng một hàm tổng quát hơn $f_m(H)$:

$$Q^v = a_0 f_0(H) + a_1 f_1(H) + \dots + a_M f_M(H) = \sum_{m=0}^M a_m f_m(H) \quad (10)$$

Theo [20] một số hàm $f_m(H)$ thường dùng có thể kể đến như các phương trình 11, 12, 13, sau:

$$f_m(H) = H^m \quad (11)$$

$$f_m(H) = (H - H_{\min})^m \quad (12)$$

$$f_m = y_m \quad (13)$$

Trong đó y được chuẩn hóa trong khoảng $[-1, +1]$ như sau:

$$y = -1 + 2 \frac{H - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}} \quad (14)$$

với H_{\max}, H_{\min} là giá trị lớn nhất, nhỏ nhất của mực nước

3.2.2. Xây dựng quan hệ H-Q sử dụng đa thức Chebyshev dạng 1

Đa thức Chebyshev dạng 1 là một loại đa thức trực giao đặc biệt, được ký hiệu là $T_n(x)$ trong đó n là một số nguyên dương và x là biến số. Đa thức này được xác định trên đoạn $[-1, 1]$. Đa thức Chebyshev dạng 1 có nhiều ứng dụng trong các lĩnh vực như xấp xỉ hàm số, tích phân số học, xử lý tín hiệu, giải phương trình vi phân và cả lý thuyết xác suất [21]. Một ứng dụng quan trọng của đa thức Chebyshev dạng 1 là xấp xỉ hàm số xác định trên khoảng $[-1, 1]$. Với các hệ số phù hợp, ta có thể biểu diễn một hàm bất kỳ xác định trên khoảng này dưới dạng một tổ hợp tuyến tính của các đa thức Chebyshev dạng 1. Điều này rất hữu ích trong việc xây dựng các phương pháp xấp xỉ hiệu quả cho tính toán số. Fenton [13] đã áp dụng xấp xỉ đa thức Chebyshev dạng 1 để xây dựng quan hệ H-Q tại một số trạm ở Australia, Bangladesh, Hoa Kỳ và cho thấy hiệu quả của việc sử dụng đa thức Chebyshev dạng 1. Trong nghiên cứu này, tác giả cũng đã đưa ra kiến nghị sử dụng các đa thức Chebyshev với số bậc nhỏ hơn hoặc bằng 10. McMahon và Peel [22] khi phân tích tính bất định của các đường quan hệ H-Q cũng đã lựa chọn sử dụng xấp xỉ đa thức Chebyshev dạng 1 với các bậc khác nhau từ 1 đến 11 để xây dựng

các quan hệ H-Q. Chính vì vậy trong nghiên cứu này nhóm tác giả đã nghiên cứu sử dụng phương pháp xấp xỉ đa thức Chebyshev dạng 1 xây dựng quan hệ H-Q cho các trạm thủy văn trên lưu vực sông Đà. Để có thể áp dụng được phương pháp này, sử dụng dạng biểu diễn của lưu lượng theo mực nước giống như phương trình (10) với hàm f_m là đa thức Chebyshev dạng 1 bậc m ($f_m = T_m(y)$), như vậy ta có phương trình (15) như sau:

$$Q^v = \sum_{m=0}^M a_m T_m(y) \quad (15)$$

Trong đó $T_m(y) = \cos(m * \arccos(y))$, được gọi là đa thức Chebyshev dạng 1, y được tính theo phương trình (14).

Để xác định các hệ số a_m , có thể có 2 phương pháp là tối ưu hóa (Optimisation methods) và phương trình chuẩn (Normal equations). Trong nghiên cứu này, phương pháp phương trình chuẩn được áp dụng để xây dựng chương trình tính toán xác định các hệ số a_m . Các bước tính toán theo phương pháp này có thể tham khảo từ tài liệu [13].

3.2.3. Phương pháp độ dốc

Phương pháp quan hệ H-Q phụ thuộc độ dốc (gọi tắt là phương pháp độ dốc) được nghiên cứu ứng dụng thử nghiệm với các trường hợp quan hệ H-Q không ổn định ở trạm Nà Hừ (năm 2010, 2011) và trạm Nậm Giàng (2011) như đã phân tích trong phần 2.2. Có hai loại phương pháp độ dốc là: i) Phương pháp độ dốc không đổi; và ii) Phương pháp độ dốc thay đổi. Phương pháp độ dốc không đổi thường được áp dụng trong trường hợp có nước vật tại tất cả các mực nước và tại tất cả các thời điểm nhưng nó không phù hợp với các trường hợp nước vật gián đoạn. Phương pháp độ dốc thay đổi có thể dùng cho cả trường hợp nước vật gián đoạn hay nước vật toàn bộ thời gian. Vì vậy phương pháp sử dụng trong nghiên cứu này là phương pháp độ dốc thay đổi. Phương pháp độ dốc thay đổi thực hiện tính toán theo nguyên tắc chung là đầu tiên xây dựng một quan hệ mực nước - lưu lượng đơn giản, sau đó sẽ tiến hành tính toán hiệu chỉnh dần các giá trị lưu lượng tính toán dựa trên một quan hệ giữa độ dốc và mực nước. Với phương pháp này, dữ liệu đầu vào trong quá trình tính toán bao gồm lưu

lượng (Q^g), mực nước (H^g) và độ dốc mặt nước (S) thực đo. Các bước tính toán theo phương pháp này có thể được tham khảo từ tài liệu [17, 19].

3.2.4. Các chỉ tiêu đánh giá và phương pháp phân đoạn theo thời gian

Năm (05) chỉ số đánh giá độ khớp giữa lưu lượng tính toán từ các mô hình và giá trị lưu lượng đo đạc được sử dụng, bao gồm: MAE, σ , Pbias, KGE, và MAPE. Bốn chỉ số đầu cũng như phương pháp phân đoạn tự động theo độ lớn mực nước đã được mô tả trong [5]. Chỉ số MAPE được trình bày ở phương trình (16) dưới đây.

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n |Q^g - Q^{tt}) / Q^g| \quad (16)$$

Phương pháp phân đoạn theo thời gian (còn được gọi là Phương pháp nối theo thứ tự thời gian trong [14]) sử dụng quy trình phân nhỏ dài điểm H-Q thực đo thành các đoạn nối liền với nhau theo thứ tự thời gian. Đối với mỗi đoạn sẽ xây dựng một mô hình hồi quy tương ứng. Giá trị lưu lượng giờ giữa 2 đầu mút của mỗi đoạn được nội suy từ phương trình hồi quy của đoạn

đó. Như trong [14] đã khuyến cáo, phương pháp này chỉ nên sử dụng khi số các điểm đo lưu lượng là nhiều và không nên sử dụng khi đường quan hệ H-Q có dạng gần như đường nằm ngang. Ở đây, nhóm tác giả sử dụng phương pháp thử sai (thủ công) để chọn các nút phân đoạn.

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Phương pháp không phân đoạn

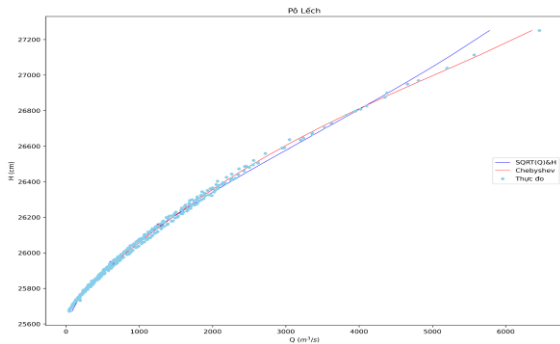
Các quan hệ mực nước - lưu lượng theo đa thức thường, Chebyshev bậc 1, độ dốc lần lượt được áp dụng cho các số liệu thực đo của trạm Pô Lếch, Nà Hừ, Nậm Giàng giai đoạn từ 2006 đến 2011. Riêng trạm Pô Lếch, do không có số liệu đo độ dốc nên không áp dụng được phương pháp độ dốc. Đối với dạng đa thức Chebyshev, nghiên cứu đã tính toán thử nghiệm với nhiều bậc khác nhau và kết quả cho thấy đa thức Chebyshev bậc 4 cho kết quả tốt nhất. Các kết quả đánh giá giữa các dạng đường quan hệ H-Q khác nhau được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả đánh giá quan hệ H-Q bằng phương pháp không phân đoạn theo cấp mực nước

Năm	Chỉ số	Đa thức thường không phân đoạn			Chebyshev bậc 4 không phân đoạn			Slope không phân đoạn	
		Pô Lếch	Nà Hừ	Nậm Giàng	Pô Lếch	Nà Hừ	Nậm Giàng	Nà Hừ	Nậm Giàng
2006	MAE	53,89	1,12	19,68	11,45	0,75	9,69	0,56	18,85
	KGE	0,998	0,995	0,999	1,000	0,996	0,999	0,983	0,960
	MAPE(%)	6,20	4,28	6,38	1,03	2,48	1,97	1,04	2,74
	Pbias(%)	0,061	0,053	0,042	0,003	0,035	0,009	-0,386	-1,658
	σ (%)	8,42	4,93	8,38	1,46	3,28	2,77	1,57	3,98
2007	MAE	59,77	0,77	9,50	8,74	0,41	4,92	0,25	10,34
	KGE	0,997	0,999	1,000	1,000	0,999	1,000	0,980	0,982
	MAPE(%)	8,51	5,97	2,39	1,16	2,93	1,79	1,09	1,81
	Pbias(%)	0,066	0,044	0,011	0,002	0,019	0,007	-0,434	-0,801
	σ (%)	11,47	7,47	4,00	1,95	3,95	3,47	1,25	2,09
2008	MAE	25,45	0,46	12,40	9,47	0,45	9,68	0,43	11,22
	KGE	0,996	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,951
	MAPE(%)	5,63	2,74	2,25	2,39	2,23	1,99	2,51	1,15
	Pbias(%)	0,038	0,011	0,011	0,011	0,008	0,008	-0,354	-0,874
	σ (%)	8,74	3,64	2,64	5,64	2,70	2,61	3,65	1,68
2009	MAE	15,47	0,59	10,74	9,86	0,44	8,34	0,81	3,88
	KGE	0,999	0,998	0,999	1,000	1,000	0,999	0,970	0,967
	MAPE(%)	2,82	3,50	2,95	1,49	2,33	2,34	1,82	0,74
	Pbias(%)	0,015	0,015	0,018	0,004	0,008	0,012	-0,761	-0,711
	σ (%)	5,13	4,41	3,63	2,49	3,36	2,86	2,03	1,78

2010	MAE	13,76	7,89	10,86	8,54	7,39	9,08	6,01	10,59
	KGE	0,999	0,918	0,999	1,000	0,932	0,999	0,833	0,972
	MAPE(%)	2,76	54,94	3,55	1,38	41,35	3,25	32,48	2,87
	Pbias(%)	0,011	4,267	0,030	0,004	3,120	0,024	0,084	-0,223
	σ (%)	4,07	50,32	4,55	1,69	43,42	4,26	29,44	3,34
2011	MAE	12,98	11,84	88,87	7,77	10,26	104,70	7,04	24,95
	KGE	0,999	0,607	0,131	0,999	0,833	0,154	0,898	0,596
	MAPE(%)	2,42	100,48	42,84	1,32	77,14	50,71	31,98	10,38
	Pbias(%)	0,012	10,305	6,032	0,005	6,904	4,552	5,422	-4,503
	σ (%)	3,22	88,96	60,85	1,71	99,82	65,76	44,92	15,34
TH	MAE	46,77	11,15	190,06	35,26	11,15	175,12	11,61	34,57
	KGE	0,997	0,566	0,323	0,998	0,589	0,439	-0,004	0,857
	MAPE(%)	7,07	84,39	56,72	4,08	82,44	54,83	32,04	9,21
	Pbias(%)	0,080	8,219	7,950	0,033	8,085	7,175	-14,073	-4,678
	σ (%)	9,80	48,52	65,20	5,26	47,53	53,56	32,79	22,31

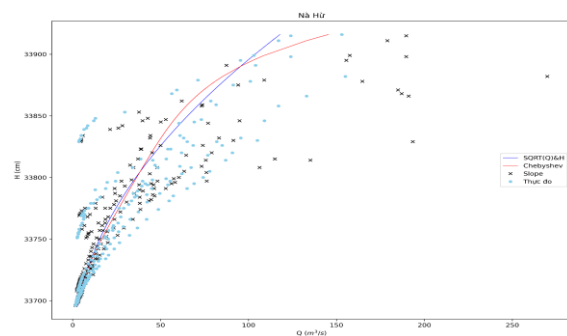
Qua Bảng 2 có thể thấy rằng với phương pháp không phân đoạn theo cấp mực nước, khi so sánh giữa dạng quan hệ sử dụng đa thức thường và đa thức Chebyshev thì nhìn chung phương pháp sử dụng đa thức Chebyshev cho kết quả tốt hơn. Trên Hình 3 là so sánh quan hệ H-Q tổng hợp tại trạm Pô Lếch xây dựng bằng phương pháp không phân đoạn dạng hàm đa thức thường (SQRT(Q)&H) và dạng hàm đa thức Chebyshev. Qua đó có thể thấy dạng đa thức Chebyshev cho kết quả phù hợp hơn so với dạng hàm đa thức thường, nhất là ở phần nước cao.



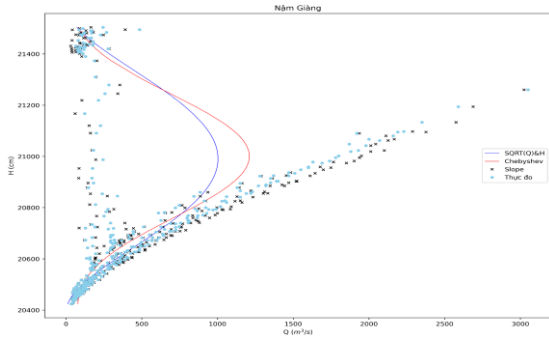
Hình 3. So sánh các quan hệ H-Q tổng hợp trạm Pô Lếch khi sử dụng hàm đa thức thường và đa thức Chebyshev (không áp dụng phân đoạn).

Cũng từ Bảng 2 có thể thấy khi áp dụng phương pháp độ dốc cho các năm ổn định của trạm Nà Hừ và Nậm Giàng thì hiệu quả của việc đưa thêm độ dốc vào xây dựng quan hệ H-Q cũng không cải thiện được rõ rệt kết quả so với

quan hệ H-Q đơn giản dạng đa thức Chebyshev. Tuy nhiên đối với các năm không ổn định (năm 2010, 2011 ở trạm Nà Hừ và năm 2011 ở trạm Nậm Giàng) thì phương pháp đa thức Chebyshev sử dụng độ dốc không còn phù hợp nữa. Mặt khác, phương pháp độ dốc lại có thể cải thiện được đáng kể kết quả (tất cả các chỉ số đánh giá đều tốt lên). Điều này cũng có thể thấy rất rõ trong Hình 4 và Hình 5 khi so sánh giữa phương pháp sử dụng đa thức Chebyshev và phương pháp sử dụng độ dốc khi xây dựng quan hệ H-Q tổng hợp (có bao gồm các năm không ổn định) của trạm Nà Hừ và Nậm Giàng. Các giá trị tính toán có sử dụng độ dốc đã phù hợp hơn với các giá trị thực đo rất nhiều. Tuy nhiên các kết quả này vẫn chưa đảm bảo yêu cầu, vì vậy cần thực hiện phân đoạn để tính toán nhằm nâng cao kết quả tính toán.



Hình 4. So sánh quan hệ H-Q tổng hợp tại trạm Nà Hừ khi sử dụng đa thức thường, hàm Chebyshev và phương pháp độ dốc (không áp dụng phân đoạn).



Hình 5. So sánh quan hệ H-Q tổng hợp tại trạm Nam Giàng khi sử dụng đa thức thường, hàm Chebyshev và phương pháp độ dốc (không áp dụng phân đoạn).

4.2. Phương pháp phân đoạn theo cấp mực nước và phân đoạn theo chuỗi thời gian

Để nâng cao chất lượng các quan hệ H-Q, các chuỗi số liệu thực đo lưu lượng, mực nước cần

được phân tách ra thành một số đoạn, mỗi đoạn sử dụng một phương trình quan hệ riêng. Việc phân đoạn có thể được thực hiện theo hai cách là: i) Phân đoạn tự động theo cấp mực nước như được đề xuất trong nghiên cứu [5]; ii) Phân đoạn theo thời gian như trong mục 3.2.4. Kết quả tính toán thực tế cho thấy cách phân đoạn tự động theo cấp mực nước chỉ áp dụng được với các năm/trạm ổn định, còn với những năm/trạm không ổn định thì cần tiến hành phân đoạn theo cách phân đoạn theo thời gian. Sau đây là các kết quả tính toán bằng phương pháp phân đoạn tự động (4.2.1) và bằng phương pháp phân đoạn theo thứ tự thời gian (4.2.2).

4.2.1. Phân đoạn tự động theo cấp mực nước cho các năm ổn định

Trên Bảng 3 là kết quả đánh giá quan hệ H-Q đơn giản xây dựng bằng phương pháp phân đoạn tự động cho các năm/trạm ổn định.

Bảng 3. Kết quả đánh giá quan hệ H-Q theo phương pháp phân đoạn tự động cho các năm ổn định

Năm	Chỉ số	Đa thức thường phân đoạn tự động			Chebyshev bậc 4 phân đoạn tự động		
		Pô Lếch	Nà Hừ	Nam Giàng	Pô Lếch	Nà Hừ	Nam Giàng
2006	MAE	10,03	60,74	10,29	9,58	0,71	8,75
	KGE	1,000	0,996	0,999	1,000	0,996	0,999
	MAPE(%)	0,88	1,97	1,70	0,79	1,80	1,51
	Pbias(%)	0,002	0,034	0,009	0,002	0,028	0,007
	σ (%)	1,19	2,81	2,16	1,06	2,44	1,96
2007	MAE	8,29	0,37	5,04	6,40	0,29	3,94
	KGE	1,000	0,999	1,000	1,000	0,999	1,000
	MAPE(%)	1,13	2,34	1,66	0,87	1,73	1,41
	Pbias(%)	0,002	0,014	0,006	0,001	0,007	0,005
	σ (%)	1,99	2,96	3,35	1,36	2,24	3,19
2008	MAE	7,90	0,38	7,69	6,85	0,27	6,56
	KGE	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000
	MAPE(%)	2,12	1,78	1,43	1,98	1,34	1,27
	Pbias(%)	0,009	0,007	0,005	0,008	0,004	0,003
	σ (%)	4,96	2,40	1,95	4,56	1,81	1,69
2009	MAE	7,19	0,35	7,95	6,98	0,31	5,55
	KGE	1,000	1,000	0,999	1,000	1,000	1,000
	MAPE(%)	1,24	1,60	2,12	1,20	1,12	1,58
	Pbias(%)	0,003	0,006	0,011	0,003	0,004	0,006
	σ (%)	2,04	2,06	2,71	1,92	1,54	2,15
2010	MAE	6,87		8,40	6,22		7,20
	KGE	1,000		0,999	1,000		0,999
	MAPE(%)	1,13		2,98	0,95		2,43
	Pbias(%)	0,003		0,019	0,002		0,014
	σ (%)	1,50		3,67	1,23		3,07

2011	MAE	7,26			6,11		
	KGE	1,000			1,000		
	MAPE(%)	1,15			1,08		
	Pbias(%)	0,004			0,003		
	σ (%)	1,54			1,51		
TH	MAE	32,77			31,99		
	KGE	0,998			0,998		
	MAPE(%)	3,84			3,80		
	Pbias(%)	0,031			0,031		
	σ (%)	5,00			4,98		

So sánh kết quả của Bảng 3 với Bảng 2 cho thấy với các năm/trạm ổn định, sử dụng phương pháp phân đoạn tự động cho kết quả cải thiện hơn so với phương pháp không phân đoạn. Qua Bảng 3 ta cũng có thể thấy sử dụng phương pháp phân đoạn tự động thì quan hệ H-Q dạng đa thức Chebyshev đều cho kết quả tốt hơn so với dạng đa thức thường.

4.2.2. Phân đoạn theo thời gian cho những năm/trạm không ổn định

Trên Bảng 4 là kết quả đánh giá xây dựng quan hệ H-Q phân đoạn theo thời gian cho các năm/trạm không ổn định sử dụng dạng hàm Chebyshev và phương pháp độ dốc của trạm Nà Hừ và Nậm Giàng. Các đường quan hệ H-Q năm

2010, 2011 của trạm Nà Hừ xây dựng theo phương pháp phân đoạn theo thời gian dùng hàm Chebyshev được thể hiện như trong Hình 6 và Hình 7.

Từ Hình 6, Hình 7 và kết quả trong Bảng 4 cho thấy đối với trạm Nà Hừ, sử dụng phương pháp phân đoạn theo thời gian để xây dựng quan hệ H-Q đơn giản dạng đa thức Chebyshev đã nâng cao chất lượng kết quả đáng kể nhưng chưa đảm bảo được điều kiện $\sigma < 5\%$ ($=11,04\%$ với năm 2010 và $=9,70\%$ với năm 2011). Tuy nhiên, khi hiệu chỉnh quan hệ H-Q phức tạp theo phương pháp độ dốc cho những năm này thì cho kết quả $\sigma < 5\%$ ($=1,65\%$ với năm 2010 và $=4,16\%$ với năm 2011).

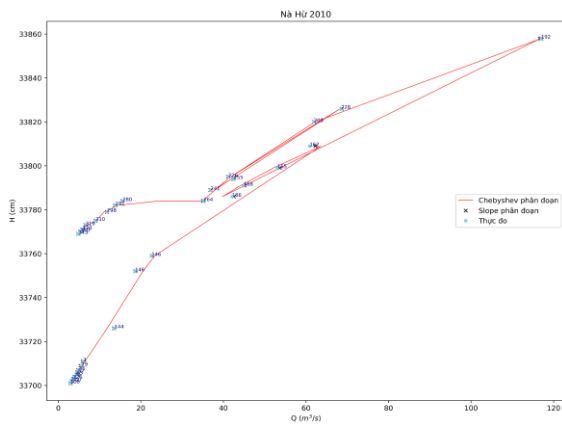
Bảng 4. Kết quả đánh giá quan hệ H-Q phân đoạn theo thời gian cho các năm/trạm không ổn định

Năm	Chỉ số	Chebyshev bậc 4 phân đoạn theo thời gian		Phương pháp độ dốc phân đoạn theo thời gian	
		Nà Hừ	Nậm Giàng	Nà Hừ	Nậm Giàng
2010	MAE	1,18		0,16	
	KGE	0,992		0,996	
	MAPE(%)	5,92		1,07	
	Pbias(%)	0,242		-0,212	
	σ (%)	11,04		1,65	
2011	MAE	1,80	40,78	1,30	15,24
	KGE	0,984	0,859	0,980	0,976
	MAPE(%)	7,38	22,90	3,30	7,57
	Pbias(%)	0,190	1,808	-0,138	-1,399
	σ (%)	9,70	34,26	4,16	12,42

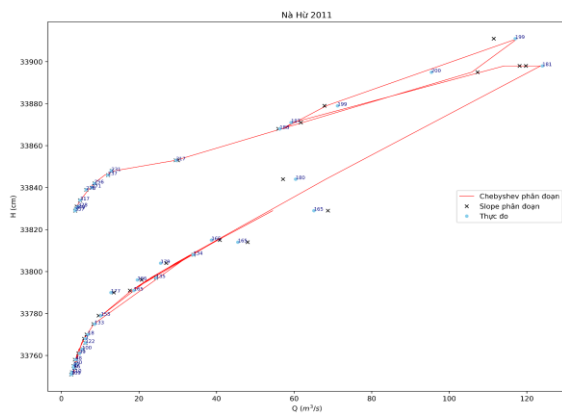
Trên Hình 8 là so sánh quan hệ H-Q xây dựng theo phương pháp phân đoạn theo thời gian giữa dạng đa thức Chebyshev và dạng có sử dụng độ dốc. Qua đó ta có thể thấy rằng đối với trạm

Nậm Giàng, sử dụng phương pháp phân đoạn theo thời gian để xây dựng quan hệ H-Q đơn giản dạng đa thức Chebyshev tuy có cải thiện được kết quả hơn so với không phân đoạn, nhưng vẫn

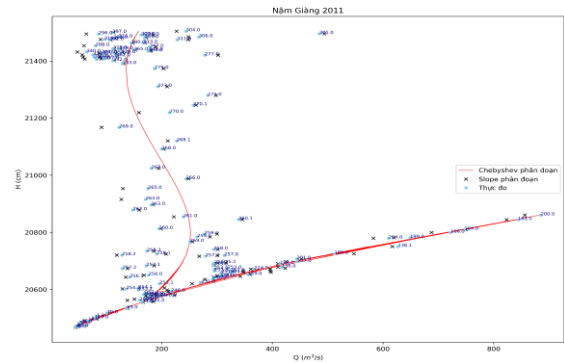
chưa đảm bảo yêu cầu. Nguyên nhân là do trong năm 2011 trạm Nậm Giàng chịu ảnh hưởng của việc tích nước ở hồ Sơn La gây nên hiện tượng nước vật, đường quan hệ H-Q đơn giản không còn phù hợp nữa. Chính vì vậy khi áp dụng phương pháp độ dốc xây dựng quan hệ H-Q thì kết quả đã được nâng cao rõ rệt. Tuy nhiên kết quả này vẫn chưa đảm bảo chất lượng của quan hệ H-Q, vì vậy cần có thêm những nghiên cứu cho trường hợp năm/trạm không ổn định ở trạm Nậm Giàng.



Hình 6. So sánh các quan hệ H-Q tại trạm Nà Hù 2010 khi sử dụng đa thức Chebyshev và khi sử dụng phương pháp độ dốc (có áp dụng phương pháp phân đoạn theo thời gian).



Hình 7. So sánh các quan hệ H-Q trạm Nà Hù 2011 khi sử dụng đa thức Chebyshev và khi sử dụng phương pháp độ dốc (áp dụng phương pháp phân đoạn theo thời gian).



Hình 8. So sánh các quan hệ H-Q tại trạm Nậm Giàng 2011 khi sử dụng đa thức Chebyshev và khi sử dụng phương pháp độ dốc (áp dụng phương pháp phân đoạn theo thời gian).

5. Kết luận

Trong nghiên cứu này, phương pháp xấp xỉ đa thức Chebyshev dạng 1 được áp dụng thử nghiệm để xây dựng các mô hình quan hệ H-Q cho các trạm Pô Lếch, Nà Hù, Nậm Giàng trong các năm ổn định và không ổn định. Kết quả cho thấy phương pháp xấp xỉ đa thức Chebyshev dạng 1 có thể áp dụng tốt với trường hợp quan hệ H-Q đơn giản. Và trong trường hợp này, sử dụng phân đoạn tự động chỉ đạt kết quả tốt hơn chút ít (ở năm 2008, trạm Pô Lếch) so với không phân đoạn. Như vậy có thể không cần phân đoạn khi sử dụng các hàm đa thức Chebyshev trong trường hợp từng năm ổn định. Đây là một ưu điểm của phương pháp này.

Tuy nhiên, trong trường hợp quan hệ H-Q phức tạp thì các phương pháp xấp xỉ đa thức (cả Chebyshev) để xây dựng quan hệ H-Q theo 2 phương pháp không phân đoạn và phân đoạn tự động đều không đảm bảo. Vì vậy cần tiến hành phân đoạn theo thời gian. Đối với trường hợp 2 năm không ổn định của trạm Nà Hù (năm 2010 và 2011) do ảnh hưởng của biến đổi lòng dẫn, việc tiến hành phân đoạn theo thời gian và xây dựng đường quan hệ H-Q sử dụng phương pháp độ dốc (với hàm đa thức Chebyshev làm cơ sở) đã cho kết quả tốt, đảm bảo các yêu cầu cần thiết.

Với trường hợp quan hệ H-Q không ổn định và chịu ảnh hưởng của hiện tượng nước vật (trạm Nậm Giàng năm 2011) thì việc xây dựng mô hình quan hệ H-Q dựa trên phương pháp phân đoạn theo thời gian, sử dụng phương pháp độ dốc (với hàm xấp xỉ đa thức Chebyshev làm cơ sở) đã nâng cao chất lượng đáng kể.

Các kết quả từ bài báo cho thấy mô hình đa thức Chebyshev dạng 1 hoàn toàn có thể được đưa vào sử dụng trong công tác chỉnh biên của ngành thủy văn & tài nguyên nước. Đồng thời các kết quả cũng làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo trong xây dựng các quan hệ H-Q phức tạp và phân đoạn tự động theo thời gian để phục vụ dự báo thủy văn theo thời gian thực.

Bên cạnh những kết quả đạt được, còn một số vấn đề cần tiếp tục được nghiên cứu để thiết lập được một bộ công cụ tự động xây dựng các đường quan hệ H-Q cho các trạm thủy văn như: tính toán sử dụng thêm các phương pháp xây dựng đường quan hệ H-Q khác, đặc biệt là các phương pháp xây dựng quan hệ H-Q phức tạp; Áp dụng các phương pháp khai phá dữ liệu, học máy,... để có thể tiến hành tự động phân đoạn theo thời gian chuỗi số liệu thực đo mực nước, lưu lượng; Nghiên cứu đánh giá tính bất định của các đường quan hệ H-Q được xây dựng.

Tài liệu tham khảo

- [1] M. Domanski, R. R. J. Holmes, E. N. Heal, Dynamic Rating Method for Computing Discharge from Time-series Stage Data: U.S. Geological Survey Open-File Report 2022-1031, 2022, pp. 48, <https://doi.org/10.3133/ofr20221031>.
- [2] F. Dottori, M. L. V. Martina, E. Todini, A Dynamic Rating Curve Approach to Indirect Discharge Measurement, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. 13, 2009, pp. 847-863, <https://doi.org/10.5194/hess-13-847-2009>.
- [3] R. R. J. Holmes, Streamflow Ratings, Chap 6 of Singh, V.P., ed., *Handbook of Applied Hydrology* (2d ed.), New York, McGraw-Hill Book Company, 2017, pp. 6-1-6-14.
- [4] A. P. Øverleir, T. Reitan, Objective Segmentation in Compound Rating Curves. *Journal of Hydrology*, Vol. 311, No. 1-4, 2005, pp. 188-201.
- [5] D. T. D. Minh, D. B. Huy, H. D. Quynh, N. T. Tinh, N. D. Hanh, T. N. Vinh, N. T. Giang, A Comparative Analysis of Regression Equations for Rating Curve Development at a Gauging Station in Da River, Northern Vietnam, *VN J. Hydrometeorol.*, Vol. 14, 2023 pp. 53-69, [https://doi.org/10.36335/VNJHM.2023\(14\).53-69](https://doi.org/10.36335/VNJHM.2023(14).53-69).
- [6] A. P. Øverleir, Modelling Stage- Discharge Relationships Affected by Hysteresis Using the Jones Formula and Nonlinear Regression, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 51, No. 3, 2006, pp. 365-388, <https://doi.org/10.1623/hysj.51.3.365>.
- [7] M. Zakwan, Spreadsheet-Based Modelling of Hysteresis-Affected Curves, *Appl Water Sci*, Vol. 8, No. 101, 2018, <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0745-3>.
- [8] A. P. Øverleir, Trond Reitan, Bayesian Analysis of Stage-fall-discharge Models for Gauging Stations Affected by Variable Backwater, *Hydrol. Process*, Vol. 23, No. 21, 2009, pp. 3057-3074, <https://doi.org/10.1002/hyp.7417>.
- [9] H. Hidayat, B. Vermeulen, M. G. Sassi, P. J. Torfs, A. J. Hoitink, Discharge Estimation in a Backwater Affected Meandering River, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 15, No. 8, 2011, pp. 2717-2728.
- [10] J. Leonard, M. Mietton, H. Najib, P. Gourbesville, Rating Curve Modeling with Manning's Equation to Manage Instability and Improve Extrapolation, *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 45, 2000, pp. 739-750, <https://doi.org/10.1080/02626660009492374>.
- [11] T. Reitan, A. P. Øverleir, Dynamic Rating Curve Assessment in Unstable Rivers Using Ornstein-Uhlenbeck Processes, *Water Resources Research*, Vol. 47, No. W02524, 2011, <https://doi.org/10.1029/2010WR009504>.
- [12] V. Mansanarez, B. Renard, J. Le Coz, M. Lang, M. Darienzo, Shift Happens! Adjusting Stage-Discharge Rating Curves to Morphological Changes at Known Times, *Water Resources Research*, Vol. 55, 2019, pp. 2876-2899, <https://doi.org/10.1029/2018WR023389>.
- [13] J. D. Fenton, On the Generation of Stream Rating Curves, *J. Hydrol. (Amst)*, Vol. 564, 2018, pp. 748-757, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.025>.
- [14] TCVN 12636-15:2021, Hydro - Meteorological Observations - Part 15: River Flow Discharge Data Processing on Non - Tidal Affected.
- [15] National Meteorological and Hydrological Center. User Guide for HYDPRODB 1.0 Software Program for Processing Hydrological Data in River Basins Unaffected by Tides.

- [16] V. T. Chow, *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, New York, 1959, 680pp.
- [17] E. J. Kennedy, *Discharge Ratings at Gaging Stations*, U.S. Geological Survey Techniques of Water Resources Investigations Book 3, Chapter Vol. A10, 1984, 59pp.
- [18] F. M. Henderson, *Open Channel Flow*, McMillan Company, New York, 1966, 522pp.
- [19] R. W. Herschy, *Streamflow Measurement*, Third edn. Taylor & Francis, 2009.
- [20] J. D. Fenton, R. J. R. Keller, *The Calculation of Streamflow from Measurements of Stage*, Technical Report, 2001.
- [21] Weisstein, W. Eric, *Chebyshev Polynomial of The First Kind*, from MathWorld--A Wolfram Web Resource, <https://mathworld.wolfram.com/ChebyshevPolynomialoftheFirstKind.html>, 2023 (accessed on: February 1st, 2023).
- [22] T. A. McMahon, M. C. Peel, *Uncertainty in Stage-Discharge Rating Curves: Application to Australian Hydrologic Reference Stations Data*, *Hydrol. Sci. J.*, Vol. 64, No. 3, 2019, pp. 255-275.