

MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY NGÀY CHO MỘT SỐ LƯU VỰC CON TRÊN LƯU VỰC SÔNG CẢ BẰNG MÔ HÌNH MIKE NAM

Nguyễn Xuân Tiến ⁽¹⁾, Hồ Thị Phương ⁽²⁾

¹ Đai Khí tượng Thủy văn khu vực Bắc Trung Bộ

² Trường Đại học Vinh

Ngày nhận bài 26/11/2021, ngày nhận đăng 08/3/2022

Tóm tắt: Lưu lượng nước chuyển qua một vị trí nhất định trên sông là số liệu cần thiết phục vụ phòng chống thiên tai, tài nguyên nước và môi trường. Việc đo đạc lưu lượng thường cần nhiều nhân lực và trang thiết bị. Vì vậy, trên một hệ thống sông, một số vị trí được điều tra, khảo sát để lập trạm đo lưu lượng. Lưu lượng tại các lưu vực con không có trạm đo thường được tính toán bằng các mô hình thủy văn, như: MIKE NAM, TANK, HEC HMS... Bài báo này sẽ trình bày việc sử dụng mô hình MIKE NAM mô phỏng dòng chảy ngày (24h) cho lưu vực Quỳnh Châu và Hoà Quân. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình đã xác định được bộ thông số với sai số Nash-Sutcliffe (NSE) khá cao, lớn hơn 0,70, cho thấy mức độ phù hợp cao giữa tính toán và thực đo. Bộ thông số của mô hình tìm được có thể áp dụng để tính toán lưu lượng ngày tại các lưu vực tương tự trên lưu vực sông Cả.

Từ khóa: Sông Cả; MIKE NAM; mô hình toán; Quỳnh Châu; Hoà Quân.

1. Mở đầu

Lưu vực sông Cả trải dài từ $18^{\circ}15'50''$ đến $20^{\circ}10'30''$ vĩ độ Bắc, từ $103^{\circ}45'10''$ đến $105^{\circ}15'20''$ kinh độ Đông. Phía Bắc giáp lưu vực sông Chu, phía Tây giáp lưu vực sông Mê Kông, phía Nam giáp lưu vực sông Gianh và phía Đông giáp Biển Đông. Tổng diện tích lưu vực là 27.200 km^2 , phần diện tích ở Việt Nam là 17.730 km^2 , chiếm 65,2% diện tích lưu vực. Diện tích thuộc Lào là 9.470 km^2 chiếm 34,8% diện tích lưu vực. Dòng chính sông Cả có chiều dài 531 km, trong đó 170 km chảy qua lãnh thổ Lào và qua địa phận Nghệ An - Hà Tĩnh là 361 km (Hình 1). Các sông suối đổ vào dòng chính đều ngắn và dốc bắt nguồn từ vùng núi cao thuộc các tỉnh Xiêng Khoảng (Lào), Nghệ An, Hà Tĩnh. Tổng số có 44 sông nhánh cấp I. Những sông nhánh lớn của sông Cả là Nậm Mộ, Huổi Nguyên, sông Hiếu, sông Giăng và sông La. Các sông này đóng góp lượng dòng chảy đáng kể vào dòng chính [1].

Trên lưu vực sông Cả, hiện nay có 7 trạm thủy văn đo lưu lượng bao gồm Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Mường Xén, Dừa, Yên Thượng, Sơn Diệm và Hoà Duyệt (Hình 1). Để tính toán lưu lượng cho một số lưu vực con không có số liệu đo đạc trên lưu vực sông Cả, mô hình MIKE NAM đã được sử dụng trong nghiên cứu này.

Mô hình MIKE NAM là mô hình thủy văn do Viện Thủy lực Đan Mạch - DHI (Denmark Hydraulic Institute) xây dựng và đến nay đã được sử dụng rất rộng rãi trên thế giới và Việt Nam [2-6]. Trong nghiên cứu này, mô hình MIKE NAM được áp dụng để mô phỏng dòng chảy ngày tại lưu vực Quỳnh Châu và Hoà Quân. Đây là 2 lưu vực có đầy đủ các dữ liệu về khí tượng và thủy văn để hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình.



Hình 1: Bản đồ hệ thống sông Cà trên lãnh thổ Việt Nam

2. Phương pháp nghiên cứu

Trên lưu vực sông Cà, chỉ có lưu vực sông Hiếu hoàn toàn nằm trên địa bàn Việt Nam và có đủ số liệu quan trắc khí tượng khí thủy văn (mưa, bốc hơi, lưu lượng từ 1961 đến nay) nên được chọn để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM, phục vụ tính toán lưu lượng cho một số lưu vực con không có số liệu đo đạc trên sông Hiếu. Ngoài ra, trên lưu vực sông Trai (một nhánh cấp 1 của sông Cà) có đủ số liệu quan trắc khí tượng thủy văn (mưa, bốc hơi, lưu lượng từ 1976-1990) nên cũng được chọn để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM để phục vụ tính toán lưu lượng cho một số lưu vực con không có số liệu đo đạc trên sông Cà từ ngã ba Cây Chanh trở xuống hạ nguồn.

2.1. Cấu trúc mô hình MIKE NAM

Mô hình được xây dựng trên cơ sở 5 bể chứa xếp theo chiều thẳng đứng, bao gồm: bể tuyết, bể chứa mặt, bể chứa sát mặt, 02 bể chứa ngầm (tầng trên và tầng dưới) và 02 bể điều tiết nằm ngang [3]. Sơ đồ mô phỏng của mô hình MIKE NAM như Hình 2.

a. Bể tuyết:

Giáng thủy sẽ được giữ lại trong bể tuyết khi nhiệt độ dưới 0°C , còn nếu nhiệt độ lớn hơn 0°C thì nó sẽ chuyển xuống bể chứa mặt. Trong thực tế nước ta ở vùng nhiệt đới lên không xét đến bể tuyết.

b. Bể chứa mặt:

Lượng ẩm trữ trên bề mặt của thực vật, cũng như lượng nước điền trũng trên bề mặt lưu vực được đặc trưng bởi lượng trữ bề mặt. U_{max} đặc trưng cho giới hạn trữ nước tối đa của bề này. Lượng nước U trong bể chứa mặt sẽ giảm dần do bốc hơi, do thất thoát theo phương nằm ngang (dòng chảy sát mặt). Khi lượng nước này vượt quá ngưỡng U_{max} thì một phần của lượng nước vượt ngưỡng P_N sẽ chảy vào suối dưới dạng dòng chảy tràn bề mặt phần còn lại sẽ thấm xuống bề sát mặt và bề ngầm.

c. Bể sát mặt và bể tầng rễ cây:

Bể này thuộc phần rễ cây, là lớp đất mà thực vật có thể hút nước để thoát ẩm. L_{max} đặc trưng cho lượng ẩm tối đa mà bề này có thể chứa. Lượng ẩm của bể chứa này được đặc trưng bằng đại lượng L . L phụ thuộc vào lượng tổn thất thoát hơi của thực vật. Lượng ẩm này cũng ảnh hưởng đến lượng nước sẽ đi xuống bể chứa ngầm để bổ xung nước ngầm.

d. Bốc thoát hơi:

Nhu cầu bốc thoát hơi nước trước tiên là để thỏa mãn tốc độ bốc thoát hơi tiềm năng của bể chứa mặt. Nếu lượng ẩm trong bể chứa mặt nhỏ hơn nhu cầu này, thì nó sẽ lấy ẩm từ tầng rễ cây theo tốc độ E_a . Trong đó E_a là tỷ lệ với lượng bốc thoát hơi tiềm năng E_p : $E_a = E_p L / L_{max}$

e. Dòng chảy mặt:

Khi bể chứa mặt tràn nước, $U_1 \geq U_{max}$, thì lượng nước vượt ngưỡng P_N ($P_N = U_1 - U_{max}$) sẽ hình thành dòng chảy mặt và thấm xuống dưới. QOF là một phần của P_N , tham gia hình thành dòng chảy mặt, nó tỷ lệ thuận với P_N và thay đổi tuyến tính với độ ẩm tương đối L/L_{max} của tầng rễ cây:

$$QOF = \begin{cases} CQOF \frac{L/L_{max} - TOF}{1 - TOF} P_N & \text{nếu } L/L_{max} > TOF \\ 0 & \text{nếu } L/L_{max} < TOF \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: CQOF là hệ số dòng chảy mặt ($0 \leq CQOF \leq 1$)

TOF là ngưỡng của dòng chảy mặt ($0 \leq TOF \leq 1$)

Phần còn lại của P_N sẽ thấm xuống dưới. Một phần ($P_N - QOF$) thấm xuống dưới này sẽ làm tăng lượng ẩm L của bể chứa tầng rễ cây. Phần còn lại sẽ thấm thấu xuống sâu hơn để bổ xung cho bể chứa tầng ngầm.

f. Dòng chảy sát mặt:

Dòng chảy sát mặt cũng phụ thuộc vào độ ẩm của tầng rễ cây:

$$QIF = \begin{cases} (CKIF)^{-1} \frac{L/L_{max} - TIF}{1 - TIF} U_i & \text{nếu } L/L_{max} > TIF \\ 0 & \text{nếu } L/L_{max} < TIF \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: TIF là ngưỡng sinh ra dòng chảy sát mặt ($0 \leq TIF \leq 1$)

CKIF là hằng số thời gian của dòng chảy sát mặt

g. Bổ xung dòng chảy ngầm:

Lượng nước thấm xuống G , bổ xung cho bể chứa tầng ngầm phụ thuộc vào độ ẩm của đất ở tầng rễ cây:

$$G = \begin{cases} (P_N - QOF) \frac{L/L_{max} - TG}{1-TG} & \text{nếu } L/L_{max} > TG \\ 0 & \text{nếu } L/L_{max} < TG \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: TG là giá trị của lượng nước bổ sung cho tầng ngầm ($0 \leq TG \leq 1$)

h. Lượng ẩm của đất:

Bể chứa tầng sát mặt biểu thị lượng nước có trong tầng rễ cây. Lượng mưa hiệu quả sau khi trừ đi lượng nước tạo dòng chảy mặt, lượng nước bổ xung cho tầng ngầm, sẽ bổ sung và làm tăng độ ẩm của đất ở tầng rễ cây L bằng một lượng DL:

$$DL = P_N - QOF - G \quad (4)$$

i. Diễn toán dòng chảy mặt và dòng chảy sát mặt:

Dòng chảy mặt và dòng chảy sát mặt sẽ được diễn toán thông qua hai bể chứa tuyến tính theo thời gian với cùng một hằng số thời gian $CK_{1,2}$.

j. Diễn toán dòng chảy ngầm:

Dòng chảy ngầm được diễn toán thông qua một bể chứa tuyến tính theo thời gian với hằng số thời gian CKBF.

2.2. Các thông số và điều kiện ban đầu của mô hình MIKE NAM

a. Các thông số của mô hình

- *CQOF*: Hệ số dòng chảy tràn không có thứ nguyên, có phạm vi biến đổi từ 0.0 đến 0.9. Nó phản ánh điều kiện thấm và cấp nước ngầm.

- *CQIF*: Hệ số dòng chảy sát mặt, có thứ nguyên là thời gian (giờ)⁻¹. Nó chính là phần của lượng nước trong bể chứa mặt (U) chảy sinh ra dòng chảy sát mặt trong một đơn vị thời gian. Thông số này ảnh hưởng không lớn đến tổng lượng lũ, đường rút nước.

- *CBL*: là thông số dòng chảy ngầm, được dùng để chia dòng chảy ngầm ra làm hai thành phần: BFU và BFL.

- *CLOF, CLIF*: Các ngưỡng dưới của các bể chứa để sinh dòng chảy tràn, dòng chảy sát mặt và dòng chảy ngầm, không có thứ nguyên và có giá trị nhỏ hơn 1. Chúng có liên quan đến độ ẩm trong đất.

- *Umax, Lmax*: Thông số khả năng chứa tối đa của các bể chứa tầng trên và tầng dưới. Do vậy, U_{max} và L_{max} chính là lượng tổn thất ban đầu lớn nhất, phụ thuộc và điều kiện mặt đệm của lưu vực.

- *CK1,2, CKBF*: là các hằng số thời gian về thời gian tập trung nước. Chúng là các thông số rất quan trọng, ảnh hưởng đến dạng đường quá trình và đỉnh.

b. Điều kiện ban đầu của mô hình

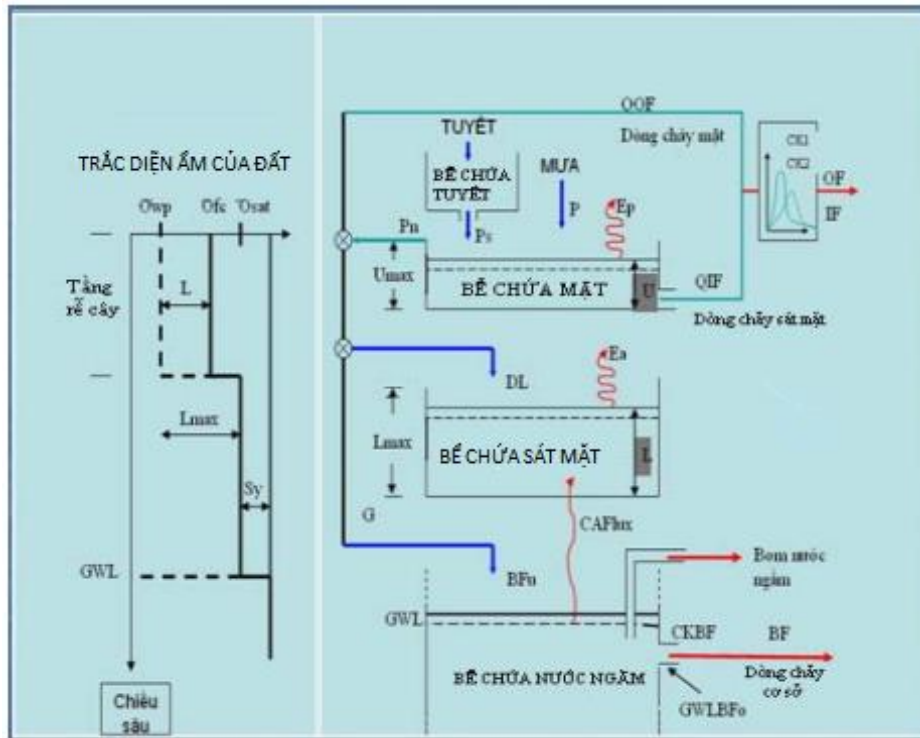
- *U* là lượng nước chứa trong bể chứa mặt (mm)

- *L* là lượng nước chứa trong bể chứa tầng dưới (mm)

- *QOF* là cường suất dòng chảy mặt sau khi diễn toán qua bể chứa tuyến tính (mm/h)

- *QIF* là cường suất dòng chảy sát mặt khi qua bể chứa tuyến tính (mm/h)

- *BF* là cường suất dòng chảy ngầm (mm/h)



Hình 2: Sơ đồ mô phỏng mô hình MIKE NAM

2.3. Đánh giá hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Hệ số NSE được xác định theo công thức (5) trong khoảng giao động 0-1. Theo đó, hệ số NSE có giá trị càng lớn thể hiện mức độ phù hợp giữa tính toán và thực đo càng cao.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{TD,i} - X_{TT,i})^2}{\sum_{i=1}^N (X_{TD,i} - \bar{X}_0)^2} \tag{5}$$

Trong đó: $X_{TD,i}$: Giá trị thực đo tại thời điểm i
 $X_{TT,i}$: Giá trị tính toán tại thời điểm i
 \bar{X}_0 : Giá trị thực đo trung bình

3. Kết quả nghiên cứu

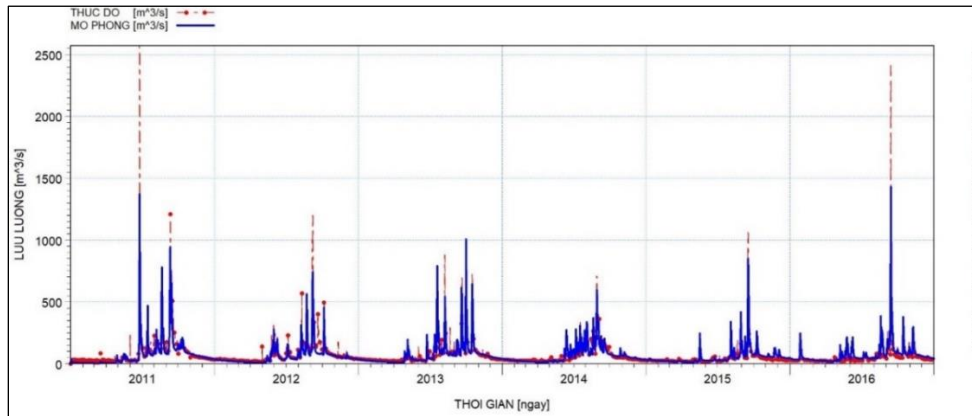
3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định cho lưu vực sông Hiếu tại Quỳnh Châu

Lưu vực sông Hiếu tại Quỳnh Châu có tổng diện tích lưu vực là 2.000 km². Để hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng tại lưu vực này, các dữ liệu mưa, bốc hơi được thu thập tại trạm khí tượng Quỳnh Châu và dữ liệu lưu lượng thực đo được thu thập tại trạm thủy văn Quỳnh Châu từ năm 2011 đến năm 2019. Lượng mưa trung bình lưu vực được tính từ số liệu trạm khí tượng, thủy văn Quỳnh Châu và khí tượng Quỳnh Hợp theo phương pháp đa giác Thiessen. Thời gian hiệu chỉnh và kiểm định cụ thể như sau:

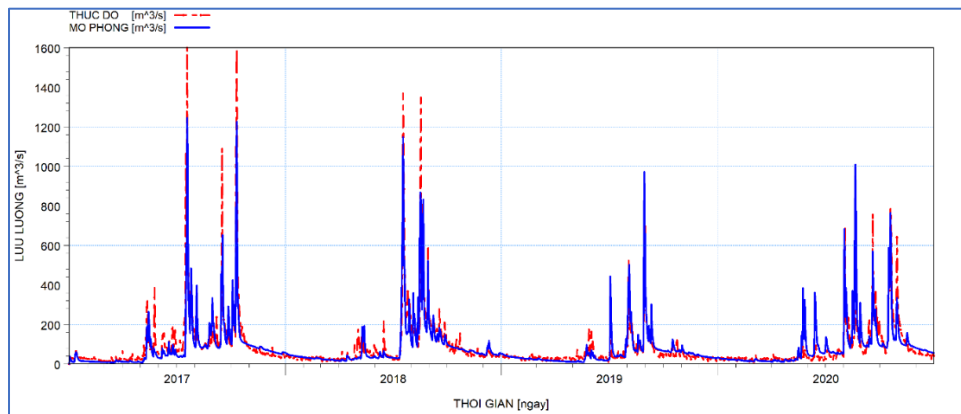
- Thời gian hiệu chỉnh từ ngày 01/01/2011 đến ngày 31/12/2016;

- Thời gian kiểm định từ ngày 01/01/2017 đến ngày 31/12/2019;
- Thời đoạn hiệu chỉnh và kiểm định là ngày (24 giờ).

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM cho lưu vực Quỳnh Châu thể hiện tại Hình 3 và Hình 4. Kết quả cho thấy quá trình tính toán và thực đo khá phù hợp nhau về xu thế; hệ số NSE đạt được khá cao (0,74%) (Bảng 1). Vì vậy, bộ thông số xác định được tại Bảng 2 có thể được sử dụng để tính toán quá trình dòng chảy tại Quỳnh Châu và các lưu vực tương tự trên lưu vực sông Hiếu.



Hình 3: Đường quá trình lưu lượng tính toán hiệu chỉnh và thực đo tại Quỳnh Châu



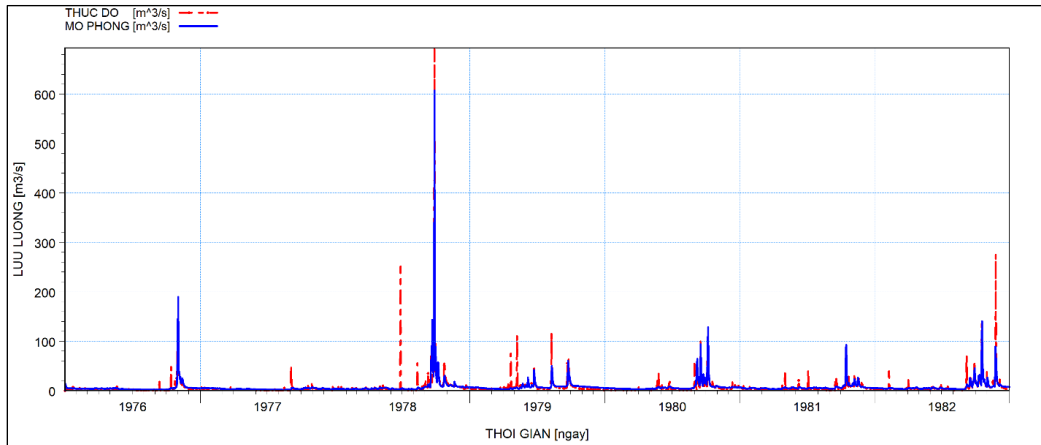
Hình 4: Đường quá trình lưu lượng tính toán kiểm định và thực đo tại Quỳnh Châu

3.2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định cho lưu vực sông Trai tại Hoà Quân

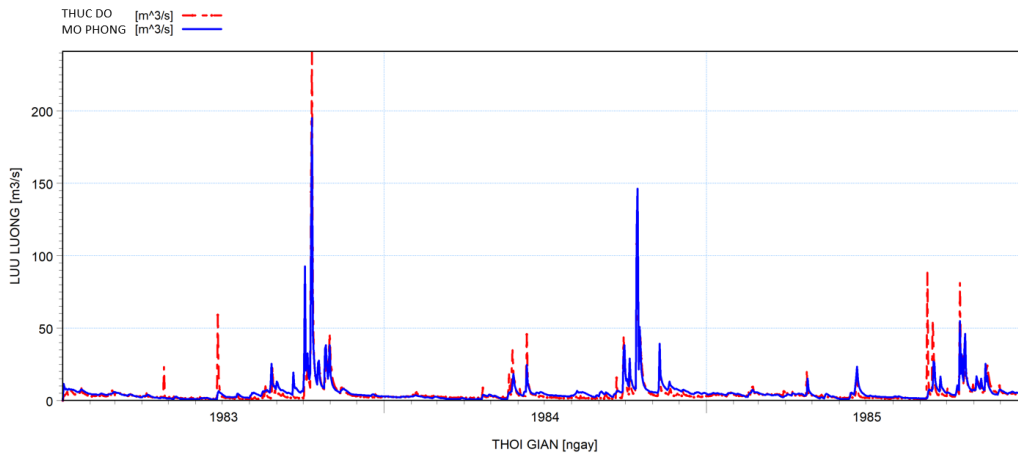
Lưu vực sông Trai tại Hoà Quân có diện tích lưu vực nhỏ 150 km². Để hiệu chỉnh và kiểm định lưu lượng tại lưu vực này, các dữ liệu mưa, bốc hơi được thu thập tại trạm khí tượng Đô Lương và dữ liệu lưu lượng thực đo được thu thập tại trạm đo trên sông Trai từ năm 1976 đến năm 2019. Lượng mưa trung bình lưu vực được tính từ số liệu trạm khí tượng Đô Lương, thủy văn Đô Lương và thủy văn Yên Thượng theo phương pháp đa giác Thiessen. Thời gian hiệu chỉnh và kiểm định cụ thể như sau:

- Thời gian hiệu chỉnh từ ngày 01/01/1976 đến ngày 31/12/1982;
- Thời gian kiểm định từ ngày 01/01/2017 đến ngày 31/12/2019;
- Thời đoạn hiệu chỉnh và kiểm định là ngày (24 giờ).

Kết quả hiệu chỉnh mô hình MIKE NAM cho lưu vực Hoà Quân thể hiện tại Hình 5. Kết quả kiểm định mô hình MIKE NAM cho lưu vực Hoà Quân thể hiện tại Hình 6. Quá trình tính toán và thực đo khá phù hợp nhau về xu thế; hệ số NSE đạt được khá cao (74 và 80%) (Bảng 1). Vì vậy, bộ thông số xác định được tại Bảng 2 có thể được sử dụng để tính toán quá trình dòng chảy tại Hoà Quân và các lưu vực tương tự trên lưu vực sông Cả.



Hình 5: Đường quá trình lưu lượng tính toán hiệu chỉnh và thực đo tại Hoà Quân



Hình 6: Đường quá trình lưu lượng tính toán kiểm định và thực đo tại Quỳnh Châu

Bảng 1: Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM tại Quỳnh Châu và Hoà Quân

| Lưu vực | Giai đoạn | Hệ số NSE | Sai số tổng lượng (%) |
|------------|------------|-----------|-----------------------|
| Quỳnh Châu | Hiệu chỉnh | 0,74 | -0,9 |
| | Kiểm định | 0,74 | -2,9 |
| Hoà Quân | Hiệu chỉnh | 0,74 | -10,8 |
| | Kiểm định | 0,80 | -18,1 |

Bảng 2: Thông số mô hình MIKE NAM tại Quỳ Châu và Hoà Quân

| Lưu vực | Umax | Lmax | CQOF | CKIF | CK12 | TOF | TIF | TG | CKBF |
|----------|------|------|-------|-------|------|-------|--------|-------|------|
| Quỳ Châu | 5.01 | 50.4 | 0.529 | 268.3 | 19.6 | 0.781 | 0.0139 | 0.209 | 1923 |
| Hoà Quân | 14.8 | 85 | 0.81 | 202.3 | 23.3 | 0.98 | 0.852 | 0.66 | 982 |

4. Kết luận

Mô hình MIKE NAM là mô hình thủy văn đã được sử dụng rất rộng rãi trên thế giới và Việt Nam. Đây là mô hình đáng được tin cậy để tính toán lưu lượng từ mưa. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình MIKE NAM cho 2 lưu vực: Quỳ Châu và Hoà Quân khá tốt. Đặc biệt, đối với lưu vực Hoà Quân, cho kết quả tốt (hệ số NSE đạt 80% khi kiểm định). Đối với lưu vực Quỳ Châu do diện tích lưu vực lớn, số trạm đo mưa ít (2 trạm) và tập trung ở cửa ra của lưu vực nên kết quả hiệu chỉnh và kiểm định còn hạn chế. Tuy nhiên, bộ thông số mô hình của 2 lưu vực này có thể được dùng để tính toán lưu lượng từ mưa cho các lưu vực tương tự trên sông Hiếu và sông Cả.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện từ nguồn hỗ trợ Đề tài Khoa học và Công nghệ của Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số B2021-TDV-09.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Xuân Tiến, Nguyễn Thanh Sơn, Nguyễn Văn Linh, “Áp dụng mô hình thủy văn, thủy lực mô phỏng ngập lụt hạ du sông Cả,” *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 687, tr. 23-31, 2020.
- [2] Lương Hữu Dũng, Chu Nguyễn Ngọc Sơn, Trần Đức Thiện, Doãn Huy Phương, “Ứng dụng mô hình Mike-Nam dự báo các đặc trưng tài nguyên nước trong lưu vực sông Ba,” *Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu*, số 14, tr. 56-65, 2020.
- [3] Denmark Hydraulic Institute, *MIKE 11 User Guide*, 2007.
- [4] Nguyễn Mạnh Hùng, *Nghiên cứu và đề xuất giải pháp ứng phó với tác động của biến đổi khí hậu đối với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội ở tỉnh Nghệ An*, Đề tài NCKH tỉnh Nghệ An, 2013.
- [5] Nguyễn Thanh Sơn, Trần Ngọc Anh, Đặng Đình Khá, Nguyễn Xuân Tiến, Lê Viết Thìn, “Thử nghiệm đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến ngập lụt khu vực hạ lưu sông Lam,” *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 645, tr. 13-20, 2014.
- [6] Lê Thị Kim Thoa, *Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS kết hợp mô hình thủy văn, thủy lực thành lập bản đồ nguy cơ ngập lụt ở Nghệ An*, Dự án tỉnh Nghệ An, 2014.

SUMMARY

SIMULATION OF DAILY RUNOFF USING MIKE NAM MODEL FOR SMALL SUB-BASINS OF THE CA RIVER

Nguyen Xuan Tien ⁽¹⁾, **Ho Thi Phuong** ⁽²⁾

¹ *Hydrometeorological Station of the North Central Region*

² *Vinh University*

Received on 26/11/2021, accepted for publication on 08/3/2022

The flow of water through a certain location in a river is a necessary data for disaster prevention, water resources and environment assesment. Flow measurement often requires a lot of manpower and equipment. Therefore, on a river system, several locations are investigated and surveyed to set up a hydrological station. Flows in sub-basins without hydrological stations are usually calculated by hydrological models, such as: MIKE NAM, TANK, HEC HMS... This paper will present the application of MIKE NAM model to simulate daily flow for the Quy Chau and Hoa Quan basins. The results of model calibration and validation have identified a set of parameters with a fairly high Nash-Sutcliffe efficiency (NSE), greater than 0.70, indicating a good model performance. The calibrated parameters can be applied to calculate the daily discharge for similar sub-basins of the Ca river.

Keywords: Ca River; MIKE NAM; mathematical model; Quy Chau; Hoa Quan.