

KHÔI PHỤC SỐ LIỆU LƯU VỰC SÔNG CÁI PHAN RANG BẰNG PHƯƠNG PHÁP TÍCH HỢP CÁC MÔ HÌNH

Bùi Văn Chanh⁽¹⁾, Trần Ngọc Anh^(2,3), Nguyễn Hồng Trường⁽¹⁾

⁽¹⁾ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Trung Bộ

⁽²⁾ Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học

⁽³⁾ Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường

Sông Cái Phan Rang là con sông lớn nhất của tỉnh Ninh Thuận, là nguồn cung cấp nước chủ yếu, đồng thời là con sông ngập lụt nghiêm trọng nhất trên địa bàn tỉnh. Tuy nhiên, lưu vực sông Cái Phan Rang không có trạm đo dòng chảy nhiều năm, do đó khôi phục số liệu dòng chảy nhiều năm phục vụ tính toán tài nguyên nước là rất cần thiết. Để khôi phục số liệu dòng chảy, có nhiều mô hình toán được áp dụng trên thế giới. Với lưu vực sông Cái Phan Rang có địa hình chia cắt mạnh, phân bố mưa rất không đồng đều theo không gian. Do đó việc ứng dụng mô hình thủy văn thông số phân bố là hợp lý nhất. Trong nghiên cứu này đã sử dụng mô hình MARINE của Pháp là mô hình thủy văn thông số đầy đủ (tham số vật lý), là mô hình có khả năng mô phỏng tốt dòng chảy sườn dốc lưu vực nhưng chưa diễn toán được dòng chảy trong sông. Do đó nhóm nghiên cứu đã xây dựng mô hình sóng động học một chiều phi tuyến và tích hợp với mô hình MARINE để mô phỏng dòng chảy tại 15 vị trí khác nhau trên lưu vực sông Cái Phan Rang từ năm 1978 - 2015 phục vụ tính toán tài nguyên nước và phân vùng thủy văn.

Từ khóa: Mô hình MARINE, sông Cái Phan Rang, tích hợp bộ mô hình, sóng động học.

1. Cơ sở lý thuyết mô hình Marine

Mô hình MARINE mô phỏng quá trình hình thành dòng chảy sinh ra bởi mưa trên lưu vực dựa trên phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + u \operatorname{grad}(V) = P_0 \quad (1)$$

Trong đó:

V là thể tích khối chất lỏng xét.

u là vận tốc của dòng chảy giữa các ô lưới.

P₀ là lượng mưa.

$$u \operatorname{grad}(V) = \nabla \cdot (u_1 V) - V \operatorname{div}(u_1) \quad (2)$$

Với chất lỏng không nén được ta có $\operatorname{div}(u)=0$, sử dụng công thức Green-Ostrogradski

$$\iiint_V \operatorname{div}(u_1 V) dS = \oint_{\Gamma} u_1 V d\Gamma \quad (3)$$

Thu được:

$$\iiint_V \frac{\partial V}{\partial t} dS + \oint_{\Gamma} V u_1 d\Gamma = \iiint_V P_0 \quad (4)$$

Vận tốc của dòng chảy trao đổi giữa các ô được tính theo công thức:

$$|u| = \sqrt{\operatorname{Pente} \cdot \frac{H^{2/3}}{K_m}} \quad (5)$$

Vì lưới sử dụng để tính toán là lưới vuông (DEM) nên thay biểu thức vận tốc vào phương trình tích phân ta thu được:

$$\Delta H + \sum_{j=1}^4 \frac{H_j^{2/3}}{K_m} \sqrt{\operatorname{Pente}} \frac{\Delta t}{\Delta x} = P_0 \Delta t \quad (6)$$

Trong đó:

Pente: Độ dốc

K_m: Hệ số nhám Manning

H: Độ sâu mực nước của ô lưới tính

ΔH: Sự thay đổi mực nước của ô lưới tính từ thời điểm t₁ đến t₂

j: Hướng chảy của ô lưới (j=1:4)

Δx: Chiều rộng ô lưới

Δt: Bước thời gian tính

Đây chính là phương trình tính sự biến thiên mực nước theo thời gian của mỗi ô lưới.

MARINE diễn toán dòng chảy trao đổi giữa các ô lưới với nhau, lượng mưa rơi vào các ô của lưu vực được coi là lượng nước bổ sung tại mỗi

bước thời gian tính. Quá trình diễn toán cuối cùng cho ta lưu lượng ra tại một điểm gọi là điểm thoát nước của lưu vực (output).

Mô hình MARINE tính toán thấm dựa trên lý thuyết thấm Green Ampt từ phương trình liên tục và định luật Darcy.

a. Phương trình liên tục:

$$F(t) = L(\eta - \theta_i) = \Delta\theta \quad (7)$$

F(t): Độ sâu lũy tích của nước thấm vào trong đất

Với $\Delta\theta = \eta - \theta_i$

b. Định luật Darcy:

$$q = -K \frac{\partial h}{\partial z} = -f \quad (8)$$

f: Tốc độ thấm

K: Độ dẫn thủy lực

q: Thông lượng Darcy

2. Cơ sở lý thuyết mô hình sóng động học một chiều phi tuyến

Sóng động học tạo nên do sự thay đổi trong dòng chảy như thay đổi về lưu lượng nước hoặc tốc độ sóng thay đổi dọc theo kênh dẫn. Tốc độ sóng phụ thuộc vào loại sóng đang xét và có thể hoàn toàn khác biệt với vận tốc dòng nước. Đối với sóng động học, các thành phần gia tốc và áp suất trong phương trình động lượng đã bị bỏ qua nên chuyển động của sóng được mô tả chủ yếu bằng phương trình liên tục. Do đó sóng đã mang tên sóng động học và động học nghiên cứu chuyển động trong đó không xét đến ảnh hưởng của khối lượng và lực. Sai phân phương trình liên tục trong hệ phương trình Saint Venant và sử dụng phương trình Manning như sau:

$$\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x} + \frac{A_{i+1}^{j+1} - A_i^{j+1}}{\Delta t} = \frac{q_{i+1}^{j+1} + q_i^{j+1}}{2} \quad (9)$$

$$A_{i+1}^{j+1} = \alpha(Q_{i+1}^{j+1})^\beta \quad (10)$$

$$A_i^j = \alpha(Q_i^j)^\beta \quad (11)$$

Thế phương trình (10) và (11) vào (9) ta được:

$$\frac{\Delta c}{\Delta x} Q_{i+1}^{j+1} + \alpha(Q_{i+1}^{j+1})^\beta = \frac{\Delta c}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha(Q_i^{j+1})^\beta + \Delta t \left(\frac{q_{i+1}^{j+1} + q_i^{j+1}}{2} \right) \quad (12)$$

Phương trình này đã được sắp xếp cho lưu lượng chưa biết Q_{i+1}^{j+1} nằm ở vế trái và các đại lượng đã biết nằm ở vế phải. Đây là phương trình phi tuyến đối với Q_{i+1}^{j+1} do đó cần được giải bằng phương pháp số, trong chương trình lập trình và sơ đồ khối áp dụng phương pháp lặp Newton.

$$C = \frac{\Delta c}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha(Q_i^{j+1})^\beta + \Delta t \left(\frac{q_{i+1}^{j+1} + q_i^{j+1}}{2} \right) \quad (13)$$

Từ đó một sai số dư $f(Q_{i+1}^{j+1})$ được xác định bằng phương trình (2.4).

$$f(Q_{i+1}^{j+1}) = \frac{\Delta c}{\Delta x} Q_{i+1}^{j+1} + \alpha(Q_{i+1}^{j+1})^\beta - C \quad (14)$$

Đạo hàm bậc nhất của $f(Q_{i+1}^{j+1})$ như sau:

$$f'(Q_{i+1}^{j+1}) = \frac{\Delta c}{\Delta x} + \alpha\beta(Q_{i+1}^{j+1})^{\beta-1} \quad (15)$$

Mục tiêu là tìm Q_{i+1}^{j+1} để $f(Q_{i+1}^{j+1})$ bằng không. Sử dụng phương pháp lặp Newton và các bước lặp $k = 1, 2, 3, \dots$

$$(Q_{i+1}^{j+1})_{k+1} = (Q_{i+1}^{j+1})_k - \frac{f(Q_{i+1}^{j+1})_k}{f'(Q_{i+1}^{j+1})_k} \quad (16)$$

Tiêu chuẩn hội tụ cho quá trình lặp là:

$$\left| f(Q_{i+1}^{j+1})_{k+1} \right| \leq \varepsilon \quad (17)$$

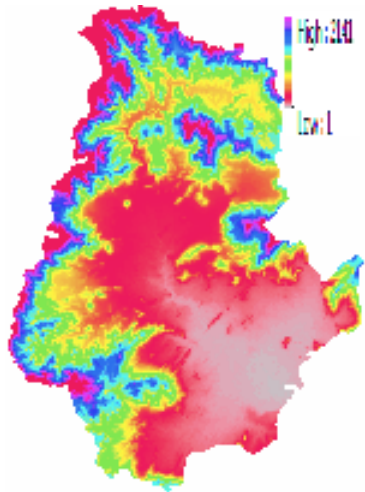
3. Khôi phục số liệu dòng chảy sông Cái Phan Rang

3.1. Thiết lập mô hình

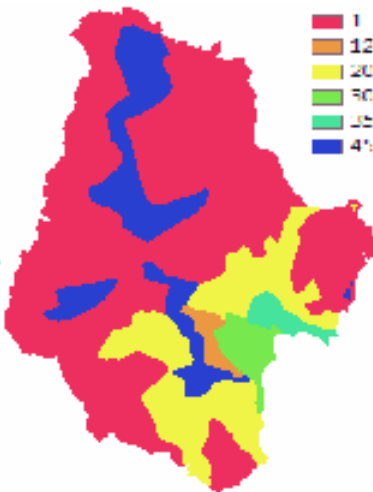
Dữ liệu đầu vào cho mô hình Marine gồm bản đồ mô hình số độ cao (DEM), bản đồ đất, bản đồ lớp phủ thực vật, mạng lưới sông suối, lượng mưa giờ phân bố theo không gian. Bản đồ DEM độ phân giải 90x90 m lưu vực sông Cái Phan Rang được sử dụng để dẫn suất tạo 6 bản đồ làm đầu vào cho mô hình Marine gồm: (1) bản đồ độ dốc, (2) hướng chảy, (3) hội tụ nước, (4) mạng lưới sông, (5) đường phân nước, và (6) độ dài dòng chảy. Hệ số nhám bề mặt lưu vực được xác định theo nhóm thảm phủ thực vật, bản đồ thảm phủ thực vật lưu vực sông Cái Phan Rang được phân thành 13 nhóm chính theo cách phân loại của tổ chức khoa học Mỹ (U.S. Geological Survey). Bản đồ thảm phủ có tỷ lệ 1:50,000. Bản đồ đầu bản đồ thảm phủ thu thập được ở dạng Vector, tỷ lệ 1/150,000, đối tượng số hóa thảm phủ là các vùng khép kín (polygon), sau đó được đưa về dạng Raster. Để thuận tiện trong sử dụng, tên

đất được phân loại theo FAO-UNESCO và được sử dụng để tính toán tổn thất do thấm theo phương pháp Green & Ampt. Dữ liệu mưa thời

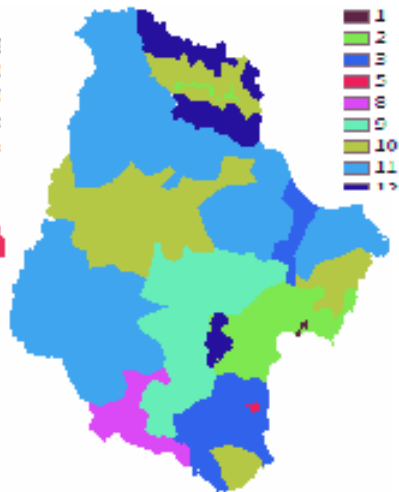
đoạn giờ tại các trạm trên lưu vực sông Cái Phan Rang được xử lý phân bố theo không gian theo phương pháp đa giác Thiessen.



Hình 1. Bản đồ DEM lưu vực Cái Phan Rang



Hình 2. Bản đồ đất lưu vực Cái Phan Rang



Hình 3. Bản đồ lớp phủ lưu vực Cái Phan Rang

Mô hình Marine tính toán dòng chảy sườn dốc, kết quả đầu ra của mô hình được kết nối với mô hình sóng động học một chiều phi tuyến để tiếp tục diễn toán dòng chảy trong sông. Hệ số nhám lòng sông tự nhiên ban đầu được xác định từ bảng tra thủy lực của M.F. Xripnut. Sau khi hiệu chỉnh và kiểm định bằng phương pháp thử sai, hệ số nhám trong sông tự nhiên của các đoạn sông được xác định từ 0,035 - 0,039. Chiều rộng

các đoạn sông được xác định trực tiếp từ bản đồ sông suối tỷ lệ 1/10,000. Bộ mô hình tích hợp Marine và sóng động học một chiều phi tuyến được sử dụng tính toán dòng chảy tại 15 vị trí trên lưu vực sông Cái Phan Rang. Dòng chảy được mô phỏng với thời đoạn giờ tại các vị trí được sử dụng để tính đặc trưng năm và nhiều năm, xây dựng bản đồ chuẩn dòng chảy.

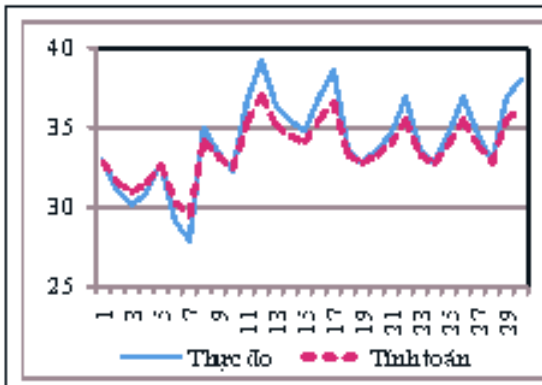
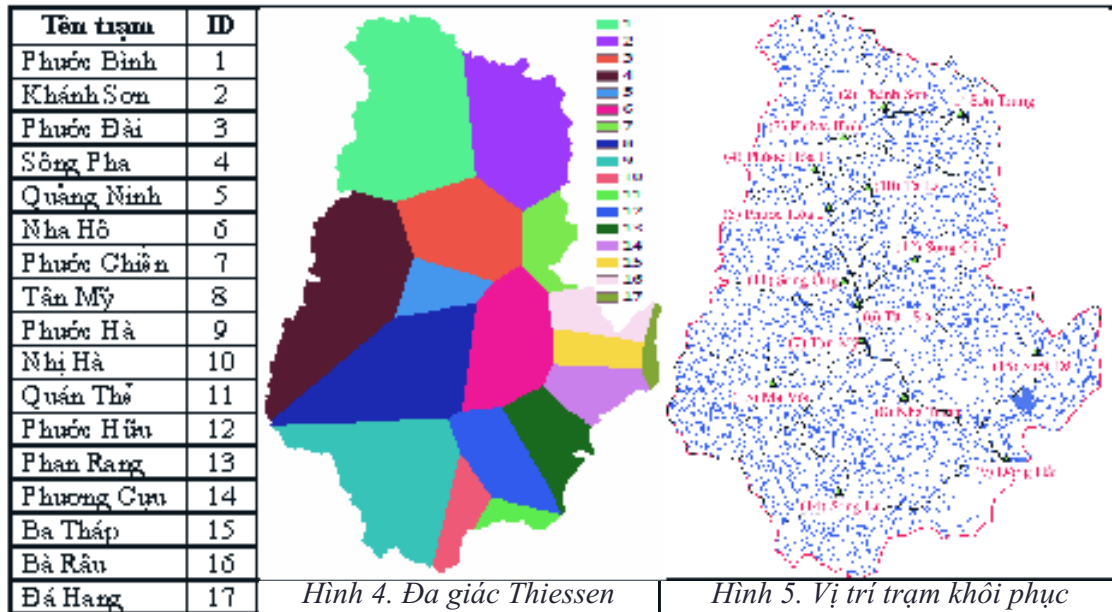
Phân loại thảm phủ		Phân loại đất	
Tên loại thảm phủ	ID	Tên loại đất	ID
Rừng ôn đới	1	Cát	20
Rừng non	2	Mùn cát	25
Rừng cây bụi tự nhiên	3	Cát mùn	3
Rừng thưa	4	Mùn	4
Rừng trồng cây bụi	5	Phù sa mùn	5
Cây thân gỗ trồng không thành rừng	6	Sét pha cát mùn	30
Cây bụi trồng không thành rừng	7	Sét mùn	35
Cỏ	8	Sét phù sa mùn	40
Lúa	9	Sét pha cát	45
Màu	10	Sét phù sa	50
Cây bụi rải rác	11	Sét	12
Rừng thưa xen lẫn rừng cây bụi, cỏ	12	Núi đá	13
Rừng cây bụi xen lẫn cỏ	13	Đất trơ sỏi đá	1

Bộ thông số mô hình được hiệu chỉnh bằng chuỗi số liệu thực đo và tính toán thời đoạn giờ tại trạm thủy văn Tân Mỹ và Phước Hà. Đánh giá kết quả hiệu chỉnh từ 1h00 ngày 18 đến

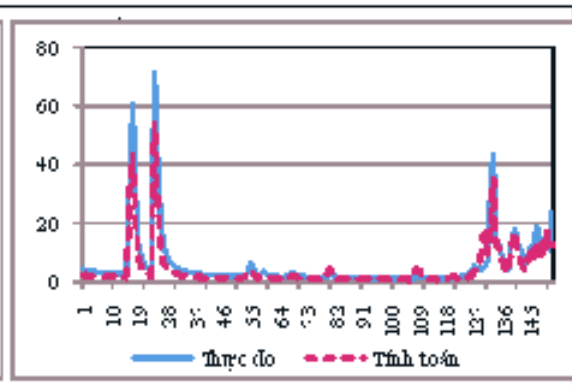
19h00 ngày 24 tháng 01 năm 2016 bằng chỉ tiêu Nash tại trạm Tân Mỹ đạt 85,3%, trạm Phước Hà đạt 90,3%; đạt loại tốt theo tiêu chuẩn của Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO). Đánh giá kết

quả kiểm định tại trạm Phước Hòa ngày 01/01 đến 31/5 năm 2008 bằng chỉ tiêu Nash đạt 87,3%; đạt loại tốt theo tiêu chuẩn của WMO.

Bộ thông số của bộ mô hình tích hợp đủ độ tin cậy để khôi phục dữ liệu dòng chảy trên lưu vực sông Cái Phan Rang.



Hình 6. Đường tính toán và thực đo trạm Tân Mỹ



Hình 7. Đường tính toán và thực đo trạm Phước Hòa

3.2. Kết quả khôi phục dòng chảy

Từ bộ mô hình tích hợp Marine và sóng động học một chiều phi tuyến đã khôi phục số liệu dòng chảy lưu vực sông Cái Phan Rang từ số liệu mưa của 17 trạm đo. Chuỗi số liệu dòng chảy được khôi phục từ năm 1978 - 2015 là cơ sở để tính toán tài nguyên nước lưu vực sông Cái Phan Rang, đây là cơ sở dữ liệu rất quan trọng phục vụ phát triển kinh tế xã hội của tỉnh Ninh Thuận vì cả tỉnh không có trạm đo dòng chảy.

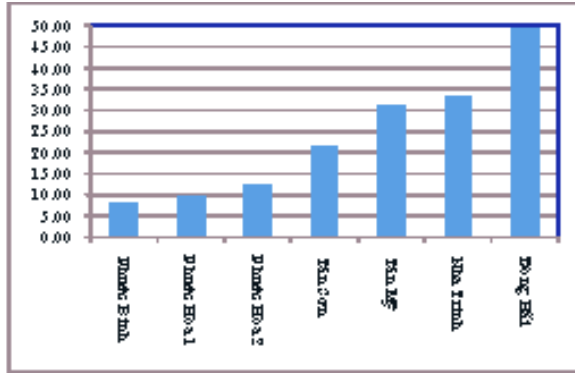
Lưu lượng trung bình nhiều năm tại trạm thủy văn Tân Mỹ là 26,3 m³/s của cả lưu vực là 49,4 m³/s. Mô đùn và lớp dòng chảy lớn nhất ở khu vực trung lưu, với giá trị mô đùn trung bình

hiều năm đạt 19,0 l/s km² và lớp dòng chảy trung bình nhiều năm đạt 50,1 mm, trung bình của cả lưu vực là 14,9 l/s km² và 39,2 mm. Tổng lượng dòng chảy trung bình nhiều năm của cả lưu vực khoảng 1,6 tỷ m³.

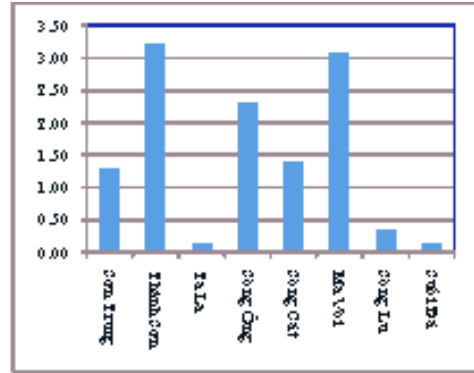
Dòng chảy lưu vực sông Cái Phan Rang phân bố không đồng đều theo không gian, khu vực sinh dòng chảy nhiều nhất là phía tây bắc và giảm dần xuống phía đông nam. Vùng có dòng chảy thấp nhất là khu vực đông bắc và tây nam. Chuẩn mô đùn dòng chảy năm khu vực tây bắc từ 30 - 40 l/s km², khu vực đông bắc và tây nam từ 5 - 10 l/s km². Chuẩn mô đùn dòng chảy mùa lũ khu vực tây bắc từ 50 - 70 l/s km², khu vực

đông bắc và tây nam từ 10 - 20 l/s km². Chuẩn mô đụn dòng chảy mùa cạn khu vực tây bắc 20

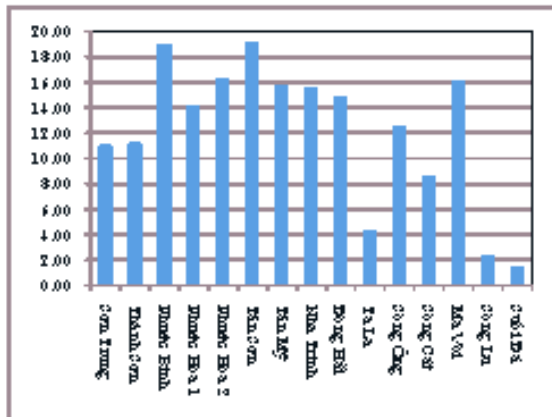
- 24 l/s km², khu vực đông bắc và tây nam từ 2 - 6 l/s km².



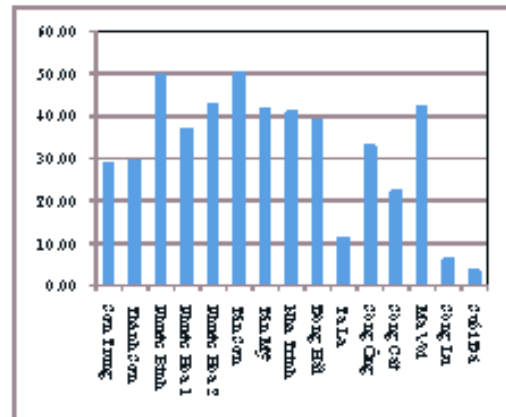
Hình 8a. Biểu đồ lưu lượng các trạm



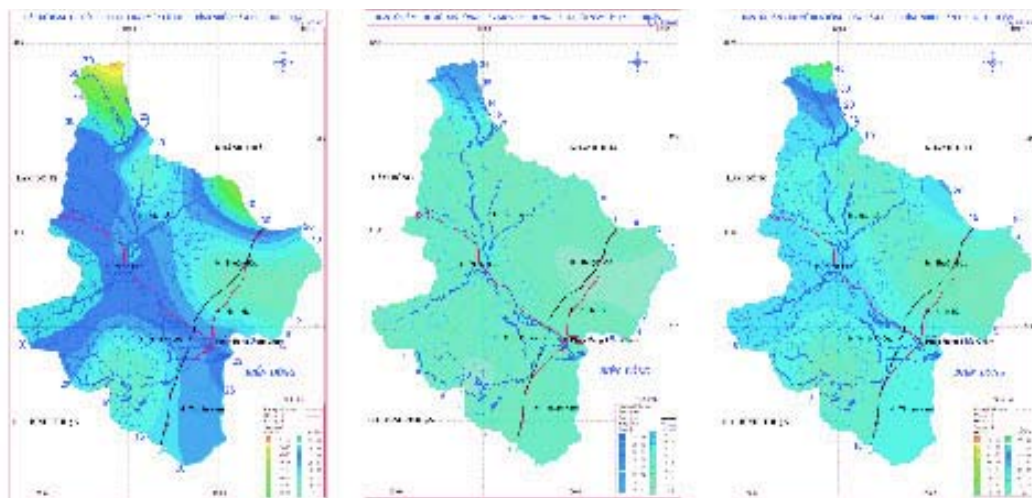
Hình 8b. Biểu đồ lưu lượng các trạm



Hình 9. Biểu đồ mô đụn các trạm



Hình 10. Biểu đồ lớp dòng chảy các trạm



Hình 11. Bản đồ chuẩn mô đụn dòng chảy: (a) mùa lũ, (b) mùa cạn, (c) năm

3.3. Kết luận

1. Lưu vực sông Cái Phan Rang có chế độ dòng chảy rất khắc nghiệt, về mùa cạn xảy ra hạn hán gay gắt, mùa lũ ngập lụt xảy ra nghiêm trọng. Do đó khôi phục dữ liệu dòng chảy nhiều

năm phục vụ tính toán tài nguyên nước và điều tiết dòng chảy là rất cần thiết.

2. Trong nghiên cứu đã xây dựng được mô hình sóng động học một chiều phi tuyến và tích hợp với mô hình thủy văn thông số phân bố MA-

RINE để khôi phục số liệu nhiều năm tại 15 vị trí khác nhau trên lưu vực sông Cái Phan Rang.

3. Bộ thông số của mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định đủ tin cậy để khôi phục dòng chảy lưu vực sông Cái Phan Rang. Vị trí các trạm khôi phục phân bố tương đối đều trên lưu vực đã phản ánh được đặc điểm dòng chảy phân bố theo không gian một cách khách quan, hợp lý.

4. Nghiên cứu đã khôi phục được chuỗi số liệu tại 15 vị trí với độ dài 38 năm (1978 - 2015), trong điều kiện tỉnh Ninh Thuận không có trạm đo dòng chảy nhiều năm thì đây là nguồn số liệu quý giá phục vụ phát triển kinh tế xã hội của tỉnh.

5. Mô hình thủy văn thông số phân bố sử dụng trong nghiên cứu có cơ sở dữ liệu đầu vào rất lớn, do đó cần nghiên cứu xây dựng công cụ hỗ trợ từ công nghệ GIS kết hợp với ngôn ngữ lập trình để nâng cao độ chính xác và hiệu quả công việc chuẩn bị dữ liệu đầu vào.

6. Phương pháp phân bố mưa theo không gian theo đa giác Thiessen, các ô lưới trong một đa giác nhận cùng giá trị lượng mưa tại cùng một thời điểm nên chưa sát với thực tế. Do đó để có dữ liệu mưa đầu vào tốt hơn cần nghiên cứu thêm các phương pháp xử lý mưa theo không gian.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Lan Châu, Đặng Thanh Mai, Trịnh Thu Phương(2005), *Các bài toán trong việc ứng dụng mô hình thủy văn Marine để mô phỏng và dự báo lũ sông Đà*, Hội nghị Khoa học Công nghệ và phục vụ dự báo Khí tượng thủy văn lần thứ VI.

2. Nguyễn Hữu Khải, Nguyễn Thanh Sơn (2003), *Mô hình toán thủy văn*, Nxb Đại học Quốc gia Hà Nội.

3. Ven Techow, David R.Maidment, Larry W.Mays (1988), *Applied Hydrology*, New York : McGraw-Hill, c1988.

DISCHARGE DATA CREATTING ON CAI PHAN RANG BASIN BY INTEGRATE MODELS

Bui Van Chanh⁽¹⁾, Tran Ngoc Anh^(2,3), Nguyen Hong Truong⁽¹⁾

⁽¹⁾South Center Regional Hydro

⁽²⁾Faculty of Hydro-Meteorology & Oceanography

⁽³⁾Center for Environmental Fluid Dynamic

Cai Phan Rang is biggest river of Ninh Thuan province, is main source that supply water, is the most serious flood on the province. However, there isn't any annual discharge observation station on Cai Phan Rang basin, therefore calculating annual discharge data for calculating water resource is very necessary. There are many models for calculating discharge data on the world. Distributive parameter rainfall runoff model is applied on Cai Phan Rang basin that is the best because the basin is very homogeneous about topography and rainfall. This researching, MARINE model of France is applied to simulate discharge on Cai Phan Rang basin and this model is fully distributive parameter rainfall runoff (physical parameter) that is good simulating runoff on downhill slope. But the model can't simulate discharge in the river, therefore nonlinear one dimension kinematic wave model is built and integrated with MARINE to simulate discharge at 15 stations on Cai Phan Rang basin from 1978 to 2015. The data is calculated by integrating models that is used for water resource calculating and hydrological zoning.

Keywords: MARINE model, Cai Phan Rang river, integrating models, kinematic waves.