

CÁC BÀI TOÁN TRONG ỨNG DỤNG MÔ HÌNH THỦY VĂN MARINE ĐỂ MÔ PHỎNG VÀ DỰ BÁO LŨ SÔNG ĐÀ

TS. Nguyễn Lan Châu, ThS. Đặng Thanh Mai, KS. Trịnh Thu Phương

Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương

Trong những năm gần đây công nghệ GIS (Geographic Information System) được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau và đem lại hiệu quả to lớn. Ngành Thủy văn học và Tài nguyên nước là một trong nhiều ngành áp dụng công nghệ GIS thuộc các lĩnh vực như môi trường, phân tích các thảm họa thiên nhiên (lũ lụt và phòng chống thiên tai...) đặc biệt trong các mô hình thủy văn.

Mô hình thủy văn áp dụng công nghệ GIS để phân tích biến đổi dữ liệu (độ dốc, độ nhám, vận tốc dòng chảy...) theo không gian và thời gian, kết hợp với dữ liệu mưa ra đa cho phép mô tả lưu vực chi tiết hơn (đến từng ô lưới – cell). Với bộ thông số phân phối, sử dụng trong các mô hình thủy văn hiện đại hy vọng sẽ tính toán dòng chảy từ mưa chính xác hơn các mô hình thủy văn theo phương pháp truyền thống, sử dụng bộ thông số tập trung (chỉ xem xét sự biến đổi theo thời gian các dữ kiện, bỏ qua sự biến đổi theo không gian, các đặc trưng thủy văn bị lược bớt và tính theo dạng thức trung bình trên toàn lưu vực).

Mô hình thủy văn MARINE là mô hình thủy văn hiện đại sử dụng công nghệ GIS. Viện Cơ học và Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Trung ương, trong khuôn khổ đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo lũ sông Đà phục vụ điều tiết hồ Hoà Bình trong công tác phòng chống lũ lụt” do TS. Nguyễn Lan Châu làm chủ nhiệm đã áp dụng mô hình thủy văn MARINE để mô phỏng và tính toán, dự báo nghiệp vụ dòng chảy đến hồ Hoà Bình.

1. Cơ sở lý thuyết của mô hình MARINE

a. Lý thuyết sinh dòng chảy

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

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \text{grad}(V) = P_0$$

Trong đó: V - thể tích khối chất lỏng,

$\mathbf{u}$ - vận tốc của dòng chảy giữa các ô lưới,

P_0 - lượng mưa.

$$\text{Vi: } \mathbf{u} \cdot \text{grad}(V) = \overline{\nabla(\mathbf{u}V)} - V \text{div}(\mathbf{u})$$

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

$$\iiint_S \text{div}(\mathbf{mu}) dS = \oint_{\Gamma} \mathbf{mu} n d\Gamma$$

ta thu được:
$$\iint_S \frac{\partial V}{\partial t} dS + \oint_\Gamma V \mathbf{u} n d\Gamma = \iint_S P_0$$

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

$$\|\mathbf{u}\| = \sqrt{\text{pente}} \cdot \frac{H^{2/3}}{K_m}$$

Ở đây: Pente- độ dốc

K_m - hệ số nhám Manning.

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

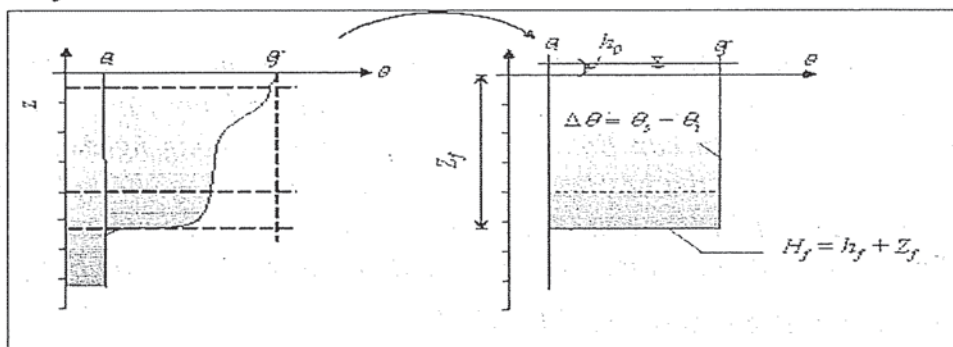
$$\Delta H + \sum_{j=1}^4 \frac{H_j^{5/3}}{K_m} \cdot \sqrt{\text{pente}} \frac{\Delta t}{\Delta x} = P_0 \Delta t$$

Trong đó: H - độ sâu mực nước của ô lưới tính.

ΔH - sự chênh lệch mực nước của ô lưới tính từ t_1 đến t_2 .

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

b. Lý thuyết thấm của mô hình MARINE



a) Phương trình liên tục:

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

$F(t)$ - độ sâu lũy tích của nước thấm vào trong đất,

Với: $\Delta\theta = \eta - \theta_i$

b) Định luật Darcy được thể hiện qua phương trình:

$$q = -K \frac{\partial h}{\partial z} = -f$$

K - độ dẫn thủy lực.

q - thông lượng Darcy.

$$f = k \frac{h_1 - h_2}{z_1 - z_2}$$

h_1 - cột nước ở trên mặt đất bằng độ sâu lớp nước đọng h_p .

$$h_2 = -\psi - L$$

ψ - cột nước mao dẫn của mặt ướt.

$$f = k \frac{h_0 - (-\psi - L)}{L} = k \frac{\psi + L}{L}$$

Mặt khác, $L = F/\Delta\theta$, giả thiết $h_0 = 0$

Biến đổi và thực hiện tích phân:

$$\int_0^{F(t)} \left(1 - \frac{\psi \Delta\theta}{F + \psi \Delta\theta} \right) dF = \int_0^t K dt$$

Thu được kết quả cuối cùng tính thấm:

$$F(t) - \psi \Delta\theta \left(1 + \frac{F(t)}{\psi \Delta\theta} \right) = Kt$$

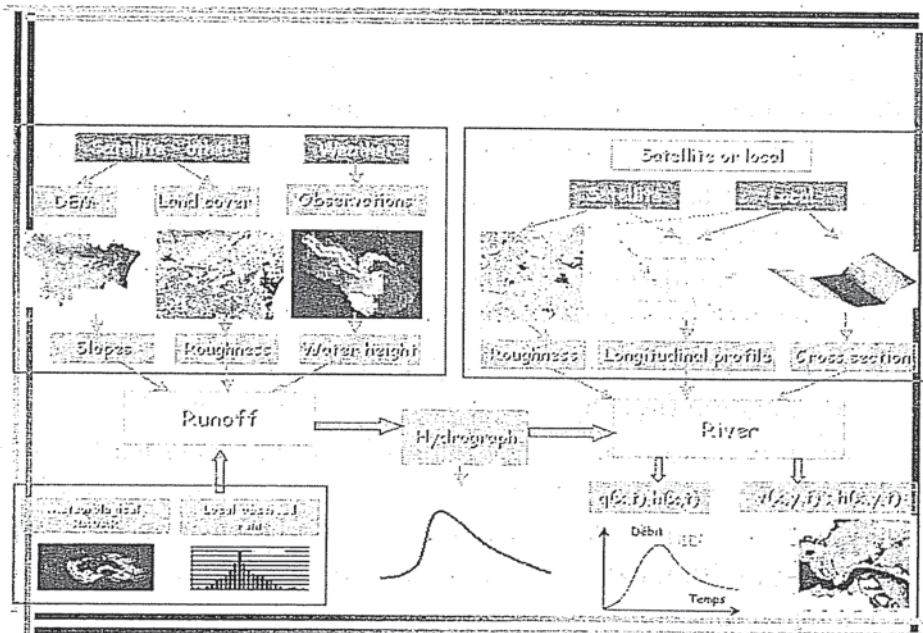
Thông số của mô hình thấm Green-Ampt

η - độ rỗng của đất khi frôn ướt đi qua %.

θ_i - hàm lượng ẩm ban đầu của đất (cm).

ψ - cột nước mao dẫn của mặt ướt (cm).

K - độ dẫn thủy lực (cm/giờ).



Hình 1. Cấu trúc dữ liệu mô hình MARINE

2. Mô hình MARINE để mô phỏng và dự báo lũ sông Đà

Dữ liệu đầu vào cho mô hình MARINE là các lớp bản đồ bao gồm: bản đồ độ cao số hoá (DEM-Digital Elevation Model) tỷ lệ 1:50.000, bản đồ sử dụng đất tỷ lệ 1:50.000, bản đồ cấu trúc đất tỷ lệ 1: 1.000.000, bản đồ phân bố mưa, dữ

liệu mưa thực đo và mưa số trị (48 giờ), mực nước và lưu lượng tại các trạm thủy văn trên sông Đà (hình 1). Các phần mềm hỗ trợ tạo đầu vào cho mô hình MARINE gồm:

- Mapinfo 7.0
- Arcview 3.2 với phần mở rộng Spatial Analyst và HydroTool 1.0
- ILWIS 3.2 Academic

Hiện nay mô hình MARINE đã chạy thử nghiệm cho một số trận lũ năm 2005 để dự báo dòng chảy đến hồ Hoà Bình (với thời gian dự kiến 48 giờ).

a. Xây dựng bản đồ DEM

Mô hình số độ cao địa hình là phương pháp mô hình hoá và biểu diễn gần đúng địa hình bề mặt của khu vực nghiên cứu thông qua một bề mặt mô phỏng từ một hàm số xác định trên một không gian liên tục bởi tập hợp các giao tuyến độ cao. Gọi Z là hằng số độ cao, Z sẽ là một hàm số ba biến $Z = f(x, y, h)$. Trong hệ thống tin địa lý DEM được biểu diễn như một ma trận độ cao. Hệ thống tin địa lý có thể được tạo ra từ các ảnh vệ tinh, ảnh chụp bằng máy bay và bản đồ địa hình dạng giấy.

Hệ thống tin địa lý sử dụng trong mô hình MARINE được tạo ra từ việc số hoá 53 mảnh bản đồ giấy UTM tỉ lệ 1:50.000 lưu vực sông Đà sử dụng phần mềm Mapinfo 7.0.

Hệ thống tin địa lý được tạo ra từ bản đồ địa hình bằng cách nhận diện các đường đồng mức độ cao và chuyển đổi chúng trên bản đồ sang dạng Raster data. Bản đồ DEM ở dạng bản đồ Raster gắn với một trường giá trị. Mỗi một pixel trên bản đồ Raster bao gồm độ cao tại tâm của pixel. Việc sử dụng kích thước pixel lớn hay nhỏ có tác động rất lớn đến các kết quả tính toán và hình ảnh của bề mặt. Nếu kích thước các pixel quá lớn sẽ dẫn đến sự kém chính xác của độ dốc so với thực tế và sự không chính xác của sông suối.

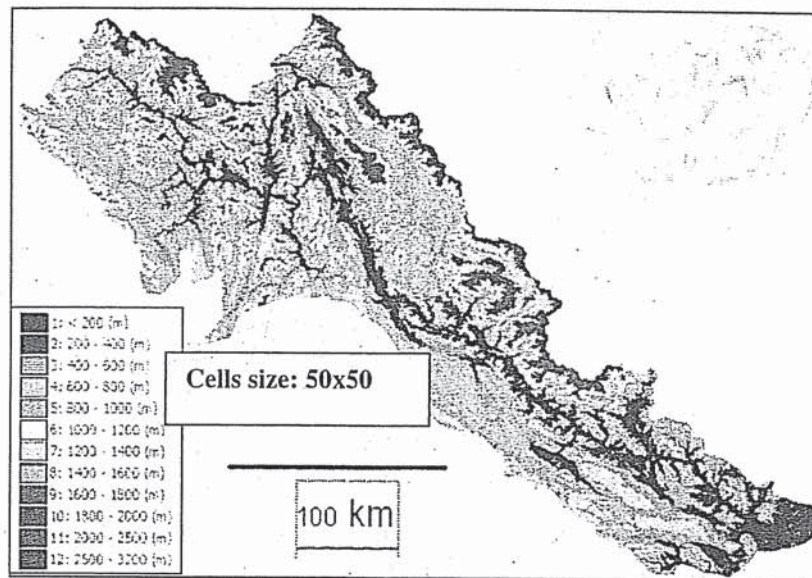
Để xây dựng bản đồ DEM sử dụng phần mềm ILWIS 3.2 với chức năng Contour interpolation (nội suy đường thẳng trị) theo 2 bước:

Chuyển đổi đường đồng mức dạng véc tơ sang dạng Raster sử dụng các tham chiếu địa lý trong đó kích thước các pixel, số các dòng, các cột và toạ độ X, Y nhỏ nhất của bản đồ được xác định (Bản đồ DEM sông Đà có kích thước của 1 pixel 50m x 50m, diện tích của một pixel là 2.500m² (0,25ha) tương ứng với 0,25ha ngoài thực tế.

Nội suy tuyến tính các đường đồng mức.

Để xây dựng bản đồ DEM phải tạo một hệ toạ độ mới. Với các đăng ký: chọn tham chiếu UTM, Elipsoid: WGS84, Datum: Indian 1960, Zone 48.

Bản đồ DEM vừa tính toán được xuất sang dạng ASCII. Từ định dạng kiểu số liệu này tạo dữ liệu đầu vào mô hình MARINE(xem hình 2).



Hình 2. Bản đồ địa hình (DEM và đường bình độ) của lưu vực sông Đà
b. Bài toán tạo mạng lưới sông suối và phân chia cho từng tiểu lưu vực trên sông Đà

Bản đồ DEM được đưa vào phần mềm ArcView GIS 3.2 với phần mở rộng là Spatial Analyst và công cụ Hydro Tool tính toán thực hiện công việc tạo hướng chảy cho các ô lưới, tạo đường phân nước và cuối cùng tạo mạng sông suối (Stream network) theo địa hình tùy độ dày mỏng theo yêu cầu sử dụng.

Các đường phân nước là cơ sở để phân chia các tiểu lưu vực trên sông Đà. Việc phân chia lưu vực trên sông Đà thực hiện kết hợp hai phần mềm ArcView GIS 3.2 và Mapinfo. Các tiểu lưu vực được phân theo tiêu chí:

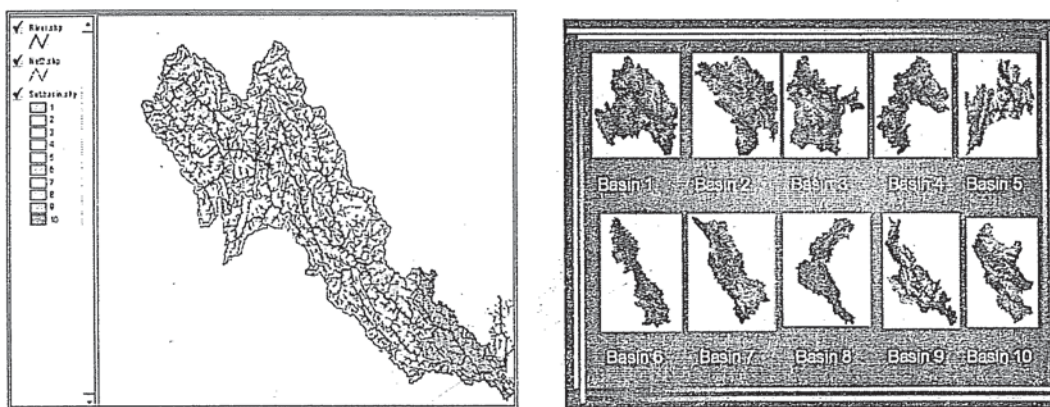
- Các lưu vực phải có ít nhất một điểm đổ nước ra sông Đà.
- Trạm thủy văn cần dùng để tính toán hiệu chỉnh kết quả cần nằm trong lưu vực bộ phận.

Qua phân tích các yếu tố, lưu vực sông Đà được phân thành 10 tiểu lưu vực.

Mô hình MARINE tính dòng chảy gia nhập khu giữa từ mưa trên 10 tiểu lưu vực của lưu vực sông Đà. Sau khi có bản đồ DEM, bản đồ lưới sông toàn lưu vực, cần tách các loại bản đồ của từng tiểu lưu vực riêng để tạo file theo đúng yêu cầu với sự giúp đỡ của phần mềm ILWIS 3.2 dùng thuật toán nhân ma trận để cắt tách.

c. Bài toán tích hợp bản đồ đất vào DEM toàn lưu vực sông Đà và phân chia cho từng Sub - basin

Bản đồ phân loại đất được sử dụng có tỷ lệ 1:1.000.000. Ban đầu bản đồ ở dạng véc tơ sau đó được chuyển sang dạng Raster để tạo dữ liệu cho mô hình sử dụng phần mềm ArcView GIS 3.2 với phần mở rộng Spatial Analyst.



Hình 3. Mạng lưới sông Đà tạo ra từ DEM và DEM của 10 tiểu lưu vực phân chia

Dạng Raster chính là dạng có cấu trúc giống với cấu trúc của DEM có cùng một hệ tọa độ với bản đồ số địa hình DEM. Các loại đất được gộp lại với nhau nếu chúng có cùng tính chất sử dụng. Toàn lưu vực sông Đà chia làm 4 nhóm đất (Sandy loam, Silt Loam, Clay, Loam - tên đất được sử dụng theo tổ chức Food - Mỹ).

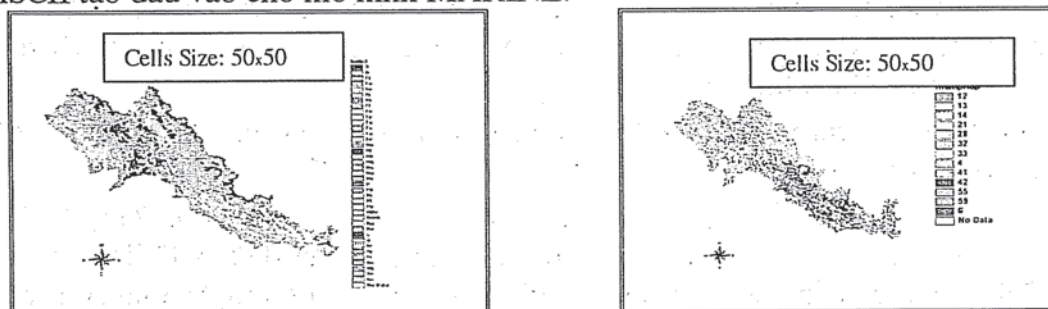
Sau khi đã tích hợp bản đồ đất vào DEM lưu vực sông Đà, tiến hành tạo bản đồ đất cho 10 Sub - basin với sự hỗ trợ của phần mềm ILWIS 3.2 dùng thuật toán nhân ma trận để cắt tách. Sau đó xuất ra 10 file ASCII bản đồ đất của từng Sub - basin tạo đầu vào cho mô hình MARINE.

d. Bài toán tích hợp bản đồ thảm phủ vào DEM toàn lưu vực sông Đà và phân chia cho từng tiểu lưu vực

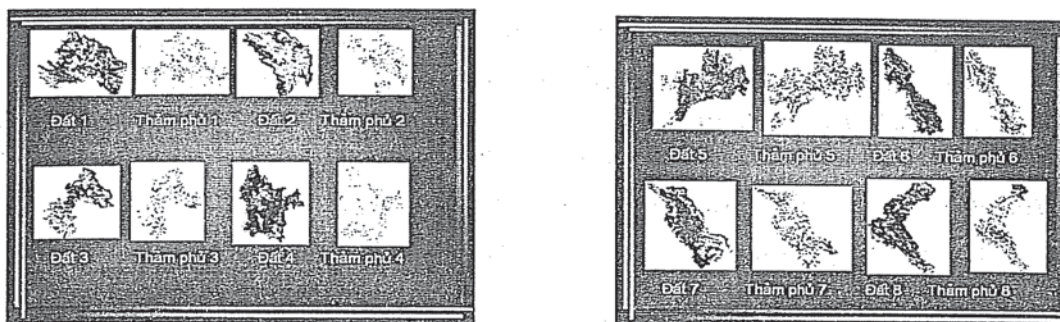
Bản đồ phân loại thảm phủ được sử dụng có tỷ lệ 1:50.000. Ban đầu bản đồ ở dạng véc tơ sau đó được chuyển sang dạng Raster để tạo dữ liệu cho mô hình sử dụng phần mềm ArcView GIS 3.2 với phần mở rộng Spatial Analyst.

Toàn bộ bản đồ được đưa về dạng các ô vuông có kích thước bằng nhau 50m x 50m. Lưu vực sông Đà chia ra 13 loại thảm phủ khác nhau và có các hệ số tính toán tương ứng trong mô hình.

Sau khi đã tích hợp bản đồ thảm phủ vào DEM toàn lưu vực sông Đà, tiến hành tạo bản đồ thảm phủ cho 10 tiểu lưu vực với sự hỗ trợ của phần mềm ILWIS 3.2 dùng thuật toán nhân ma trận để cắt tách. Sau đó xuất ra 10 file ASCII tạo đầu vào cho mô hình MARINE.



Hình 4. Bản đồ đất và thảm phủ toàn lưu vực sông Đà



Hình 5. Bản đồ đất và thảm phủ được cắt tách của 10 tiểu lưu vực
đ. Bài toán thu thập số liệu địa hình và tích hợp các mặt cắt, các trạm khí tượng thủy văn toàn lưu vực sông Đà lên bản đồ mạng lưới sông

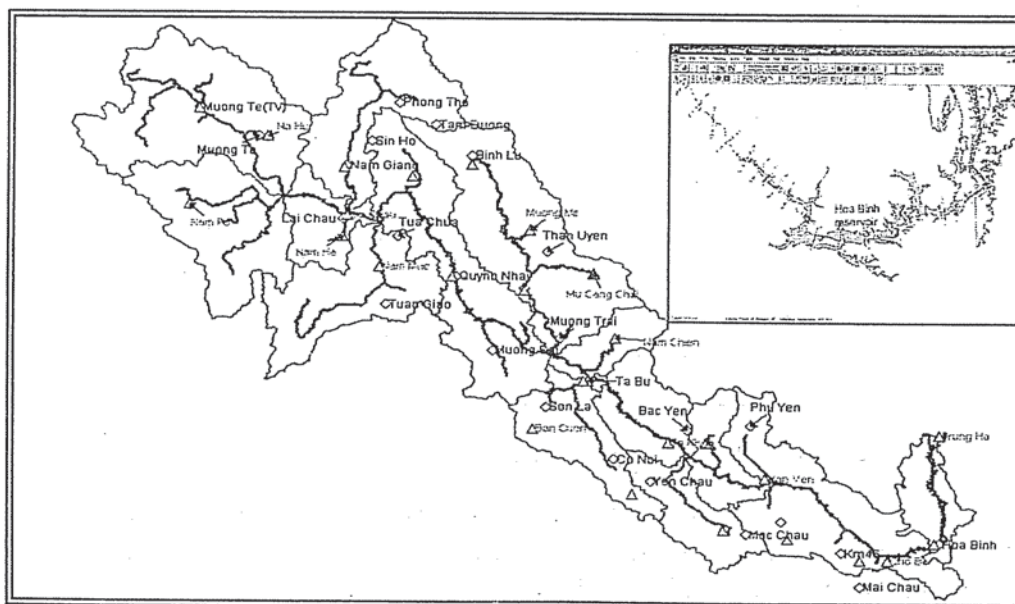
Thành phần số liệu địa hình gồm: số liệu mặt cắt ngang, số liệu trắc dọc, số liệu tọa độ mặt cắt từ Mường Tè đến Hoà Bình đo đạc năm 1999.

a) Tích hợp số liệu mặt cắt

Tổng số mặt cắt trên sông Đà từ Mường Tè - Hoà Bình là 121. Số liệu được chia thành 2 đoạn:

- Đoạn 1: biên giới - Pa Vinh: 59 mặt cắt,
- Đoạn 2: Pa Vinh - trước đập Hoà Bình: 62 mặt cắt.

Từ tọa độ hai điểm đầu mặt cắt và các số liệu trắc dọc, trắc ngang của sông Đà tiến hành tích hợp lên bản đồ. Mỗi mặt cắt được mô phỏng bằng đường thẳng cắt vuông góc với tuyến sông. Tạo lớp thông tin gồm các bảng biểu thị các thông tin liên quan tới từng mặt cắt được tích hợp.



Hình 6. Bản đồ sông Đà và phân phóng to lòng hồ Hoà Bình sau khi tích hợp các trạm KTTV và các mặt cắt

b. Tích hợp các trạm khí tượng thủy văn

Trên hệ thống sông Đà từ Mường Tè - Hoà Bình sử dụng 36 trạm khí tượng, 12 trạm thủy văn từ đó tạo lớp thông tin gồm các bảng biểu thị các thông tin liên quan tới từng trạm được tích hợp.

e. Bài toán tạo bản đồ phân bố lượng mưa toàn lưu vực sông Đà

Toàn lưu vực sông Đà sử dụng 36 trạm mưa khí tượng và mưa thủy văn. Phân bố mưa được thực hiện theo lý thuyết đa giác ThaiSon. Nối các trạm đo mưa thành đoạn thẳng chia lưu vực thành lưới các tam giác. Vẽ đường trung trực đi qua các cạnh của các tam giác. Các đường này tạo nên vùng diện tích ảnh hưởng của từng trạm mưa.

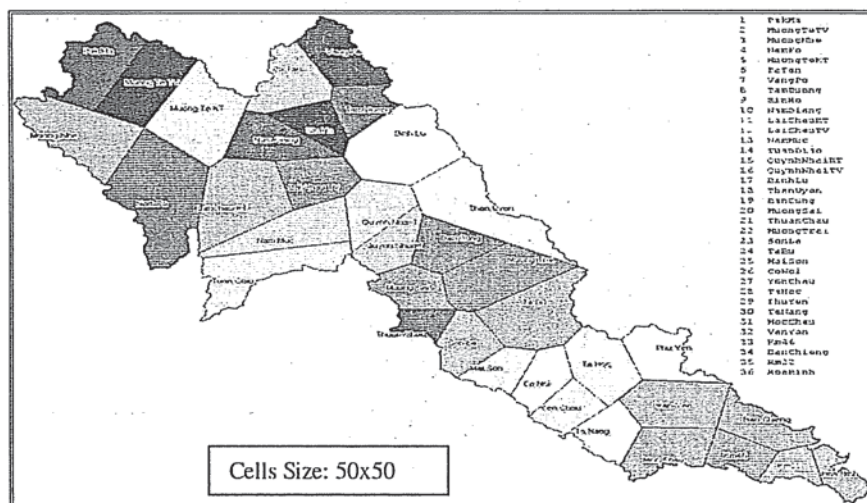
Các lớp thông tin được tạo lập gồm:

- Lớp biên của lưu vực sông Đà.
- Lớp lưới tam giác.
- Lớp phân vùng ảnh hưởng của mỗi trạm mưa.
- Lớp vùng: tạo các vùng ứng với các vùng phân bố mưa được xác định.

Các trường dữ liệu gồm có:

- Trường ID thứ tự các trạm mưa được sử dụng.
- Trường tên các trạm mưa.

Trường chứa giá trị mã hoá theo thứ tự các trạm mưa được sử dụng. 36 trạm mưa sẽ có 36 vùng ảnh hưởng. Mỗi vùng sẽ mang giá trị trùng với giá trị ID của các trạm.



Hình 7. Bản đồ phân bố mưa trên lưu vực sông Đà

Toàn bộ bản đồ được đưa về dạng Raster (Ma trận trường giá trị) và xuất ra file ASCII mã hoá toàn bộ lưu vực sông Đà với các phần tử ma trận là chỉ số ID của các trạm mưa khác nhau khổng chế từng vùng.

Khi mô hình sử dụng dữ liệu phân bố mưa, chương trình sẽ chồng lớp bản đồ phân bố mưa và lớp biên từng tiểu lưu vực (đã phân chia theo ô lưới 50m x 50m) để gắn dữ liệu mưa cho từng cell nằm trong vùng ảnh hưởng của

trạm mưa tương ứng. Các cell nằm trong các khu vực phân phối mưa khác nhau đương nhiên sẽ mang giá trị mưa (mưa thực đo và dự báo) khác nhau và các cell nằm trong cùng một vùng khống chế thì mang giá trị mưa như nhau. Dữ liệu mưa trên từng cell là đầu vào cần thiết để tính toán dòng chảy trong mô hình MARINE. Tính phân phối về dữ liệu mưa được sử dụng trong mô hình MARINE chắc chắn sẽ đem lại kết quả tốt hơn trong quá trình mô phỏng dòng chảy từ mưa trên từng tiểu lưu vực của sông Đà so với phương pháp truyền thống là thông số mưa chỉ có 1 và được tính bình quân số học trên toàn lưu vực.

f. Bài toán phân tích bộ thông số mô hình MARINE qua bài toán kiểm tra và bài toán thực tế

+ Mô hình MARINE có các loại thông số: thông số thấm (phụ thuộc vào bản đồ đất) gồm:

η - độ rỗng của đất khi frôn ướt đi qua; θ_i - hàm lượng ẩm ban đầu của đất; ψ - cột nước mao dẫn của mặt ướt (cm); K - độ dẫn thủy lực (cm/giờ).

Thông số về độ nhám của bề mặt lưu vực: K_m (phụ thuộc vào bản đồ thảm phủ).

Để tìm chính xác bộ thông số trên cần sử dụng thuật toán tối ưu hoá.

Tác giả cần tìm các tham số $x_1, \dots, x_n$, để hàm mục tiêu K là nhỏ nhất:

$$K = \sum_{i=1}^n \int_0^T [\mathcal{Q}_{do}(t) - \mathcal{Q}_u(t, x_i)]^2 = f(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \min$$

Vì MARINE là mô hình thông số phân phối (việc tính toán lưu lượng từ mưa được thực hiện trên từng cell sau đó được gom lại thành lưu lượng tại cửa ra của lưu vực) nên các thông số của mô hình được đọc để tính toán trên từng cell. Việc xác định bộ thông số thích hợp cần hai yếu tố:

+ Bước 1: Có chuỗi số liệu thủy văn các trận lũ điển hình đã xảy ra trong quá khứ (ít nhất là 5 trận lũ từ lớn, trung bình và nhỏ) kèm theo các hình thể mưa của từng trận.

+ Bước 2: phân tích sắp xếp thứ tự tỷ lệ % loại đất và loại thảm phủ chiếm ưu thế trên từng tiểu lưu vực.

Vì có rất nhiều thông số, nên không thể thay đổi tất cả các thông số cùng một lúc. Điều này dẫn tới không thể xác định được thông số nào ảnh hưởng nhất. Sự thay đổi được thực hiện trên từng thông số một để kiểm định với kết quả thực đo qua hàm mục tiêu, nếu kết quả phù hợp chuyển sang thông số khác phân tích.

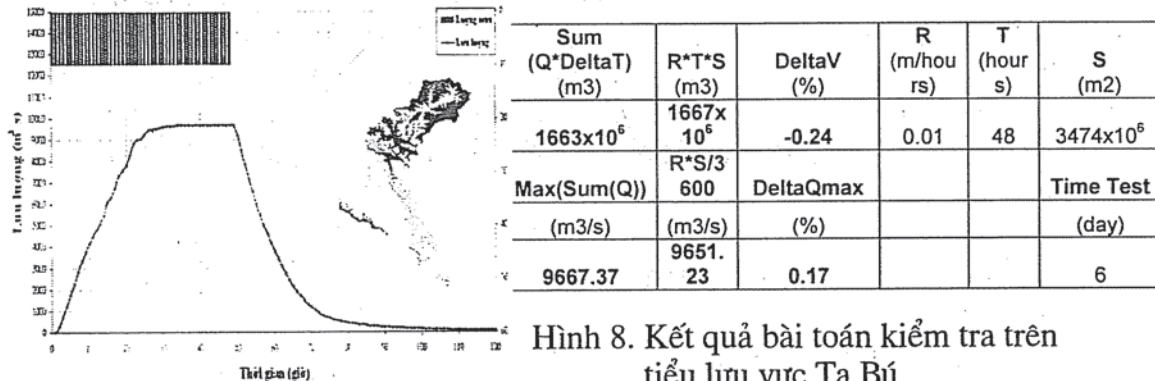
Các thông số của mô hình MARINE ban đầu được lấy theo giá trị trung bình để tính toán thử cho toàn bộ 10 tiểu lưu vực đã được phân chia trên sông Đà theo DEM.

Việc hiệu chỉnh các thông số của từng tiểu lưu vực được thực hiện qua quá trình xem xét cấu trúc đất và thảm phủ của từng tiểu lưu vực đã được thể hiện trên các bản đồ Raster về đất và thảm phủ của 10 tiểu lưu vực vùng sông Đà. Tiểu lưu vực nào có cấu trúc đất và thành phần sử dụng đất chiếm ưu thế thì sẽ ưu tiên thay đổi các thông số thấm và độ nhám của vùng đất đó, sau đó

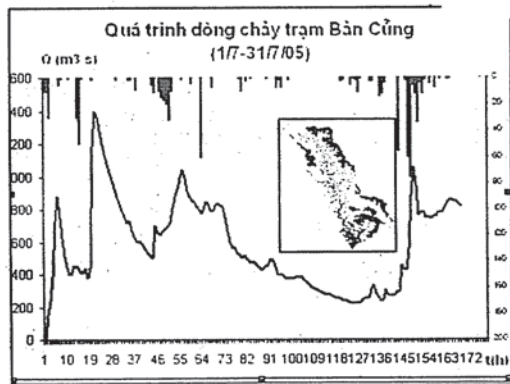
đến các thành phần chiếm ưu thế ít hơn để đạt được kết quả lưu lượng tại các nút ra của các tiểu lưu vực sát với thực tế nhất.

Bài toán kiểm tra của mô hình MARINE

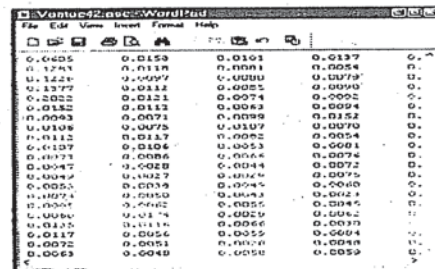
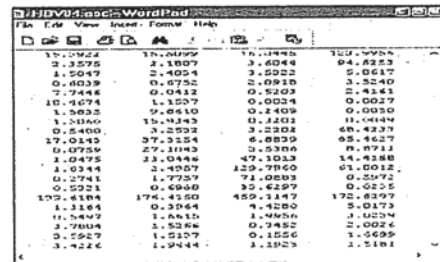
Mục đích bài toán là để kiểm định sự ổn định của bộ thông số mô hình. Tại thời điểm ban đầu, lưu vực hoàn toàn khô, cho mưa là một hằng số đều trên toàn lưu vực trong thời gian đủ dài để lưu lượng ra khỏi lưu vực là một hằng số. Dòng chảy trong lưu vực chính là dòng chảy dừng với biên vào là mưa, biên ra là lưu lượng, vận tốc, mực nước... là hằng số. Cho lượng mưa trong toàn lưu vực bằng không, tiếp tục tính một thời gian đủ dài để lưu lượng ra khỏi lưu vực đủ nhỏ để có thể bỏ qua. Kết quả cuối cùng kiểm tra hai thông số: sự cân bằng nước và sự cân bằng lưu lượng lớn nhất. Chỉ tiêu kiểm tra:



Hình 8. Kết quả bài toán kiểm tra trên tiểu lưu vực Tạ Bú



Trường mực nước và vận tốc



Hình 9. Kết quả tính toán tại trạm thủy văn Bàn Củng

qua các trường vận tốc, mực nước, hướng chảy

$$|(V_{\text{vào}} - V_{\text{ra}})/V_{\text{vào}} * 100| < 5\% \text{ với } V_{\text{vào}} = R*s*t, V_{\text{ra}} = \sum Q_i;$$

(R- lượng mưa; s- diện tích lưu vực; t- thời gian tính)

Bài toán thực tế của mô hình MARINE

Mục đích bài toán thực tế chạy mô phỏng nhằm kiểm định và phân tích độ nhạy bộ thông số, tìm ra bộ thông số tối ưu nhất. Các trận lũ và hình thể mưa được chọn điển hình theo các năm lũ từ lớn đến trung bình và nhỏ như 1969, 1971, 1996, 2004, 2005).

Mô hình thủy văn MARINE với thông số phân phối sử dụng dữ liệu GIS tạo đầu vào để tính toán dòng chảy khu giữa từ mưa trên 10 sub-basin. Mô hình thủy lực gom nước (lưu lượng gia nhập khu giữa được tính từ mô hình MARINE), diễn toán dòng chảy lũ trong sông Đà từ Mường Tè - Hoà Bình. Bộ mô hình thống nhất MARINE - mô hình thủy lực tính toán và dự báo dòng chảy lũ sông Đà đã mang lại kết quả khá tốt. Đây là hướng đi mới so với các phương pháp truyền thống rất cần được tiếp nhận và phát triển.

Tài liệu tham khảo

1. www.esri.com
2. University of Arkansas Libraries—Geographic Information Systems & Maps: <http://libinfo.uark.edu/gis/tutorial.asp>
3. UIUC, East St. Louis Geographic Information Retrieval System: <http://www.eslarp.uiuc.edu/egrets/tutorials/>
4. Geographic Information System Laboratory at MIT: <http://libraries.mit.edu/gis/>
5. Đỗ Cao Đàm, Trịnh Quang Hòa, Hà Văn Khôi, Đoàn Trung Lưu, Nguyễn Năng Minh, Lê Đình Thành, Dương Văn Tiến. "Thủy văn công trình".- NXB - Nông nghiệp, năm 1993.
6. Ven Techow, David R.Maidment, Larry W.Mays. 1968. "Applied Hydrology". Mc Graw - Hill, New York.