

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CẦN THƠ

--- oOo ---

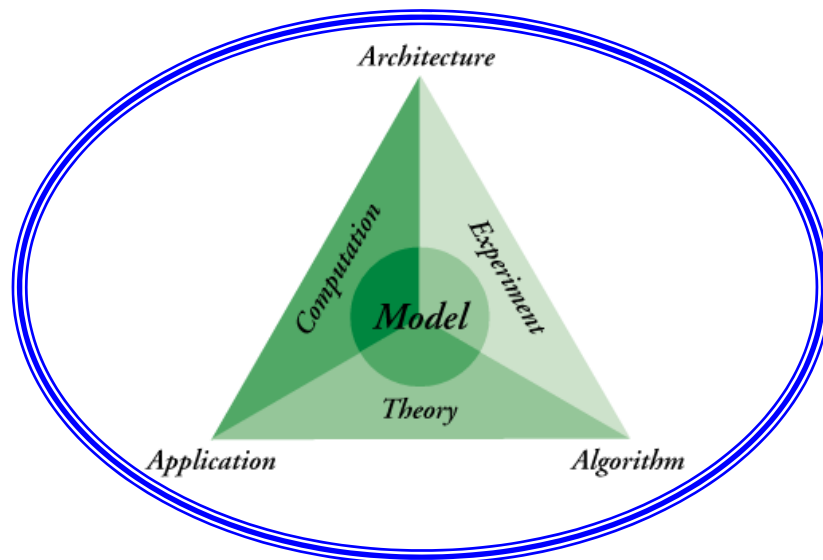


LÊ ANH TUẤN, PhD.



MÔ HÌNH HÓA MÔI TRƯỜNG

ENVIRONMENTAL MODELING



Cần Thơ, 2008

LỜI MỞ ĐẦU VÀ GIỚI THIỆU

MỤC LỤC

LỜI MỞ ĐẦU VÀ GIỚI THIỆU.....	ii
MỤC LỤC	ii
Danh sách hình.....	iv
Chương 1. NHẬP MÔN – CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN.....	1
1.1 Vấn đề.....	1
1.2 Các định nghĩa và khái niệm cơ bản.....	1
1.2.1 Định nghĩa mô hình	1
1.2.2 Mục tiêu thành lập mô hình	3
1.2.3 Đặc trưng cơ bản của một mô hình.....	4
1.3 Mô hình môi trường.....	6
1.4 Lịch sử mô hình	6
1.5 Quan hệ môn học	8
Chương 2. PHÂN LOẠI VÀ TIẾN TRÌNH MÔ HÌNH.....	9
2.1 Phân loại mô hình	9
2.1.1 Mục đích phân loại mô hình	9
2.1.2 Các nhóm mô hình.....	9
2.2 Tiến trình vận hành mô hình.....	12
2.2.1 Thu thập dữ liệu.....	13
2.2.2 Mô hình khái niệm.....	13
2.2.3 Mô hình giải tích hoặc mô hình số.....	15
2.2.4 Hiệu chỉnh mô hình.....	15
2.2.5 Kiểm nghiệm mô hình	15
2.2.6 Tiên đoán hoặc tối ưu	16
2.3 Tiêu chuẩn chọn lựa mô hình.....	16
2.3.1 Khái niệm.....	16
2.3.2 Mô hình "tốt nhất"	17
2.3.3 Chọn mô hình theo cấu trúc và giá trị vào/ra.....	18
2.3.4 Chọn mô hình theo vấn đề thực tế	19
2.3.5 Đánh giá lại việc chọn lựa	20
Chương 3. HIỆU CHỈNH CÁC THÔNG SỐ MÔ HÌNH.....	21
3.1 Khái quát vấn đề	21
3.2 Các bước trong tiến trình hiệu chỉnh	23
3.2.1 Bước xác định thông tin quan trọng.....	23
3.2.2 Bước chọn tiêu chuẩn mô hình	24
3.2.3 Bước hiệu chỉnh mô hình.....	24
3.3 Các tiếp cận để hiệu chỉnh thông số mô hình	25
3.3.1 Tiếp cận tiên nghiệm (a priori approach).....	25
3.3.2 Tiếp cận phù hợp đường cong (the curve fitting approach).....	25
3.4 Các vấn đề khi thành lập các thông số trong các mô hình môi trường.....	27
3.4.1 Các vấn đề thường gặp khi thành lập thông số.....	27
3.4.2 Sự hiệu chỉnh là một đòi hỏi khắc khe về số liệu	28

3.4.3	Tương tác giữa các thông số	28
3.4.4	Sự tương tự lưu vực và các vấn đề chuyển dịch thông số	29
3.4.5	Giá trị thông số và vấn đề quy mô của mô hình	30
3.4.6	Vấn đề ngoại suy thông số	31
Chương 4.	THỂ HIỆN MÔ HÌNH	32
4.1	Kiểm nghiệm và định trị mô hình	32
4.2	Nghiên cứu kiểm nghiệm	32
4.2.1	Mục tiêu	32
4.2.2	Hàm mục tiêu	33
4.2.3	Các trị số thống kê dùng cho kiểm nghiệm	33
4.3	Vấn đề kiểm nghiệm mô hình	37
4.3.1	Các vấn đề thường gặp	37
4.3.2	Hậu kiểm việc phê chuẩn và kiểm nghiệm mô hình	38
Chương 5.	ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HÓA MÔI TRƯỜNG	39
5.1	Sơ đồ phát triển và ứng dụng mô hình	39
5.2	Xu thế phát triển mô hình hóa môi trường theo quy mô không gian	40
5.3	Giới thiệu một số mô hình môi trường	41
5.3.1	Mô hình biến đổi khí hậu toàn cầu	41
5.3.2	Mô hình quản lý lưu vực	42
5.3.3	Bộ mô hình thủy lực - thủy văn MIKE	43
5.3.4	Mô hình ô nhiễm môi trường sinh thái nước ngọt	45
	Tài liệu tham khảo	46
	Phụ lục	47

Danh sách hình

Hình 1.1. Mô hình xe hơi thử nghiệm sử dụng năng lượng mặt trời	2
Hình 1.2. Mô hình thể hiện sự thay đổi khối lượng nước trong hồ chứa.....	2
Hình 1.3. Mô hình dự báo tình hình thế giới đến năm 2100.....	2
Hình 1.4. Đường đi của các chất gây ô nhiễm trong vòng tuần hoàn nước.....	3
Hình 1.5. Ba thành tố chính của một mô hình	4
Hình 1.6. Chia vấn đề lớn thành từng vấn đề riêng rẽ	4
Hình 1.7. Khái quát mô hình theo khoa học tính toán	5
Hình 1.8: Mặt trên của trống đồng Đông Sơn (hình trái); một hình khắc mô phỏng hình ảnh hai con chim đậu trên mái nhà của con người (hình phải).....	7
Hình 1.9: Quan hệ môn học “Mô hình hóa môi trường” với các môn khác	8
Hình 2.1. Phân loại mô hình tổng quát	11
Hình 2.2. Phân loại mô hình dựa theo mô tả tiến trình.....	11
Hình 2.3. Phân loại mô hình dựa vào quy mô không gian và thời gian.....	12
Hình 2.4. Phân loại mô hình dựa vào phương pháp giải toán.....	12
Hình 2.5. Tiến trình của một mô hình.....	13
Hình 2.6. Mô hình khái niệm diễn tả quan hệ mưa – dòng chảy	14
Hình 2.7 Minh họa việc phân đoạn chuỗi số liệu theo thời gian để Hiệu chỉnh và thử nghiệm khi chạy mô hình.....	16
Hình 2.8 Biểu đồ minh họa quan hệ giữa độ phức tạp của mô hình, mức đòi hỏi của dữ liệu và khả năng thể hiện kết quả tiên đoán của mô hình	17
Hình 3.1 Tiến trình mưa – dòng chảy trong một lưu vực	21
Hình 3.2 Thủy đồ ghi nhận thực tế diễn biến mưa và dòng chảy cùng thời đoạn	21
Hình 3.3 Sơ đồ diễn tả bài toán quan hệ mưa – dòng chảy	22
Hình 3.4 Ví dụ minh họa kết quả lưu lượng dòng chảy theo mô hình và theo thực tế....	22
Hình 3.5 Ba bước trong tiến trình Hiệu chỉnh	23
Hình 4.1: Một ví dụ về đường tương quan tuyến tính giữa trị quan trắc và trị mô phỏng	35
Hình 5.1 Sơ đồ phát triển và ứng dụng mô hình.....	39
Hình 5.2 Xu thế phát triển mô hình thủy văn môi trường theo quy mô không gian.....	40
Hình 5.3 Mô hình Khí quyển Toàn cầu	41
Hình 5.4 Kết quả dự báo sự gia tăng nhiệt độ toàn cầu từ PRECIS	42
Hình 5.6 Cấu trúc Mô hình Quản lý Lưu vực WMM.....	43
Hình 5.7 Ví dụ kết quả phần mềm MIKE 11 mô phỏng sự xâm nhập mặn ở ĐBSCL	44
Hình 5.8 Mô hình NAM cho quan hệ mưa - dòng chảy lưu vực	44
Hình 5.9 Mô hình khái niệm của AQUATOX về thay đổi nồng độ ở thủy vực.....	45

Chương 1. NHẬP MÔN – CÁC KHÁI NIỆM CƠ BẢN

1.1 Vấn đề

Hiện nay, ô nhiễm môi trường đang là vấn đề báo động song hành với sự phát triển kinh tế xã hội, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển. Tại nhiều nơi, chất lượng nước, đất, không khí suy giảm nhanh chóng vượt qua khả năng tự làm sạch của tự nhiên. Trong lĩnh vực khoa học quản lý môi trường và kỹ thuật xử lý môi trường, việc quan trắc dự báo diễn biến môi trường mang tầm quan trọng cho các quyết định giải quyết vấn đề. Tuy nhiên, việc đo đạc, quan trắc môi trường rất tốn kém kinh phí và công sức của con người. Nhằm giảm thiểu các khó khăn này, các nhà khoa học đã và đang tiếp tục phát triển các ứng dụng các nguyên lý vật lý và toán học vào thực tiễn để mô phỏng các diễn biến thực tế trong tự nhiên và đưa ra các dự báo cần thiết.

Việc mô phỏng môi trường cũng đang giúp con người tạo dựng các mô hình ảnh hoặc sự vật thu nhỏ hoặc tương tự, bắt chước theo thực tế để mô tả sự kiện cũng như tạo ra các kịch bản biến đổi lượng và chất theo không gian và thời gian nhằm tiên đoán khả năng lây truyền chất ô nhiễm hoặc khả năng hồi phục chất lượng tài nguyên. Môn học mô hình hóa môi trường được hình thành từ cơ sở này.

Môn mô hình hóa môi trường phục vụ cho tất cả các nhà khoa học, nhà kỹ thuật, nhà quản lý, kể cả các nhà xã hội làm việc liên quan đến lĩnh vực môi trường và tài nguyên thiên nhiên. Chữ “mô hình” (modeling) có nguồn gốc từ chữ La-tinh *modellus*. Từ này mang ý nghĩa là một kiểu cách do con người tạo ra để tiêu biểu cho một thực tại nào đó.

1.2 Các định nghĩa và khái niệm cơ bản

1.2.1 Định nghĩa mô hình

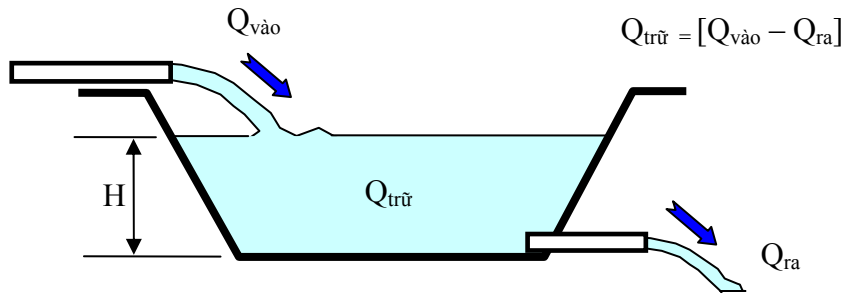
- *Mô hình là một cấu trúc mô tả hình ảnh đã được tối giản hóa theo đặc điểm hoặc diễn biến của một đối tượng, một hiện tượng, một khái niệm hoặc một hệ thống.*
- *Mô hình có thể là một hình ảnh hoặc một vật thể được thu nhỏ hoặc phóng đại, hoặc chỉ làm gọn bằng một phương trình toán học, một công thức vật lý, một phần mềm tin học để mô tả một hiện trạng thực tế mang tính điển hình.*
- *Mô hình hoá là một khoa học về cách mô phỏng, giản lược các thông số thực tế nhưng vẫn diễn tả được tính chất của từng thành phần trong mô hình. Mô hình không hoàn toàn là một vật thể hiện thực nhưng nó giúp cho chúng ta hiểu rõ hơn hệ thống thực tế.*
- *Mô hình hóa môi trường là ngành khoa học mô phỏng hiện tượng lan truyền chất ô nhiễm và các dự báo thay đổi môi trường theo không gian và thời gian.*

Ví dụ 1.1: Các nhà thiết kế tạo ra một mẫu xe hơi sử dụng năng lượng mặt trời thu nhỏ để thử nghiệm khả năng hoạt động cũng như các tiện ích và an toàn trước khi chế tạo hàng loạt (hình 1.1).



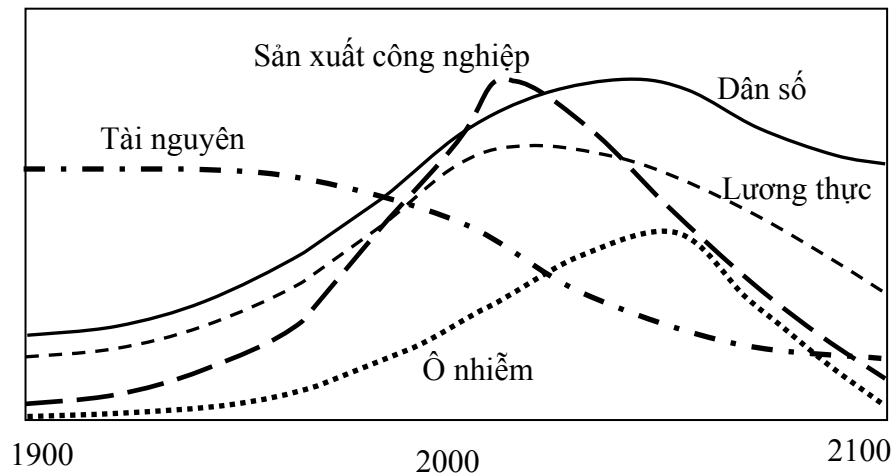
Hình 1.1. Mô hình xe hơi thử nghiệm sử dụng năng lượng mặt trời

Ví dụ 1.2: Để thể hiện sự thay đổi lượng nước trong một hồ chứa người ta đưa ra hình ảnh như hình 1.2. Biết kích thước hình học của hồ chứa, lưu lượng vào, lưu lượng ra, chúng ta có thể xác định dao động mực nước trong hồ.



Hình 1.2. Mô hình thể hiện sự thay đổi khối lượng nước trong hồ chứa

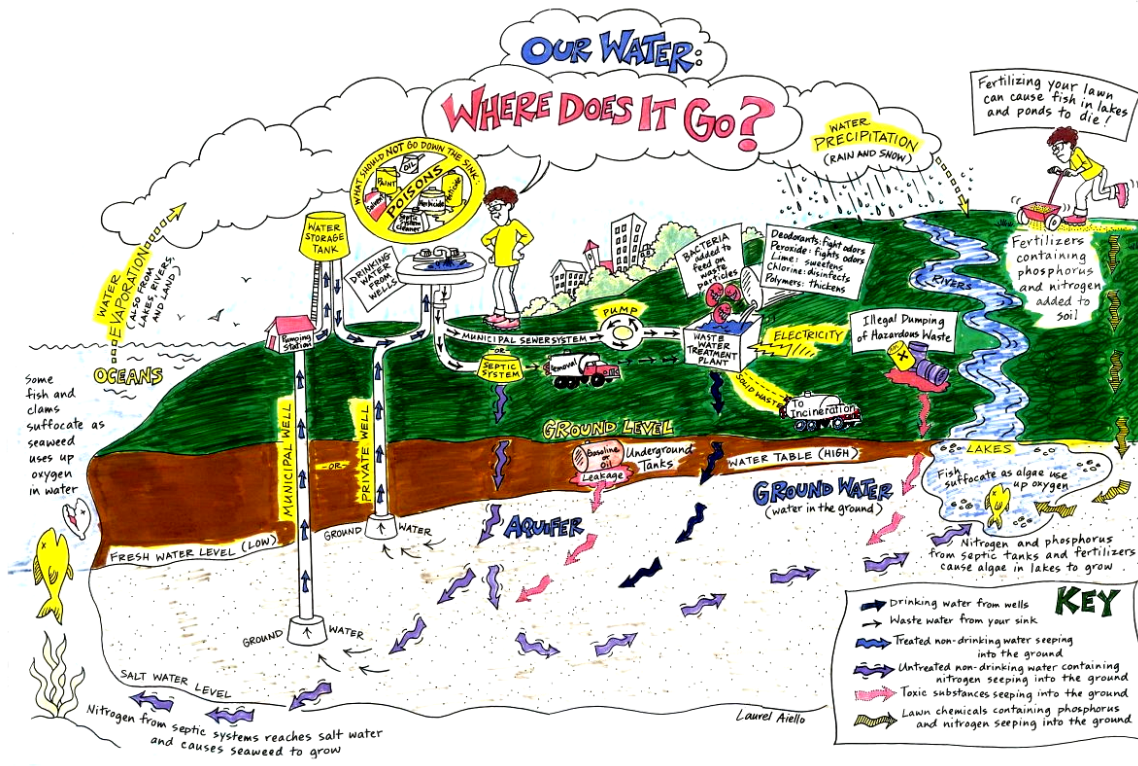
Ví dụ 1.3: Nhà khoa học Meadows và các cộng sự (1972) đã tìm được mối quan hệ giữa sự gia tăng dân số, việc sản xuất lương thực, sản xuất công nghiệp, nguồn tài nguyên và mức độ ô nhiễm đều có những quan hệ với nhau. Nhóm nghiên cứu đã đưa ra mô hình dự báo thế giới như hình 1.3.



Hình 1.3. Mô hình dự báo tình hình thế giới đến năm 2100

1.2.2 Mục tiêu thành lập mô hình

Diễn biến mô trường rất phức tạp trong thực tế và liên quan đến nhiều lĩnh vực khoa học khác (hình 1.3). Do nhu cầu hiểu rõ hơn bản chất tự nhiên của sự việc trong thực tế, các nhà khoa học mới tìm cách đơn giản hóa nhưng vẫn đề phức tạp ở mức có thể làm được nhưng không quá xa rời thực tế để có cơ sở giải thuật tìm hướng ra của vấn đề và tiến toán nhưng khả năng xảy ra trong tương lai.



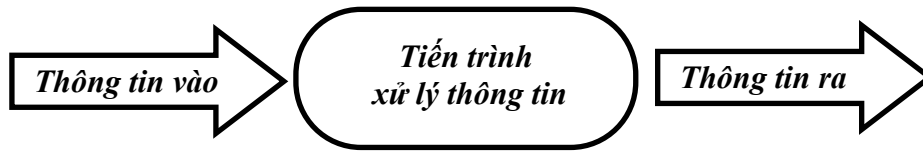
Hình 1.4. Đường đi của các chất gây ô nhiễm trong vòng tuần hoàn nước

Có 3 mục tiêu khi thực hiện một mô hình:

- **Tạo cơ sở lý luận**
 - Mô hình giúp ta dễ diễn tả hình ảnh sự kiện hoặc hệ thống;
 - Mô hình mang tính đại diện các đặc điểm cơ bản nhất của sự thể;
 - Mô hình giúp ta cơ sở đánh giá tính biến động một cách logic khi có tác động bên ngoài vào hoặc từ trong ra.
- **Tiết kiệm chi phí và nhân lực**
 - Mô hình giúp ta thêm số liệu cần thiết;
 - Mô hình giúp giảm chi phí lấy mẫu;
 - Mô hình có thể được thử nghiệm với các thay đổi theo ý muốn.
- **Mô hình tạo mẫu** cho những triển khai sản xuất hàng loạt.

1.2.3 Đặc trưng cơ bản của một mô hình

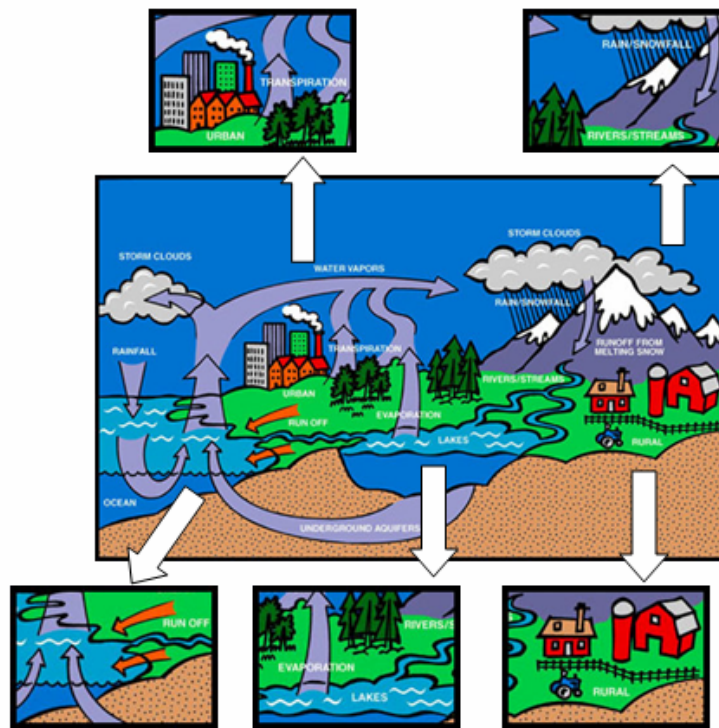
Một cách tổng quát, tất cả các mô hình phải có 3 thành tố chính như hình 1.5:



Hình 1.5. Ba thành tố chính của một mô hình

- **Thông tin vào:** bao gồm các dạng cơ sở dữ liệu đưa vào để mô hình xử lý
- **Tiến trình xử lý thông tin:** bao gồm quá trình tiếp nhận dữ liệu vào, tính toán, phân tích, đánh giá và xuất dữ liệu.
- **Thông tin ra:** thể hiện ở dạng đồ thị, biểu bảng, báo cáo đánh giá kết quả.

Trong điều kiện chưa thể giải quyết toàn bộ bài toán phức tạp của tự nhiên, người ta có thể chia hiện tượng thực tế thành các mảng đề tài khác nhau và mỗi phần chia được xem như một bài toán riêng rẽ và có mô hình tương ứng của nó. Ví dụ chúng ta có thể chia các diễn biến dòng chảy quá trình trong một chu trình nước thành từng đề tài nhỏ hơn như hình 1.6.

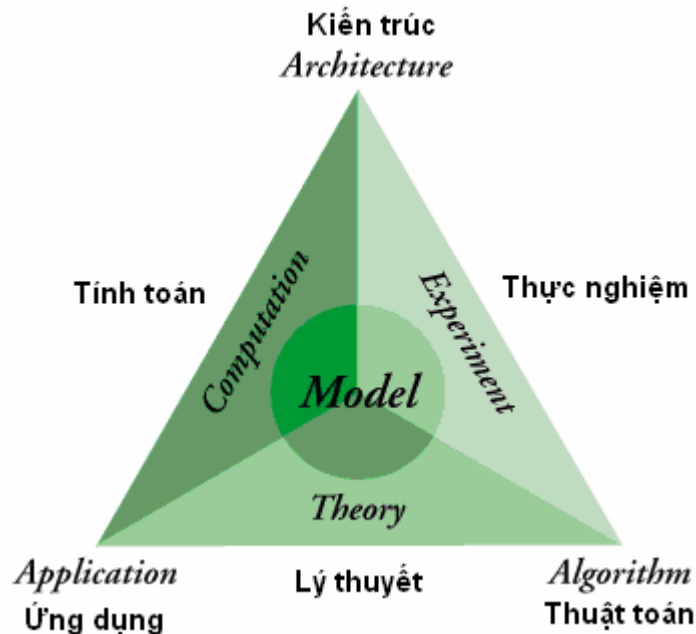


Hình 1.6: Chia vấn đề lớn thành từng vấn đề riêng rẽ

Một mô hình cần thể hiện các đặc trưng sau:

- Mô hình cần được tối giản với một số giả định đặt ra
- Điều kiện biên hoặc điều kiện ban đầu cần định danh;
- Mức độ khả năng ứng dụng của mô hình có thể xác lập được.

Mô hình thường áp dụng theo kiểu khung khái quát theo ngành khoa học tính toán, mang tên là 3A, viết tắt từ 3 chữ **Application** (ứng dụng), **Algorithm** (thuật toán), và **Architecture** (kiến trúc) theo hình vẽ 1.7 sau:



Hình 1.7: Khái quát mô hình theo khoa học tính toán

Ba phần cơ bản của mô hình là:

1. **Ứng dụng mô hình** (*Application of a model*): Mục tiêu của việc sử dụng mô hình là chỉ ra việc ứng dụng của nó. Xác định phạm vi ứng dụng nói lên tầm quan trọng của mô hình trong thực tiễn. Ví dụ ứng dụng mô hình giúp ta xác định thông tin có bao nhiêu đạm ammonia chuyển thành đạm nitrogen trong không khí, hoặc có bao nhiêu lượng nước chảy tràn trên mặt đất sau một trận mưa bão. Nói cách khác, ứng dụng mô hình giúp ta trả lời câu hỏi: Đây là những gì ta muốn mô phỏng, bây giờ ta sẽ làm việc mô phỏng đó bằng cách nào?
2. **Thuật toán mô hình** (*Algorithm of a model*): Thuật toán mô hình cho ta biết cách tiếp cận kỹ thuật tính toán hay phương pháp tính, liên quan đến các phương trình, các thông số mà chúng ta muốn đưa vào chứng trình máy tính.
3. **Kiến trúc mô hình** (*Architecture of a model*): Kiến trúc hay cấu trúc mô hình xác định kiểu hình nào mà mô hình sẽ sử dụng, loại máy tính nào, chương trình nào sẽ được sử dụng các thông tin để xử lý.

Việc áp dụng mô hình toán học giúp giải quyết các khó khăn trong thực tế như:

- sự kiện xảy ra quá nhanh (như các phản ứng phân tử trong hóa học);
- sự kiện xảy ra quá chậm (như sự phát triển động học dân số hoặc quần thể);
- các thực nghiệm đắt tiền khi làm ở phòng thí nghiệm (như mô hình hàm gió);
- các thực nghiệm rất nguy hiểm (thực nghiệm vụ nổ nguyên tử).

1.3 Mô hình môi trường

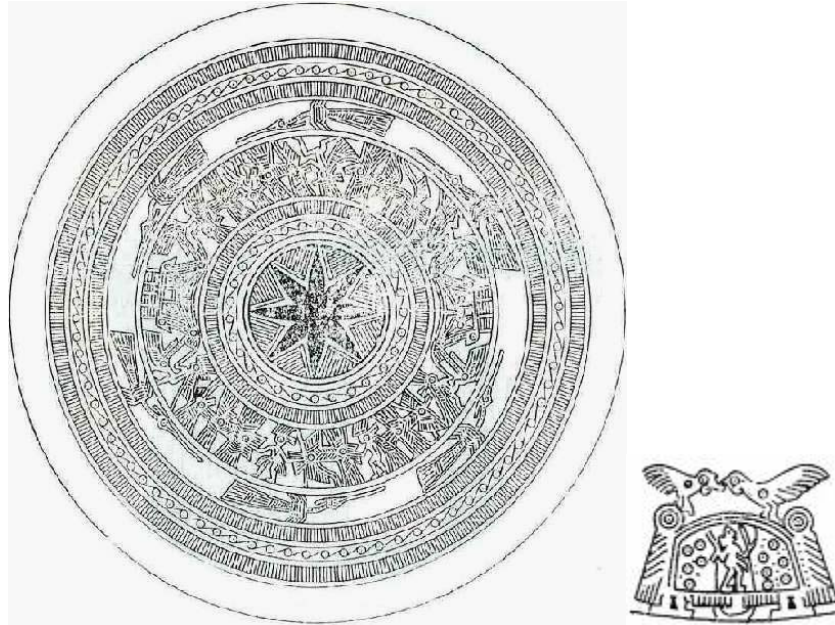
- Mô hình hóa môi trường là ngành khoa học cung cấp các công cụ ở dạng hình ảnh, sơ đồ, biểu đồ, phần mềm, hay sa bàn, ... để chuyển các hiểu biết từ các đo đạc thực tế của một khu vực nghiên cứu thành các lý giải cần thiết cho nhu cầu thông tin và tiên đoán diễn biến của môi trường – sinh thái.
- Mô hình môi trường là một mô tả đơn giản cho các quan hệ phức tạp về môi trường sinh thái ở ngoài thực tế nhưng vẫn có thể cho các kết quả chính xác ở mức độ chấp nhận được.
- Một mô hình môi trường phải cung cấp một đại lượng dữ liệu thể hiện theo sự thay đổi thời gian qua:
 - (i) sự quan sát (*observation*);
 - (ii) sự phân tích (*analysis*); và
 - (iii) sự tiên đoán (*prediction*).
- Một mô hình môi trường có thể là một giao tiếp giữa dữ liệu và tạo quyết định. Mô hình tạo ra các thông tin từ dữ liệu quan trắc và cải tiến kiến thức giúp cho việc ra quyết định liên quan đến việc quy hoạch, thiết kế, vận hành và quản lý.
- Một mô hình môi trường thường kết hợp các định luật và phương trình sau:
 - Định luật vật lý (như định luật Darcy, định luật bảo toàn khối lượng, ...)
 - Phương trình toán học quan hệ (như phương trình Penmen về bốc thoát hơi, phương trình cân bằng nước)
 - Các quan hệ thực nghiệm (như các công thức kinh nghiệm, ...)

1.4 Lịch sử mô hình

Từ xa xưa vào thời tiền sử con người đã nghĩ rằng có thể tạo ra một mô phỏng tối giản để phát họa hình ảnh những khuôn dạng người để có một sắp xếp xem xét sự tiến hóa của các nhóm chủng người. Những bức phát họa con người và các cách sinh hoạt của họ ở các vách hang đá cho ta hình dung nền văn hóa người Cổ Cận Đông và Cổ Hy Lạp.

Một trong các mô hình đầu tiên được công nhận là các con số; số đếm và số viết được ghi lại trên các mảnh xương đã được tìm thấy vào khoảng 30.000 năm trước Công nguyên. Ngành Thiên văn và Kiến trúc đã để lại những ghi chép mô hình các vì sao, công trình nhà cửa từ 4.000 năm trước Công nguyên. Vào khoảng 2.000 năm trước Công nguyên, ít nhất ba nền văn hóa Babylon, Ai Cập và Ấn Độ đã biết cách sáng tạo và phát triển các bài toán và ứng dụng “mô hình toán” trong cuộc sống thường nhật của họ. Phần lớn các bài toán của họ là các thuật toán được đề xuất để giải các vấn đề đặc biệt.

Tương tự, ở Việt Nam các hình ảnh để lại trên Trống đồng Đông Sơn cho chúng ta nghĩ đến một mô phỏng các điệu múa, y phục và các sinh hoạt săn bắt của người Việt Cổ trong khoảng thời gian từ thế kỷ thứ 6 đến thế kỷ thứ 7 trước Công nguyên (Hình 1.8).



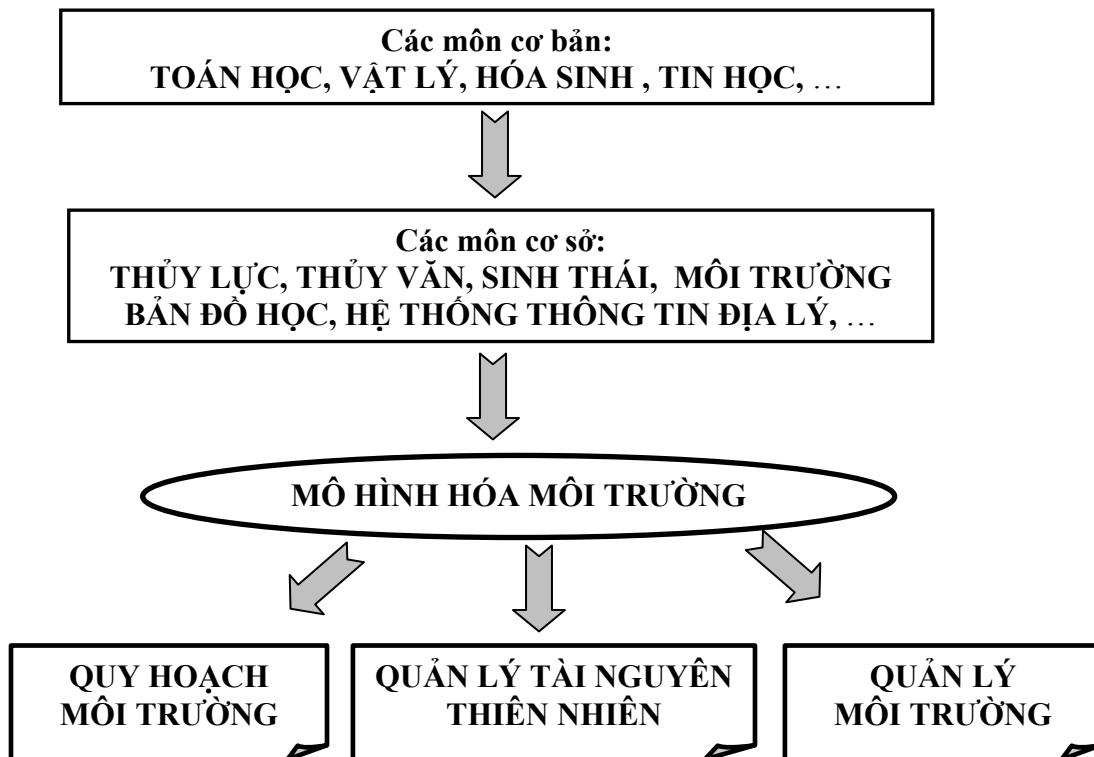
Hình 1.8: Mặt trên của trống đồng Đông Sơn (hình trái); một hình khắc mô phỏng hình ảnh hai con chim đậu trên mái nhà của con người (hình phải)

Sự phát triển của ngành triết học trong thời kỳ văn minh Hy Lạp (*Hellenic Age*) (khoảng 600 năm trước Công nguyên) đã kết hợp với toán học dẫn đến phương pháp suy diễn (*deductive method*), sau đó trở thành một phần quan trọng trong lý thuyết toán học. Trong thời kỳ này, hình học đã bắt đầu hình thành và phát triển. Nhà toán học Thales đã áp dụng hình học để tiên đoán hiện tượng nhật thực (*solar eclipse*) vào năm 585 trước Công nguyên. Thales cũng đã phát minh ra cách đo chiều cao một vật thể bằng cách đo chiều dài của cái bóng của vật thể in trên nền đất. Vào khoảng năm 250 trước Công nguyên, Euclid đã dùng một mô hình toán hình học để tìm khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trời và khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trăng. Ông cũng tính được chu vi của Trái đất. Ngành thiên văn học cổ cũng đã biết tạo ra các mô hình để diễn tả các vì sao trong thái dương hệ. Các nhà kiến trúc khi xây dựng công trình cổ xưa ở Trung Hoa, Ấn Độ, các nước theo đạo Hồi đã để lại những chứng tích các mô hình đền đài, công trình thu nhỏ như là những phương pháp tương tự (*similar method*), một hình thức của mô hình tỷ lệ, trước khi xây dựng các công trình thực. Các nền văn minh ở Châu Á cũng chứng tỏ sự phát triển mô hình vật lý đi song song với các mô hình toán học trong các công trình kiến trúc của họ.

Từ thế kỷ 20 trở đi, song song với sự phát triển của ngành toán học, vật lý, đặc biệt là sự ra đời của máy tính điện tử đã thúc đẩy sự phát triển nhanh chóng của thuật toán mô hình. Nhiều công ty phần mềm chuyên sản xuất ra các công cụ mô hình phục vụ cho nhiều lĩnh vực từ khoa học kỹ thuật, kinh tế, môi trường, khí tượng, thủy văn, quản lý hành chính đến các lãnh vực quan hệ xã hội, ... Có thể nói, ngày nay kỹ thuật mô hình đang càng ngày chứng tỏ vai trò trong việc tạo điều kiện cho con người hiểu biết sâu hơn về thế giới của mình mà con tiên toán những tình thế có khả năng xảy ra trong tương lai.

1.5 Quan hệ môn học

Môn học “Mô hình hóa môi trường” là môn học chuyên ngành giảng dạy cho sinh viên năm thứ ba và năm thứ tư các ngành học “Khoa học Môi trường”, “Quản lý Môi trường” và “Kỹ thuật Môi trường”. Các môn học cơ bản như Toán học, Vật lý, Tin học, Sinh học, Thống kê,... là các môn học nền cho môn học. Tiếp theo các môn cơ sở như Sinh thái học, Hoá Sinh Môi trường, Thủy lực, Thủy văn, Bản đồ học, GIS và Viễn thám,sẽ là các môn học tiên quyết cho môn học “Mô hình hóa môi trường”. Môn học “Mô hình hoá môi trường” sẽ là môn học hỗ trợ cho các môn học liên quan đến Quy hoạch và Quản lý Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên (hình 1.9).



Hình 1.9: Quan hệ môn học “Mô hình hóa môi trường” với các môn khác

Chương 2. PHÂN LOẠI VÀ TIẾN TRÌNH MÔ HÌNH

2.1 Phân loại mô hình

2.1.1 Mục đích phân loại mô hình

Có nhiều cách phân loại mô hình môi trường, việc phân loại có thể dựa vào đặc điểm tính toán, cách mô phỏng, phương pháp vận hành, phép so sánh hoặc dựa vào giả định. Việc phân loại mô hình nhằm:

- Thể hiện ý tưởng kiểu mô phỏng nào được sử dụng
- Trình bày phương pháp và mức độ toán học ứng dụng
- Biểu hiện dạng xuất kết quả của mô hình
- Đề xuất loại dữ liệu nào cần đưa vào để có thông tin
- Định danh thành phần nào trong hệ thống cần mô phỏng

2.1.2 Các nhóm mô hình

Một mô hình có thể có các tên gọi khác nhau, tùy theo tác giả, như là:

- Mô hình vật lý (*physical model*)
- Mô hình toán học (*mathematical model*)
- Mô hình số (*numerical model*)
- Mô hình giải tích (*analysis model*)
- Mô hình xác định (*deterministic model*)
- Mô hình khái niệm (*conceptual model*)
- Mô hình ngẫu nhiên (*stochastic model*)
- Mô hình tham số (*parametric model*)
- Mô hình ổn định (*steady-state model*)
- Mô hình bất ổn định (*unsteady-state model*)
- Mô hình dựa vào các giả định sinh hóa (*biochemical assumption model*)
- Mô hình đánh giá tác động (*impact assessment model*)
- Mô hình dự báo (*forecast model*)
- v.v....

Một mô hình có thể phân loại theo quy mô ứng dụng:

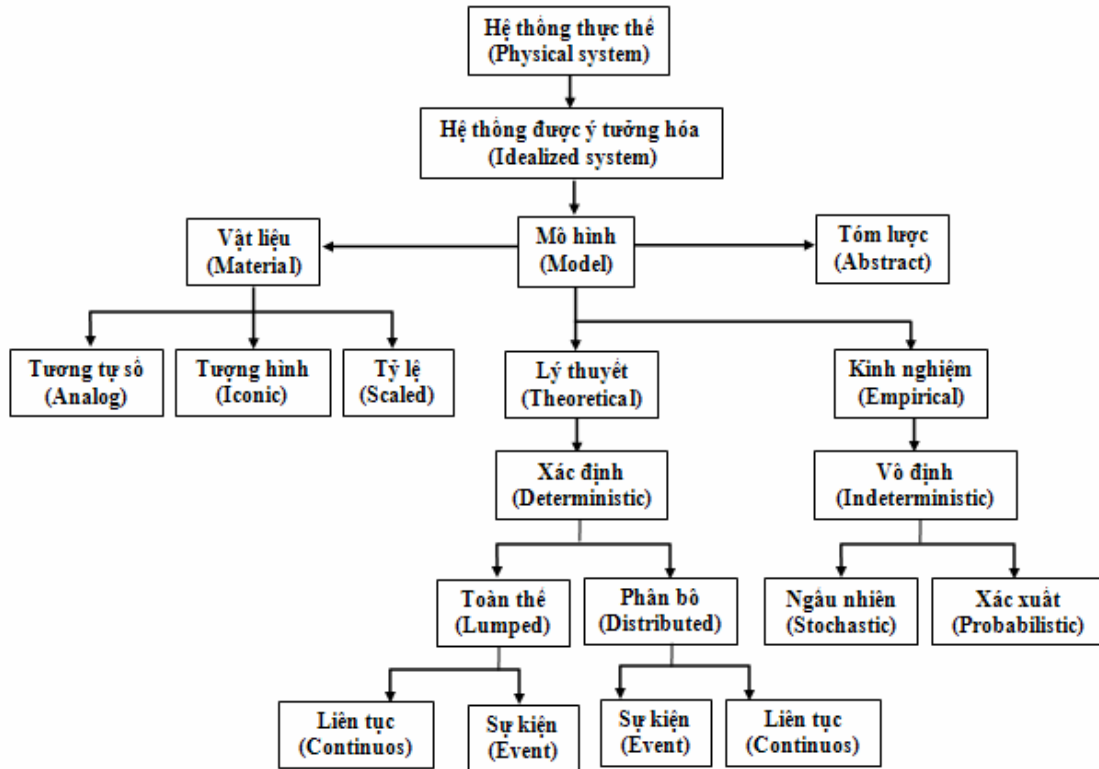
- Theo không gian (*spatial*): ở một vùng nhỏ hay một khu vực lớn.
- Theo thời gian (*temporal*): ngắn hạn hay dài hạn
- Theo giá trị mô hình (*model validity*): cho giới hạn độ chính xác của mô hình
- Theo giá trị của dữ liệu (*data validity*): tùy theo mức độ và quy mô thu thập dữ liệu (ví dụ lấy mẫu theo một điểm đo cục bộ, hay lấy nhiều mẫu trong một khu vực lớn).

Nếu dựa vào cấu trúc, mô hình có thể có 3 nhóm:

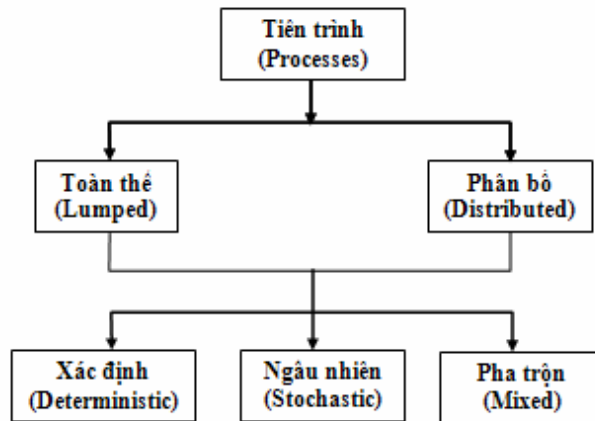
- ❖ **Mô hình “hộp trắng”** (*white box*): là mô hình mà người sử dụng có thể thấy – hiểu tất cả các tiến trình tính toán xảy ra, quá trình trữ dữ liệu, thông tin phản hồi/phản tiến. Nhóm mô hình này thường dùng các phương trình vi phân riêng (*partial differential equation*) chủ đạo các thay đổi tiến trình vật lý và phương trình liên tục (*equations of continuity*) cho các dòng nước mặt và nước trong đất. Mô hình vật lý và mô hình xác định nằm trong nhóm mô hình “hộp trắng”.
- ❖ **Mô hình “hộp đen”** (*black box*): là mô hình mà người sử dụng chỉ biết đầu vào (*inputs*) và đầu ra (*outputs*) mà hoàn toàn không biết những gì xảy ra bên trong quá trình chuyển hoá trong mô hình. Dữ liệu đầu vào và dữ liệu đầu ra là những giá trị mang ý nghĩa vật lý. Thường các nhà giải thuật dùng các phương trình toán học đơn và phép phân tích chuỗi thời gian (*time series*) để tạo ra mô hình “hộp đen”. Mô hình ngẫu nhiên nằm trong nhóm này.
- ❖ **Mô hình “hộp xám”** (*grey box*): là mô hình mà người sử dụng hiểu được một phần tiến trình xử lý dữ liệu. Mô hình tham số và mô hình khái niệm thuộc nhóm mô hình “hộp xám”.

Mô hình môi trường, đặc biệt là môi trường nước, thường mang ít nhiều đặc điểm của một mô hình thủy văn học (*hydrological model*) có thể phân loại như hình 2.1 và được giải quyết theo 3 kiểu mô tả:

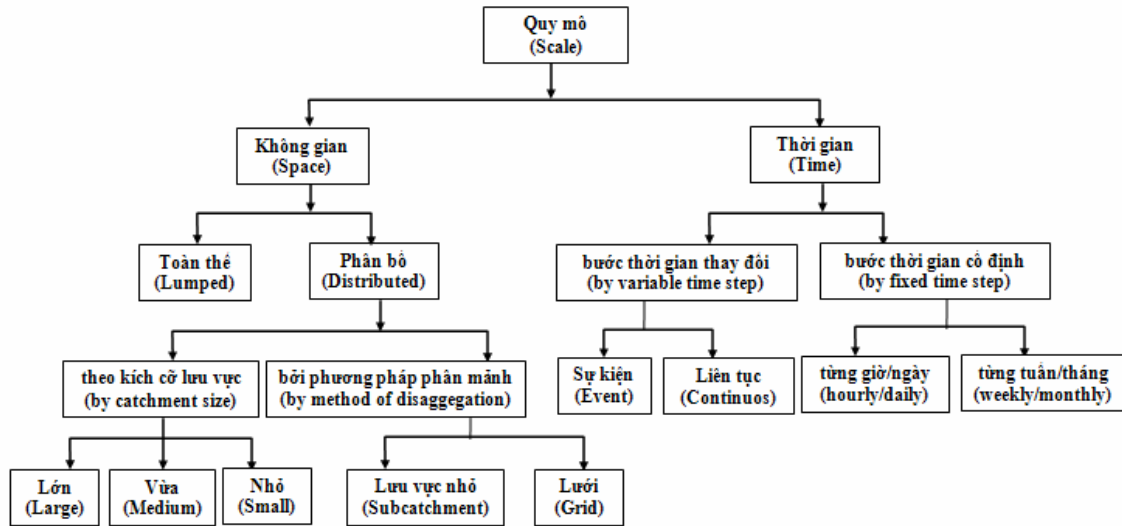
- Tiến trình của mô hình (*process*); (hình 2.2)
- Tỷ lệ thời gian và không gian (*time and space scales*); (hình 2.3)
- Kỹ thuật giải toán (*solution techniques*); (hình 2.4)



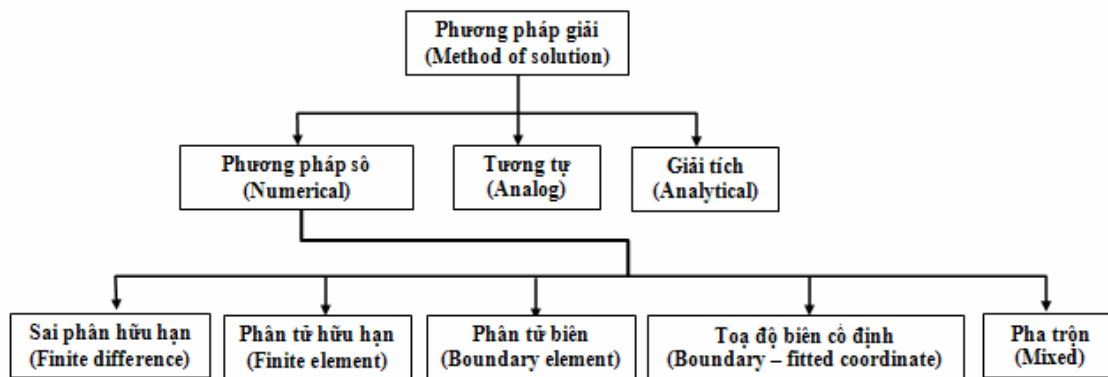
Hình 2.1. Phân loại mô hình tổng quát (theo Tim, 1995)



Hình 2.2. Phân loại mô hình dựa theo mô tả tiến trình (theo Singh, 1995)



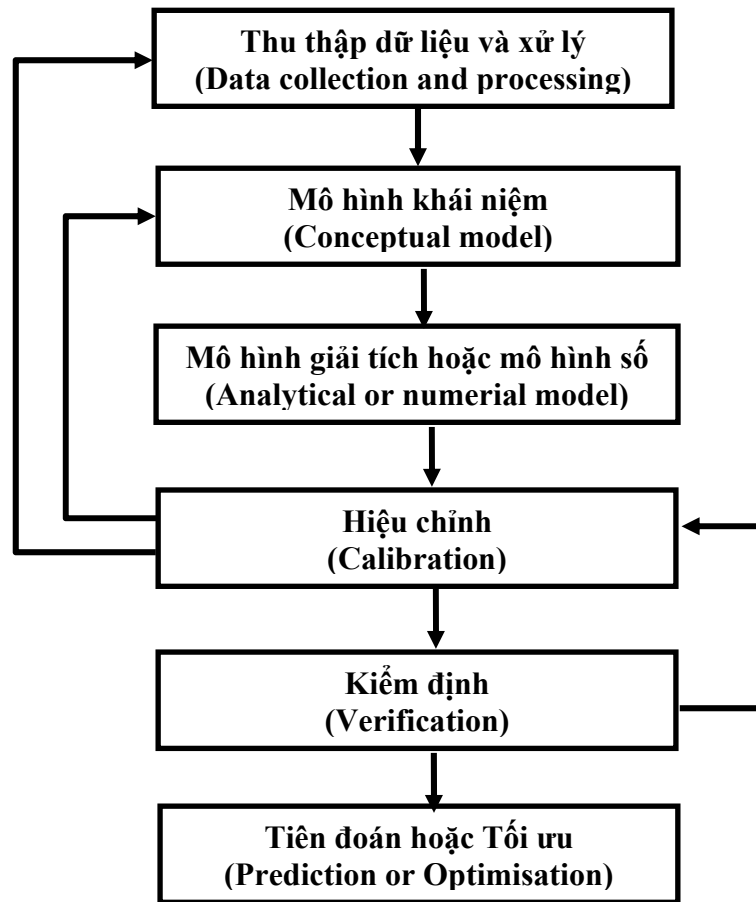
Hình 2.3. Phân loại mô hình dựa vào quy mô không gian và thời gian (theo Singh, 1995)



Hình 2.4. Phân loại mô hình dựa vào phương pháp giải toán (theo Singh, 1995)

2.2 Tiến trình vận hành mô hình

Tất cả các phần mềm mô hình thường được vận hành và thử nghiệm theo một tiến trình tổng quát như hình 2.5 sau:



Hình 2.5. Tiến trình của một mô hình

2.2.1 Thu thập dữ liệu

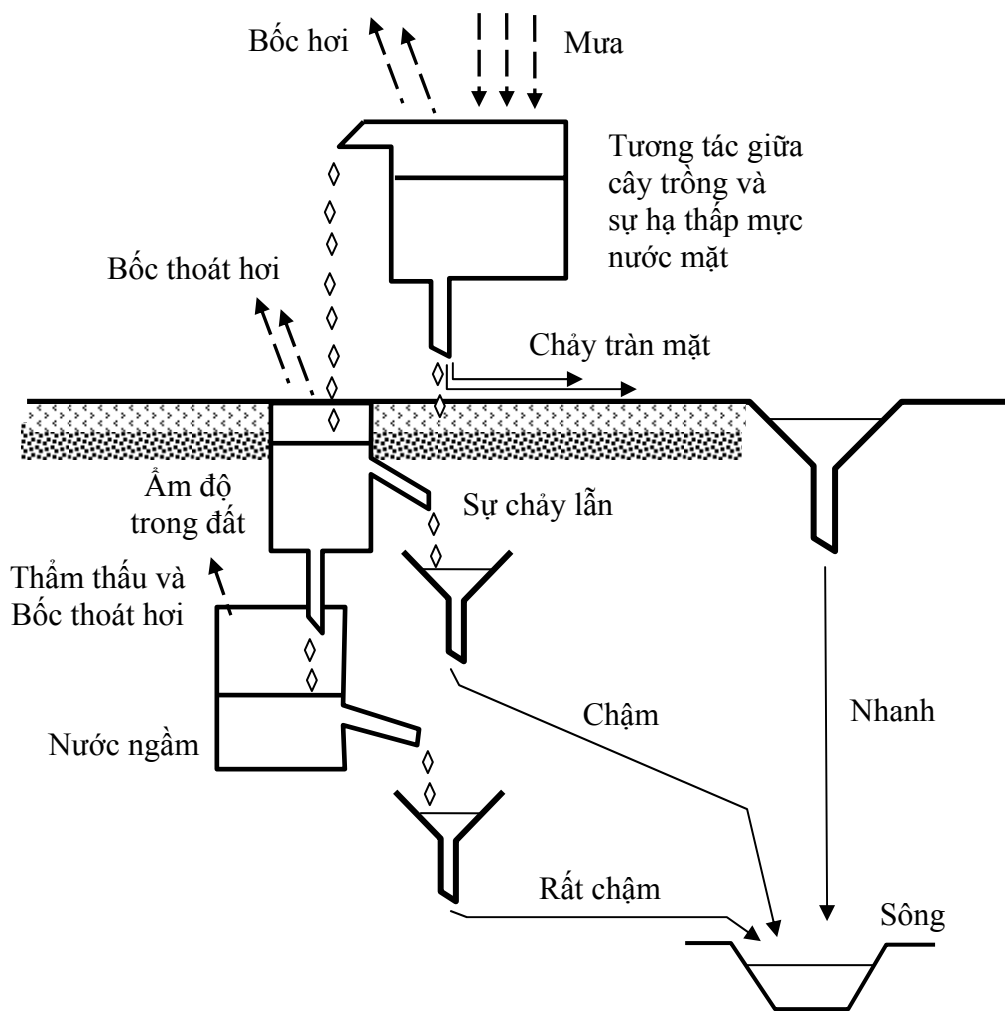
Tất cả các mô hình muốn vận hành được đều phải có nguồn dữ liệu ban đầu và các điều kiện cần thiết (điều kiện biên và điều kiện ban đầu). Các dữ liệu thường bao gồm số liệu địa hình (cao độ, độ dốc,...), các kích thước lưu vực cần tính toán (chiều dài, chiều rộng, diện tích,...), các diễn biến về khí tượng (mưa, bốc hơi, bức xạ, vận tốc và hướng gió,...), nguồn ô nhiễm (nhà máy, khu dân cư, ruộng vườn, hầm mỏ, khu công nghiệp...), các biến số môi trường (pH, nhiệt độ, độ mặn, độ đục, nhu cầu oxy sinh hóa, các chất phú dưỡng, vi khuẩn,...), các thông số liên quan, ... tương ứng với chuỗi thời gian xuất hiện hoặc không gian xuất phát.

2.2.2 Mô hình khái niệm

Mô hình khái niệm là một dạng ý tưởng hoá nhằm tối giản những yếu tố phức tạp ngoài thực tế ở dạng một lưu đồ hoặc sơ đồ. Trong đó các mũi tên được sử dụng để chỉ các mối

quan hệ hoặc chiều hướng diễn biến. Các lời ghi chú bên các hình ảnh để thuyết minh thêm tính chất của sự vật hoặc quá trình hoặc các thông số của mô hình. Hình 2.6 là một ví dụ về mô hình khái niệm của Beater (1989) để diễn tả chuyển vận của nước trong mô hình quan hệ mưa – dòng chảy.

Trong mô hình khái niệm phải bắt đầu từ các dữ liệu nhập vào, các diễn biến bên trong mô hình và các thông tin xuất ra từ mô hình. Một hình khái niệm phải thể hiện tính đơn giản để tạo cho những người không phải là chuyên gia về mô hình có thể hiểu mục tiêu của bài toán mô hình.



Hình 2.6. Mô hình khái niệm diễn tả quan hệ mưa – dòng chảy (Beater, 1989)

Một số ưu điểm, thế mạnh và tính hữu hiệu của mô hình khái niệm:

- Mô hình khái niệm có thể được hình thành một cách đơn giản bởi người tạo ra nó có thể chưa hiểu hết tất cả các hiện tượng phức tạp trong thực tế.
- Có thể đơn giản hóa tính bất nhất của các thông số thành tính đồng nhất.

- Có thể giảm thiểu được số liệu yêu cầu.
- Dễ dàng cho người xem hiểu cách thu thập số liệu, thông tin sử dụng một cách nhanh chóng và ít tốn kém.
- Mô hình khái niệm là một công cụ kỹ thuật cho các lập trình viên hiểu vấn đề phải giải quyết mà không cần phải là một chuyên gia môi trường.
- Mô hình khái niệm tạo thuận lợi cho việc diễn giải trong thuyết minh, biểu bảng, đề thi.
- Có thể tạo ra một giao tiếp với cơ sở dữ liệu và hệ thống thông tin địa lý (GIS).

Tuy nhiên, mô hình khái niệm vẫn có những nhược điểm và giới hạn:

- Mô hình khái niệm là một khái quát nhân tạo và phi vật lý qua các tối giản nên có thể không đưa ra hết những quan hệ tương tác giữa các đối tượng.
- Những người thiếu kinh nghiệm có thể tạo ra các giả thiết phi thực tế hoặc quá đơn giản.
- Mô hình khái niệm mang tính tổng quát nên đôi khi bỏ sót các phương án vận hành.
- Mô hình khái quát thường không thể thể hiện cách điều chỉnh sai số hoặc ngoại suy trong trường hợp thiếu dữ liệu.
- Khi cần bổ sung mô hình hoặc tái cấu trúc mô hình có thể tạo ra một tình trạng quá gò bó thông số.

2.2.3 Mô hình giải tích hoặc mô hình số

Một bài toán trong mô hình thường được biểu thị sự hiện diện của các thông số và biến số. Thông số (*parameter*) là những hệ số gia trọng, không có thứ nguyên. Biến số (*variable*) là các đại lượng vật lý có ý nghĩa, thường có thứ nguyên.

Mô hình giải tích (hoặc mô hình số) thực chất là một loạt các thuật toán được viết để giải quyết các quan hệ giữa các thông số và biến số trong mô hình và cho ra kết quả dưới dạng số hoặc đồ thị. Đây là phần cốt lõi, quan trọng nhất và là phần phức tạp nhất trong tiến trình thực hiện mô hình hóa.

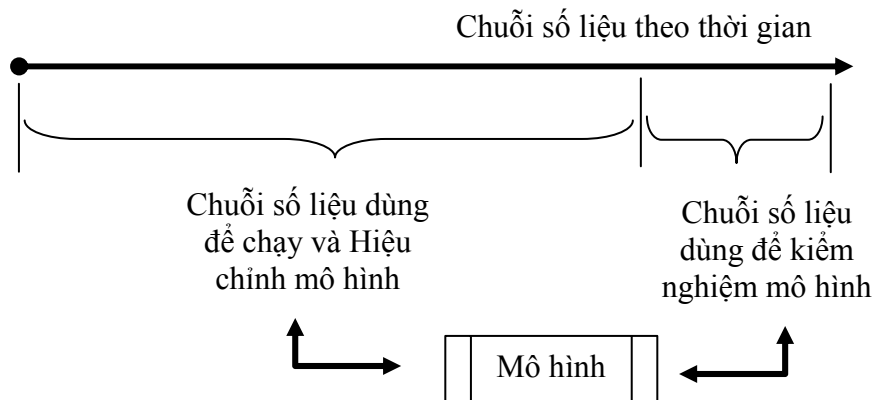
2.2.4 Hiệu chỉnh mô hình

Hiệu chỉnh (*calibration*) là tiến trình mà trong đó các thông số và biến số của mô hình được điều chỉnh để kết quả ra của mô hình phù hợp với thực tế quan sát được. Do khi phát triển mô hình, chúng ta phải tối giản các hiện tượng vật lý trong tự nhiên để thuận lợi cho người làm thật toán. Điều này khiến các số liệu nhập vào mô hình có những giá trị không hoàn toàn chắc chắn và kết quả ra sẽ sai biệt với thực tế. Hiệu chỉnh là công việc nhằm rút ngắn các khoảng cách sai biệt bằng cách đưa ra các thông số điều chỉnh gọi là thông số mô hình (*model parameters*).

2.2.5 Kiểm nghiệm mô hình

Kiểm nghiệm mô hình là bước tiếp sau công việc Hiệu chỉnh mô hình nhằm kiểm tra các thông số mô hình đưa ra có phù hợp với các diễn biến của thực tế hay không.

Ví dụ trong khảo sát diễn biến trong quan hệ mưa – dòng chảy trong nhiều năm, người ta cắt chuỗi số liệu quan trắc ra thành 2 đoạn: đoạn số liệu dài ban đầu dùng để chạy mô hình và Hiệu chỉnh mô hình. Đoạn số liệu thứ hai sau ngắn hơn dùng làm kiểm nghiệm kết quả mô hình cho đoạn trước (hình 2.7).



Hình 2.7 Minh họa việc phân đoạn chuỗi số liệu theo thời gian để Hiệu chỉnh và thử nghiệm khi chạy mô hình

2.2.6 Tiên đoán hoặc tối ưu

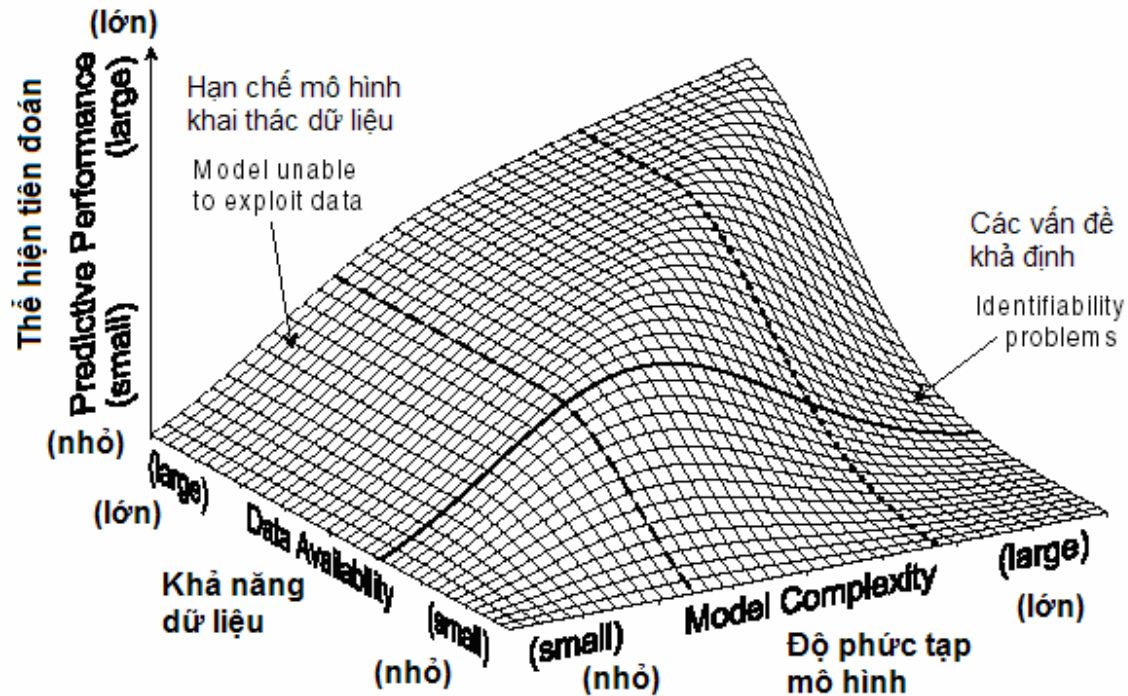
Thông thường mô hình được sử dụng cho mục tiêu tiên đoán các diễn biến các biến số trong tương lai hoặc tối ưu hóa việc chọn lựa.

Trong tiên đoán, như các mô hình về khí hậu hoặc mô hình lan truyền ô nhiễm, các thuật toán ngoại suy (*extrapolation*) được sử dụng để kéo dài kết quả ở đầu ra. Trong bài toán lựa chọn tối ưu, các giá trị cực trị ở đầu ra được chọn cho quyết định.

2.3 Tiêu chuẩn chọn lựa mô hình

2.3.1 Khái niệm

Trong suốt vài thập niên qua, nhiều mô hình khác nhau đã được phát triển trên thế giới. Thông thường mỗi mô hình thường có các thế mạnh riêng và các nhược điểm nhất định. Khó có thể có một mô hình chuẩn mực nào cho tất cả các trường hợp thực tế. Điều này thường gây sự bối rối cho người sử dụng khi phải lựa chọn mô hình phù hợp cho mình. Khái niệm mô hình tốt nhất thường được hiểu một cách tương đối. Về nguyên tắc, mô hình càng phức tạp, dữ liệu nhập vào càng nhiều thì kết quả thể hiện mô hình càng cao (hình 2.8).



Hình 2.8 Biểu đồ minh họa quan hệ giữa độ phức tạp của mô hình, mức đòi hỏi của dữ liệu và khả năng thể hiện kết quả tiên đoán của mô hình (Grayson and Bloschl, 2000)

2.3.2 Mô hình "tốt nhất"

- Các phương pháp mục tiêu tổng thể để chọn mô hình “tốt nhất” thật ra chưa được phát triển, do vậy việc chọn mô hình cũng là một phần “nghệ thuật” của người nghiên cứu mô hình (Woolhiser and Brakensiek, 1982).
- Mô hình “tốt nhất” tùy thuộc vào cách hiểu tiêu chuẩn nào là “tốt nhất”. Điều này tùy thuộc vào mức chính xác của yêu cầu khoảng thời gian quan trắc, ví dụ thời đoạn lấy mẫu nước theo giờ, ngày, tháng hoặc mùa. Mặc khác, chuẩn “tốt nhất” còn tùy theo mức độ dày mặt của kích thước không gian mẫu. Khoảng cách càng nhỏ thì mức chính xác càng cao.
- Theo tác giả Woolhiser và Brakensiek (1982) việc chọn mô hình “tốt nhất” tùy thuộc vào độ lớn về kích thước tự nhiên của bài toán và sự phức tạp trong thay đổi các biến số. Do vậy, đặc điểm của mô hình phải tương thích với yêu cầu của bài toán.

2.3.3 Chọn mô hình theo cấu trúc và giá trị vào/ra

Nhiều nhà nghiên cứu về mô hình đã đề xuất việc chọn lựa mô hình phải dựa vào cấu trúc của mô hình và giá trị của dữ liệu ở đầu vào và đầu ra. Các lựa chọn này bao gồm:

- *Sự khái quát hóa của các tiến trình chủ yếu:* Mô hình phải phản ánh “ý tưởng” đúng theo thực tế lên quan đến các tiến trình chính (Popov, 1968). Sơ đồ khái quát phải thể hiện được các bộ phận cấu thành mô hình diễn biến theo một tiến trình mang tính lý thuyết chứ không đơn thuần chỉ là các kết nối đơn giản.
- *Mức độ chính xác cho việc tiên đoán, dự báo:* độ chính xác của việc tiên toán ở kết quả đầu ra rất quan trọng. Mô hình phải được kiểm nghiệm bằng một phương cách nào đó sao cho sai số thống kê và những yếu tố không chắc chắn của mô hình đạt được một chất lượng nhất định. Mô hình phải tối thiểu hóa thể xu hướng và biến sai số phải xem là nhỏ hơn các tính toán khác. Điều này cũng thể hiện tính chính xác của dữ liệu nhập vào. Tuy nhiên, mức chính xác của dữ liệu nhập vào quan trọng hơn là mức chính xác của dự báo do mô hình tạo ra (Hillel, 1986).
- *Tính đơn giản của mô hình:* Mô hình cần được tối giản nhằm giảm bớt các biến số và thông số để mô tả các tiến trình. Càng ít các thông số để điều chỉnh thì càng dễ cho người sử dụng. Mô hình cũng cần tạo sự dễ dàng cho việc nhập dữ liệu, hiểu rõ các biến số và kết quả ra có thể giải thích được. Mô hình nên tránh sự thô kệch, rườm rà, làm việc xử lý trở nên khó khăn, phức tạp và sai số lớn (Tim, 1995).
- *Xem xét việc thành lập các thông số:* Đây là một xem xét quan trọng trong việc phát triển các mô hình khái niệm sử dụng các thông số được thành lập bằng các kỹ thuật tối ưu hóa. Nếu các giá trị tối ưu của thông số có độ nhạy cao theo thời kỳ ghi nhận, hoặc nếu các thông số có sự biến động lớn giữa các lưu vực tương tự, mô hình có nhiều khả năng thiếu hiện thực. Việc xem xét sự thành lập các thông số cũng hàm ý rằng các nhà nghiên cứu về mô hình khác nhau nên dựa theo việc xem xét các giá trị thông số từ việc quan trắc thực tế hoặc từ việc thực hành Hiệu chỉnh.
- *Độ nhạy của kết quả đến sự thay đổi giá trị thông số:* Mô hình quá nhạy cảm sẽ dẫn đến cần nhiều giá trị nhập vào, điều này gây khó khăn khi đo đạc.
- *Các giả định (assumption):* Mô hình nên chứa ít các giả định. Người sử dụng mô hình nên hiểu rằng các đặt ra nhiều giả định chừng nào thì tạo nên việc giới hạn sử dụng mô hình và làm các thông số nhạy cảm hơn (Hughes et al., 1993).
- *Tiềm năng cho việc cải tiến mô hình:* Mô hình cần được cấu trúc sao cho việc cải tiến mô hình dễ dàng khi có các thông tin mới hoặc có các thủ tục bổ sung.

2.3.4 Chọn mô hình theo vấn đề thực tế

Việc chọn lựa mô hình theo vấn đề thực tế cần được cân nhắc trong các trường hợp:

- *Điều kiện tự nhiên của mô hình*: mô hình phải đáp ứng các vấn đề thực tế phải giải quyết. Ví dụ như các đầu ra mong muốn có thể là lưu lượng đỉnh, hoặc nồng độ chất ô nhiễm, v.v. theo bước tính là giờ, ngày, tuần, ... cho mục đích thiết kế hoặc vận hành. Đây là một xem xét quan trọng và bao gồm các câu hỏi cho các tiến trình chủ yếu thể hiện trong mô hình và điều kiện để mô hình có giá trị.
- *Chọn mô hình trọn gói hay là mô hình theo yêu cầu*: Mô hình trọn gói (là mô hình được thiết kế cho tổng thể các trường hợp) thường dễ sử dụng nhưng thiếu tính mềm dẻo và bị hạn chế sử dụng. Loại mô hình trọn gói thường được sử dụng khi gặp các tình huống ít có hơn số tình huống dự kiến ban đầu mà người phát triển mô hình nghĩ ra.

Mô hình theo yêu cầu là những mô hình mà ta có thể đặt hàng cho những người chuyên phát triển mô hình làm riêng cho cho một trường hợp nào đó. Loại mô hình này sẽ giúp ta giải quyết đúng vấn đề thực tế cần thiết nhưng thường tốn kém và mất nhiều thời gian.

- *Bài toán liên quan đến giá trị quyết định*: khi tính toán khả năng tài chính và tài nguyên, cũng như dạng tính tổn thất tiềm năng về sinh mạng, thiệt hại tài sản ứng với một tần suất xuất hiện nào đó.
- *Khả năng khung thời gian*: tùy thuộc và thời hạn chót phải hoàn tất dự án, kể cả thời gian (và chi phí) để thu thập các thông tin nhập vào.
- *Các thiết bị tính toán*: phần cứng máy tính và các loại mô hình và độ phức tạp của mô hình (như mô hình phải liên kết với các mô hình khác, liên kết với GIS, ngôn ngữ máy tính,...).
- *Ứng dụng trong tương lai của phân xuất mô hình*: dự kiến cho các lần sử dụng sau.
- *Tính tổng hợp của mô hình*: xem xét khả năng mô hình có thể giải quyết nhiều mục tiêu, có tầm ứng rộng và dự kiến các khả năng sử dụng về sau.
- *Cách truy cập mô hình, tài liệu hướng dẫn và dự phòng (back-up)*: khi trang bị mô hình cần xem xét nhà cung cấp có tạo các dễ dàng cho người sử dụng cách truy cập, các hỗ trợ, huấn luyện bước hướng dẫn, trả lời các gút mắc (help desk), có công cụ lưu dữ liệu dự phòng, ...
- *Khả năng nguồn nhân lực*: nên xem nguồn nhân lực khi trang bị mô hình tính toán, huấn luyện các nhân viên sử dụng chưa có kinh nghiệm.

- *Cách thể hiện mô hình*: như độ chính xác của kết quả, tính ổn định, độ nhạy, cách thể hiện đồ thị ở phần xuất.
- *Tính thân thiện cho người sử dụng (user friendliness)*: xem xét mô hình có dễ dàng giúp người sử dụng cách nhập liệu, chọn lựa kiểu xuất kết quả, giao diện người sử dụng, các kiểu đồ thị, bảng kết quả thống kê,...
- *Xem xét quy mô*: xem coi quy mô không gian mà mô hình sử dụng có tương thích với việc khái niệm và cấu trúc của vấn đề không.

2.3.5 Đánh giá lại việc chọn lựa

Một khi đã lựa chọn mô hình, người sử dụng cần phải đánh giá lại việc chọn lựa của mình bằng cách trả lời các câu hỏi sau:

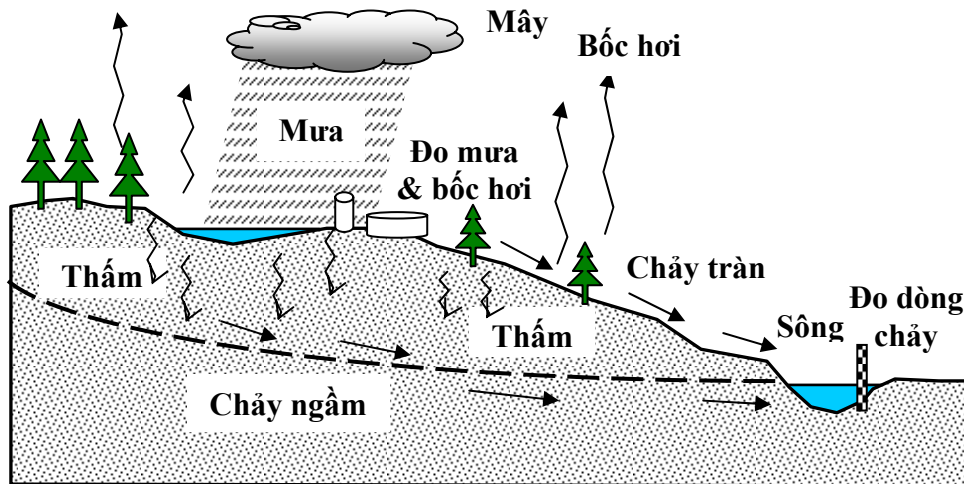
- Các thông tin mà mô hình cung cấp có thực sự theo yêu cầu của bài toán không?
- Các đặc trưng vật lý thể hiện qua các thông số của mô hình có thực sự đáp ứng việc ứng dụng trong thực tế không?
- Các phương trình sử dụng trong cấu trúc mô hình có đúng với thuật toán hiện đại phù hợp với dữ liệu và thiết bị máy tính không?
- Các kết quả mà mô hình cung ứng có chất lượng tốt tương xứng với chi phí theo một thời gian đặc thù nào không?

Chương 3. HIỆU CHỈNH CÁC THÔNG SỐ MÔ HÌNH

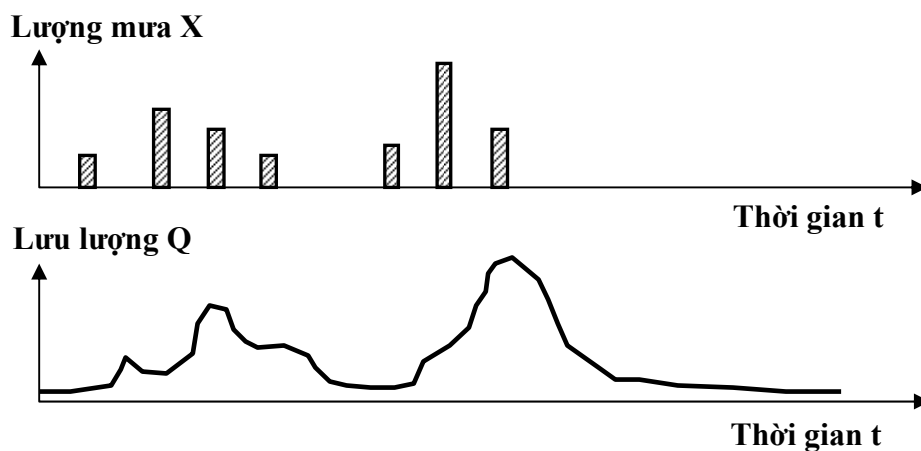
3.1 Khái quát vấn đề

Theo định nghĩa ở mục 2.2.4, khi phát triển mô hình, hiệu chỉnh (*calibration*) - có người gọi là định chuẩn - là tiến trình mà trong đó các thông số và biến số của mô hình được điều chỉnh để kết quả ra của mô hình phù hợp với thực tế quan sát được.

Ví dụ : Quan trắc thủy đồ diễn tả dòng chảy của một lưu vực (hình 3.1), nhiều nhà thủy văn học thấy chúng có những nét tương tự với sự biến động của lượng mưa ghi nhận được trong một thời gian tương đồng (Hình 3.2). Nghĩa là sau những trận mưa lớn, lưu lượng dòng chảy gia tăng và khi mưa giảm dần thì dòng chảy cũng giảm theo một quan hệ tuyến tính nào đó.

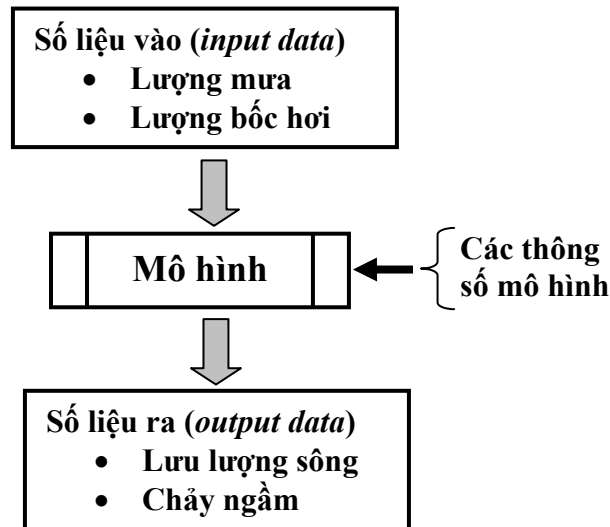


Hình 3.1 Tiến trình mưa – dòng chảy trong một lưu vực



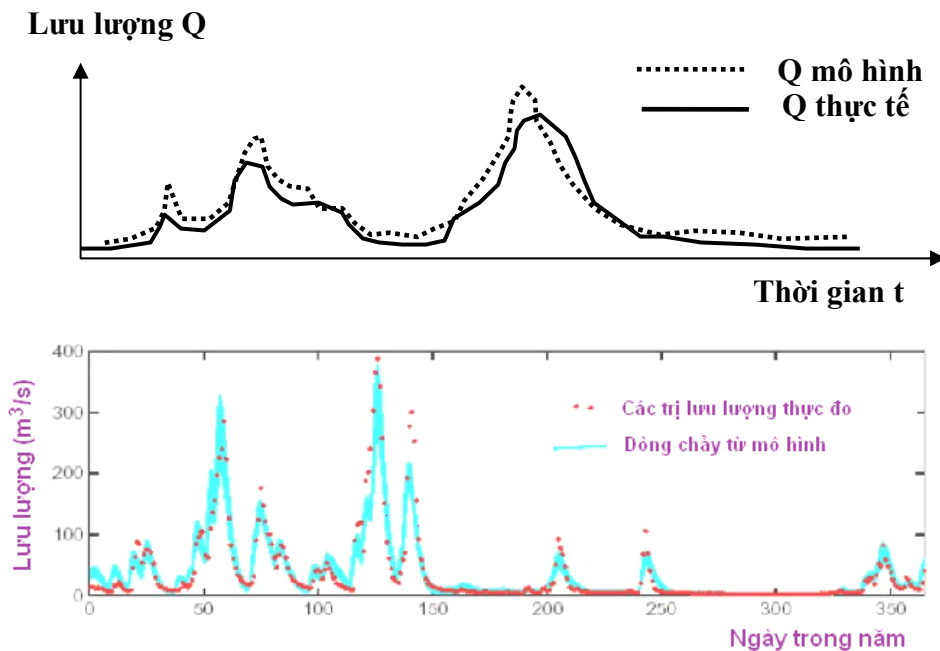
Hình 3.2 Thủy đồ ghi nhận thực tế diễn biến mưa và dòng chảy cùng thời đoạn

Khi thực hiện mô hình diễn tả quan hệ mưa – dòng chảy của một lưu vực, ta có thể tối giản quan hệ này theo sơ đồ như hình 3.3.



Hình 3.3 Sơ đồ diễn tả bài toán quan hệ mưa – dòng chảy

Giả sử kết quả của một mô hình nào đó cho ra kết quả như hình 3.4. Trên đồ thị, mô hình của bài toán cho đường cong diễn tả sự thay đổi lưu lượng theo thời gian, đường cong theo mô hình này nếu đem so với số liệu lưu lượng đo được trong thực tế sẽ thấy có sự khác biệt. Để giảm thiểu sự khác biệt này, người ta đưa vào mô hình các thông số điều chỉnh, đó chính là công việc của sự hiệu chỉnh.



Hình 3.4 Ví dụ minh họa kết quả lưu lượng dòng chảy theo mô hình và theo thực tế

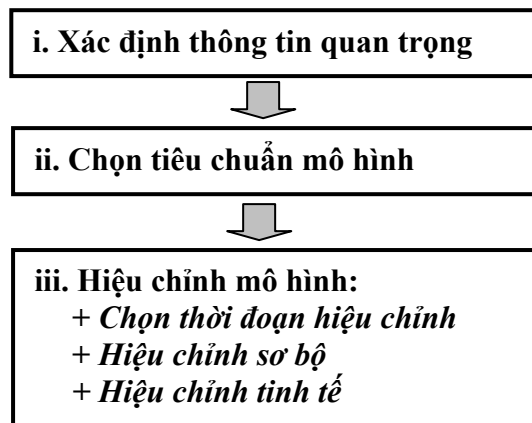
Trong ví dụ bài toán mô hình mưa – dòng chảy, ta có nhiều thông số như :

- Hàm lượng nước tối đa chứa trong lớp đất mặt
- Hàm lượng nước tối đa chứa trong tầng rễ
- Hệ số chảy tràn mặt
- Hệ số chảy lặn trong đất
- Ngưỡng tối đa của tầng rễ tạo ra dòng chảy mặt
- Ngưỡng tối đa của tầng rễ tạo ra dòng chảy ngầm
- v.v...

Hiệu chỉnh là công việc điều chỉnh các thông số mô hình sao cho kết quả càng gần với thực tế. Nếu việc hiệu chỉnh của mô hình làm tốt thì đường cong từ mô hình sẽ càng “trùng” với đường cong thực đo.

3.2 Các bước trong tiến trình hiệu chỉnh

Tiến trình Hiệu chỉnh là một trong các nội dung thực hiện mô hình hóa. Hiệu chỉnh sẽ góp phần quan trọng cho việc định giá khả năng hiện thực của mô hình. Trong tiến trình Hiệu chỉnh, 3 bước sau cần thực hiện (hình 3.5).



Hình 3.5 Ba bước trong tiến trình Hiệu chỉnh

3.2.1 Bước xác định thông tin quan trọng

Hiệu chỉnh mô hình cần bắt đầu bằng việc quyết định xem các thông tin gì là quan trọng mà mô hình có định được áp dụng. Việc xác định thông tin phải trên cơ sở là xem các thông số nào trong mô hình sẽ quyết định kết quả và kết quả này có khả năng phù hợp hoặc thỏa mãn với các diễn biến ở thực tế.

Ví dụ khi xem xét mô hình diễn tả sự lan truyền chất ô nhiễm trên một dòng chảy, nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng. Tuy nhiên, người phát triển mô hình phải xác định yếu tố nào gây ảnh hưởng lớn nhất. Chẳng hạn, hệ số nhám của dòng chảy, hệ số co hẹp hoặc mở rộng của mặt cắt, hệ số khuếch tán của chất lỏng và chất ô nhiễm, hàm lượng oxy trong nước, v.v...

3.2.2 Bước chọn tiêu chuẩn mô hình

Thực chất của việc chọn tiêu chuẩn mô hình là xác định mục tiêu đặc thù mà mô hình cần nghiên cứu. Nghĩa là, khi phát triển mô hình, các đích nhắm mà chúng ta muốn mô hình phải thể hiện bao gồm những yếu tố nào. Các yếu tố này cần phải được định lượng qua đo đạc thực tế và qua tính toán từ mô hình. Việc định lượng liên quan đến các tiêu chuẩn thống kê mà mô hình phải thỏa mãn.

Ví dụ khi thực hiện mô hình dự báo lũ, việc xác định giá trị (mức nước, lưu lượng lũ) và thời điểm xảy ra đỉnh lũ là mục tiêu quan trọng mà bài toán phải giải quyết. Nhiều thông số thống kê sẽ phải áp dụng như phần trăm (%) sai biệt cho phép, độ lệch chuẩn, độ nhạy của kết quả,... khi đánh giá sự tương ứng giữa dòng chảy quan trắc được với dòng chảy mô phỏng.

3.2.3 Bước hiệu chỉnh mô hình

- **Chọn thời đoạn hiệu chỉnh:** Hầu hết các mô hình môi trường hoặc mô hình thủy văn đều có yếu tố chuỗi thời gian tương ứng với các dữ liệu quan trắc. Trước tiên người thực hiện mô hình phải xem xét tổng thời gian quan trắc và chia khoảng thời gian này ra làm 2 thời đoạn: thời đoạn thứ nhất với chuỗi số liệu dài hơn để làm Hiệu chỉnh (calibration) và thời đoạn thứ hai ngắn hơn để làm việc kiểm nghiệm (verification). Trong một số trường hợp, người ta có thể chia đều hai thời đoạn: 50% thời đoạn cho bước hiệu chỉnh và 50% cho thời đoạn kiểm nghiệm mô hình. Việc chọn lựa thời đoạn hiệu chỉnh để chạy bài toán mô hình cần phải theo mục tiêu của vấn đề là cần kết quả gì ở đầu ra của mô hình. Ví dụ khi làm mô hình dự báo lũ thì thời đoạn hiệu chỉnh phải chứa thời gian mà các đỉnh lũ trong lịch sử đã xảy ra. Trường hợp làm mô hình thể hiện dòng chảy môi trường (environmental flow), thì thời đoạn hiệu chỉnh phải có chứa những thời kỳ dòng chảy thấp trong mùa kiệt.
- **Hiệu chỉnh sơ bộ:** Đây là bước thử ban đầu để xem thử các thông số mô hình đã chọn có “nhảy” với kết quả mô hình hay không? Thông thường, việc hiệu chỉnh sơ bộ theo bảng hướng dẫn của mô hình có sẵn hoặc từ quan sát thực tế. Việc hiệu chỉnh sơ bộ được xem như một bước làm bắt buộc nhằm định lại:
 - + Giá trị ban đầu thực tế cho các thông số
 - + Chiều dài (hay bước tính) “lý tưởng” để mô hình tìm kiếm giá trị tốt nhất của thông số. Nếu chọn bước tính quá ngắn sẽ làm gia tăng số lần tính toán, nếu chọn bước tính quá dài sẽ tạo ra sự vượt quá hay cường điệu hóa khi tìm giá trị tối ưu.
 - + Thử xác định khoảng giới hạn (giới hạn trên và giới hạn dưới) của các thông số. Mục đích của việc này nhằm giới hạn khả năng sự thất bại của mô hình khi tạo ra các giá trị phi thực tế hay trị vượt quá thực tế.
- **Hiệu chỉnh tinh tế:** Hiệu chỉnh tinh tế là làm nhuyễn ở mức chi tiết các kết quả ở đầu ra qua việc điều chỉnh vi cấp (fine tuning) các thông số mô hình. Một số sách hướng dẫn mô hình có thể cho khuyến cáo hoặc một số mô hình có thể tạo ra tiến trình tự động hiệu chỉnh để có một kết quả tốt nhất có thể đạt được.

3.3 Các tiếp cận để hiệu chỉnh thông số mô hình

Một số mô hình có thể được đánh giá trong cách định mục tiêu bài bản, một số mô hình khác thì không có thể thực hiện được. Việc đánh giá kết quả mô hình còn phụ thuộc một phần vào kỹ năng xem xét vấn đề của người làm mô hình. Có nhiều cách tiếp cận:

3.3.1 Tiếp cận tiên nghiệm (*a priori approach*)

- i) Trong cách tiếp cận này, những giá trị ban đầu của thông số mô hình được suy ra từ việc đo đạc thực tế hoặc từ một tính chất nào đó của sự việc, hoặc được thành lập do thực nghiệm.
- ii) Việc tiếp cận được giả định rằng mô hình là xác định và các thông số có ý nghĩa về vật lý; từ đó mô hình đang tạo ra các mô phỏng tốt cho những lý do đúng đắn.
- iii) Việc tiếp cận tiên nghiệm là khả thi về mặt lý thuyết. Tuy nhiên, cách tiếp cận này cần một số liệu khá lớn cho các mô hình xác định. Do vậy, đối với các lưu vực nghiên cứu nhỏ, các tiếp cận để có các thông số mô hình này bị giới hạn và đôi khi không thực hiện được.

3.3.2 Tiếp cận phù hợp đường cong (*the curve fitting approach*)

- i) Các thông số mô hình cũng có thể được suy ra bởi cách tiếp cận phù hợp đường cong, hay còn gọi là độ phù hợp (*goodness-of-fit*). Cách tiếp cận này liên quan đến việc tìm các thông số sẽ bảo đảm mức gần kín tương ứng giữa các đặc trưng đặc thù của các chuỗi thời gian tính toán và các giá trị quan trắc tương ứng. Đây là một tiến trình tối ưu hóa thông số (*parameter optimization*). Trong cách tiếp cận này, tiêu chuẩn độ phù hợp theo thống kê được áp dụng để xác định mức gần kín của các biến số trong chuỗi thời gian theo quan trắc và theo mô hình tương ứng.
- ii) Có hai phương pháp cơ bản để có các thông số mô hình tối ưu khi hiệu chỉnh bằng phương pháp phù hợp đường cong, đó là theo cách thủ công và cách tự động. Một biến đổi tối ưu hóa theo cách thủ công còn được gọi là tiến trình lặp lại được phân mảng (*segmented iterative procedure*).
- iii) Tối ưu hóa theo kiểu thủ công (*Manual optimization*): Theo cách này các giá trị của một thông số tính toán tại một thời điểm tương ứng với giá trị quan trắc được thử sai (*trial and error*) sao cho dần dần phù hợp với đường cong. Phương pháp thủ công điều chỉnh các thông số riêng rẽ sẽ mất nhiều thời gian, nhất là các mô hình đa thông số mà trong đó các thông số sẽ tương tác cao độ lẫn nhau. Phương pháp này đòi hỏi người làm mô hình phải hiểu rất rõ cách cấu trúc và sự vận hành của mô hình.
- iv) Tiến trình lặp lại được phân mảng: đối với các mô hình có nhiều hơn 5 thông số thì nên thực hiện cách tiếp cận theo cách này:

- + Bước đầu, tất cả các thông số liên quan đến một tiến trình đặc thù nào đó được tối ưu hóa cùng nhau, trong khi đó các thông số khác được giữ những hằng số. Mạng thông số liên quan này sẽ được tối ưu hóa bằng cách định khoảng giá trị chặn trên và chặn dưới để tìm thông số mô hình phù hợp nhất được cho phép biến đổi.
- + Cuối bước thứ nhất, mạng giá trị thông số đã hiệu chỉnh cải tiến sẽ được xác định và giữ lại như một hằng số cho bước kế tiếp.
- + Ở bước thứ hai, tương tự như bước thứ nhất, mạng thông số khác trong tiến trình sẽ được biến đổi cho phù hợp với mô hình.
- + Như vậy, từng nhóm một của thông số liên quan đến tiến trình đặc thù nào đó sẽ tiếp tục tiến trình tìm giá trị tối ưu lần lượt cho đến khi tất cả các nhóm thông số được tối ưu hóa.
- + Trong quá trình thực hiện tối ưu hóa từng mạng, có thể người làm mô hình phải trở lại bước thứ nhất, hoặc bước thứ hai/ba nào đó khi việc tối ưu hóa bị trở ngại.
- + Tiến trình tìm các giá trị tối ưu cho từng mạng thông số được lặp lại cho đến khi có một chuỗi các thông số tối ưu toàn thể.

- v) Tối ưu hóa tự động (hoặc tối ưu hóa mục tiêu): Kỹ thuật tối ưu hóa tự động được áp dụng ở một số mô hình theo cách chọn lựa đường phù hợp theo tiêu chuẩn thống kê. Kỹ thuật này áp dụng khi kết quả tính toán thống kê chưa đạt yêu cầu thì chương trình tự động điều chỉnh tạo ra thông số mới bằng cách kết hợp giữa trị vừa tính toán và sai biệt thống kê. Thông thường các thông số mô hình đáp ứng với những thay đổi phi tuyến, nếu chương trình tính phán đoán được phương trình phi tuyến thì có thể sử dụng các thuật toán tối ưu lặp lại. Cách tiếp cận này làm cho các thông số dần dần tiếp cận đến mục tiêu tối ưu nhưng cũng nhiều lúc gặp bất trắc do sự phán đoán phi tuyến không hợp lý. Tiến trình này đưa đến việc giảm bớt việc dựa vào cách phân mảng chủ quan của người làm mô hình. Tối ưu hóa tự động có thể tạo nên một tiến trình hiệu chỉnh nhanh hơn một cách có ý nghĩa.
- vi) Một số điểm liên quan đến việc tối ưu hóa tự động cần xem xét kỹ hơn:
- Thông thường chỉ một hàm mục tiêu (thỏa yêu cầu thống kê độ phù hợp, như trị hệ số tương quan r^2) có thể được sử dụng trong tiến trình tối ưu hóa tự động. Nếu có nhiều hơn hai hàm mục tiêu thì bài toán trở nên phức tạp và khó giải. Do vậy, có lúc cần thiết phải thực hiện việc điều chỉnh thủ công để các giá trị thông số để tạo ra sự một kết quả tốt hơn cho mô hình dựa vào nhiều tiêu chuẩn thống kê (như hệ số tương quan r^2 kết hợp với độ dốc đường cong và phương pháp dùng chặn trong toán học).
 - Một vấn đề khác trong tối ưu hóa tự động là sự tương tác giữa các thông số. Khi điều chỉ thông số này sẽ ảnh hưởng các thông số còn lại vì chúng có quan hệ ít nhiều. Chính điều này làm bài toán trở nên phức tạp và kết quả thường khó đạt sự tối ưu.

- Tương tự, với từng thông số riêng rẽ có thể tìm sự tối ưu của riêng nó nhưng khi phối hợp các tối ưu riêng rẽ thì khó tạo ra sự tối ưu toàn cục.
 - Với các lý do trên, nhiều lúc thực hiện tiến trình hiệu chỉnh tự động không thể cho kết quả như ý muốn do kết quả có độ nhạy cao với các thay đổi của biến số. Trong trường hợp này, các thành phần lý luận vững chắc của mô hình có thể bị sai lệch, trong khi đó các thành phần chứa yếu tố thiếu cơ sở hay mơ hồ của mô hình có thể không thể phát hiện ra.
 - Điều này khiến việc hiệu chỉnh tự động có thể tạo ra các thông số cho các giải đáp đúng với những lý do sai, khi ấy các thông số sẽ không thể được sử dụng để ngoại suy kết quả.
 - Tất cả các điểm trên cho thấy việc cải tiến có hệ thống một mô hình để đáp ứng một sự hiệu chỉnh dựa vào kết quả khá khó khăn. Điều này đặc biệt đúng đối với các mô hình chứa nhiều ẩn số và có những yếu tố vật lý quá phức tạp. Ví dụ khi làm mô phỏng việc lan truyền nhiều chất gây ô nhiễm trong một khu phức hợp dân cư, công nghiệp, sản xuất nông ngư nghiệp, ...
- vii) Một số nhà nghiên cứu mô hình khuyến cáo là không thể có một thuật toán duy nhất để tạo ra một loạt các thông số tối ưu cho các mô hình khác nhau. Việc tiếp cận nhiều thuật toán tối ưu kết hợp có thể là một cách nên làm.

3.4 Các vấn đề khi thành lập các thông số trong các mô hình môi trường

3.4.1 Các vấn đề thường gặp khi thành lập thông số

- i). Thông thường, trong một mô hình môi trường các biến số như nồng độ chất ô nhiễm thay đổi theo thời gian và không gian mà các chất ô nhiễm lan truyền cũng không đồng nhất (do cấu trúc lớp đất, sự thay đổi đặc điểm dòng chảy, ...). Do vậy khi dùng trị số trung bình hoặc một hệ số đặc trưng nào đó có thể là nguyên nhân chính làm sai số mô hình.
- ii). Các nghiên cứu thực tế cho thấy, sự thay đổi đặc điểm vật lý của lưu vực (như thay đổi cách sử dụng đất, lớp phủ thực vật, ...) sẽ làm thay đổi các thông số thủy văn.
- iii). Tính hiệu quả của mô hình thường do kỹ năng của người sử dụng mô hình khi thực hiện việc hiệu chỉnh hơn là do bản thân của chính mô hình. Một trong những nguyên nhân gây sai số mô hình có ý nghĩa là do chọn lựa không thích hợp và hiệu chỉnh các thông số mô hình. Kiến thức cho việc chọn lựa thông số hợp lý thường chỉ có qua kinh nghiệm nhiều lần.
- iv). Khi tìm cách đưa thêm các hệ số hiệu chỉnh lại sự biến đổi của đặc điểm không gian môi trường nhằm đối phó với hạn chế khả năng đo đạc chính xác hoặc phỏng đoán các giá trị thông số sẽ có thể tạo ra những sai số thông số khác.

- v). Thông thường khi lấy những biến số độc lập (ví dụ như số liệu đo được sự chảy tràn trên mặt đất) đối lập với kết quả đầu ra của mô hình (số liệu chảy tràn theo tính toán của mô hình) để thử nghiệm khi hiệu chỉnh thì các thông số có thể không mang tính đại diện một cách tiêu biểu cho toàn lưu vực (trường hợp lưu vực có sự hiện diện của các vùng đất ngập nước, các đê chắn hoặc các kênh mương).
- vi). Kỹ thuật lấy mẫu và đo đạc ngoài hiện trường và trong phòng thí nghiệm sẽ ảnh hưởng lớn đến kết quả mô hình. Cùng áp dụng một mô hình toán học trên máy tính cho một lưu vực nhưng với hai người khác nhau áp dụng, mỗi người đo áp dụng các cách đo khác nhau để có số liệu đầu vào thì kết quả cũng có thể cho ra các thông số khác nhau.

3.4.2 Sự hiệu chỉnh là một đòi hỏi khắc khe về số liệu

- i). Tiến trình hiệu chỉnh phải bắt đầu từ một hiện thực là số liệu đầu vào phải đủ dài và có độ chính xác cao nhất định nào đó.
- ii). Khi chuỗi số liệu quá ngắn hoặc thiếu số liệu thì sẽ tạo ra những trị không chắc chắn ảnh hưởng lớn đến việc hiệu chỉnh các thông số. Ví dụ khi mô phỏng sự ô nhiễm nguồn nước đến tính đa dạng sinh học, do không đủ thời gian, kinh phí, thiết bị,... số liệu trở nên sơ sài thì chắc chắn kết quả sẽ kém tin cậy vì sai số lớn.
- iii). Một số trường hợp nghiên cứu mô hình dòng chảy môi trường, nếu chuỗi số liệu trong quá khứ quá ngắn để đánh giá tần suất xuất hiện các thời kỳ quan trọng như thời kỳ đỉnh lũ hay dòng chảy kiệt thì khả năng ứng dụng mô hình dự báo sẽ rất hạn chế.
- iv). Có nhiều trường hợp khi hiệu chỉnh các thông số, kết quả có thể phù hợp với những chuỗi số liệu ngắn hoặc đứt đoạn nhưng qua giai đoạn kiểm nghiệm với những thay đổi mới thì các thông số bộc lộ nhiều sai số lớn.
- v). Khi so sánh giữa mô hình dựa vào sự kiện (*event-based model*) và mô hình liên tục (*continous model*) thì sẽ thấy mô hình liên tục thường cho kết quả hiệu chỉnh tốt hơn mô hình dựa vào sự kiện. Lý do là mô hình liên tục có số lượng số liệu nhiều hơn mô hình dựa vào sự kiện.

3.4.3 Tương tác giữa các thông số

- i). Sự tương tác do có sự quan hệ giữa các thông số có thể là nguyên do tạo nên sự phức tạp của bài toán.
- ii). Sự hiểu biết rõ ràng về mức độ và mẫu hình của sự tương tác giữa các thông số, cũng như độ nhạy của các tiêu chuẩn phù hợp của bất kỳ sự thay đổi nào của các giá trị thông số đều luôn luôn hữu ích trong việc hiệu chỉnh thông số. Trong một số trường hợp, định được sự thay đổi các thông số độ nhạy cũng tạo nên tính hiệu quả của mục tiêu tiêu mô hình.

- iii). Nếu mô hình chủ yếu mang tính khái quát, trong đó các thông số có mức độ diễn giải vật lý thì về mặt lý thuyết, một kết quả của mô hình cũng được xem là "đúng". Tuy nhiên, trường hợp như vậy cũng ít xảy ra.
- iv). Thật ra, hiệu ích để có các thông số mô hình chắc chắn thường xuất phát từ việc đo đạc thực tế ngoài hiện trường hơn là chỉ nhắm vào các lý thuyết thống kê để tìm độ phù hợp. Điều này thường được minh chứng rõ khi nghiên cứu mô hình thủy văn môi trường, trong đó số liệu cung cấp cho bài toán bao gồm diện tích lưu vực, diễn biến thủy lực dòng chảy trên kênh dẫn và các số liệu đặc trưng khác.
- v). Một số trường hợp, việc nghiên cứu kết quả từ lưu vực có hiện tượng tương tự để lấy các thông số "tương tự" cũng là một giải pháp. Tuy nhiên, không hẳn thông số của của lưu vực tương tự đáp ứng các yêu cầu về độ phù hợp cho mô hình ở lưu vực nghiên cứu mặc dầu tính chất và các đặc điểm của chúng có vẻ như nhau. Vấn đề này được trình bày chi tiết hơn ở phần 3.4.4 dưới đây.

3.4.4 Sự tương tự lưu vực và các vấn đề chuyển dịch thông số

- i). Về lý thuyết, các thông số mô hình như quan hệ mưa - dòng chảy có thể cung cấp một giá trị tiếp cận xấp xỉ về mặt thủy văn cho những lưu vực có điều kiện "tương tự" nhưng thiếu trạm đo. Gorgen (1983) đã đề xuất 3 xem xét về mặt kỹ thuật khác nhau có thể áp dụng để thành lập các thông số khi:
 - + Giá trị thông số có thể chuyển dịch bởi các đặc trưng lưu vực đo được.
 - + Giá trị thông số có thể dựa vào xu thế phát triển mang tính khu vực.
 - + Các thông số có thể được thành lập bằng sự Hiệu chỉnh mô hình của một hoặc nhiều lưu vực. Khi đó, các điều kiện vật lý của lưu vực tương tự và lưu vực xem xét có những tính chất thủy lực - thủy văn gần như nhau.
- ii). Trừ khi có hai hay nhiều lưu vực tương tự về mặt thủy học (hầu hết được định danh bằng cách mở rộng), việc chuyển dịch thông số được khuyến khích sử dụng. Nếu phát hiện có sự khác biệt thực tế về mặt thủy văn thì vấn đề chuyển dịch thông số cần phải xem xét lại.
- iii). Muốn định danh sự tương tự lưu vực cho mục tiêu chuyển dịch thông số cần phải có các thông tin đánh giá căn cứ vào sự nghiên cứu thực tế với các công cụ như bản đồ địa hình, bản đồ địa chất, không ảnh máy bay, ảnh vệ tinh và thám sát thực tế ngoài đồng.
- iv). Trường hợp căn cứ vào xu thế khu vực (*regionalised trend*) liên quan đến các thông số mô hình từ nhiều lưu vực có trạm đo thì cần phát triển một bộ thông số tiêu chuẩn (*standard parameter set*) cho lưu vực thiếu trạm đo. Phương pháp này có một số đặc điểm sau:
 - + Đây là một phương pháp thụ vị và ít tốn kém để có các giá trị thông số.

+ Kết quả nhận được có thể có chất lượng kém hơn vì thiếu số liệu kiểm chứng, tuy nhiên, nhờ cách này ta có thể có trực tiếp các thông số mà giảm công việc hiệu chỉnh.

+ Thật ra, đây không hẳn là một kỹ thuật đáng được khuyến cáo khi áp dụng việc liên kết một mô hình thủy văn thông thường với một mô hình thủy văn môi trường. Thực tế cho thấy các thông số trong trường hợp làm mô hình hóa môi trường mang tính tương tác cao hơn và phức tạp hơn, đặc biệt là giữa thành phần số lượng nguồn nước và thành phần hóa học (chất lượng nước).

v). Pilgrim (1983) đề xuất một số điểm cần lưu ý xa hơn khi muốn xem xét chuyển dịch thông số:

+ Xem xét tương tự lưu vực phải có sự quan hệ giữa chiều dài dòng chảy, độ dốc, độ nhám, ... Cần phải có đánh giá các mất cân xứng cơ bản khi tìm hiểu sự tương tự giữa các lưu vực.

+ Nhất thiết phải có sự thông hiểu kỹ lưỡng liên quan đến tiến trình thủy văn (*hydrological processess*) và các biến đổi của chúng. Đặc biệt quan trọng là xác định được ảnh hưởng sự thay đổi tính chất dòng chảy theo không gian.

vi). Một nghiên cứu của Gorgen (1983) khi khảo sát các rủi ro khi chuyển dịch thông số giữa 3 lưu vực, trong đó có 2 lưu vực đầu có nhiều điểm tương tự và 1 lưu vực thứ ba thì khác biệt. Việc nghiên cứu thực hiện việc phân tích số liệu các đặc trưng vật lý của từng lưu vực như lớp phủ thực vật, địa chất tầng mặt và khoảng cách địa văn liên quan đến sự khác biệt giữa các lưu vực. Các khác biệt này có thể được diễn dịch ở dạng sự khác biệt trong đáp ứng thủy văn (*differences in hydrological response*) và xem đây là điều kiện xem xét quan trọng trong tiến trình chuyển dịch thông số. Ở hai lưu vực đầu, sau khi gia giảm sự khác biệt để có một sự "tương tự" tốt nhất đã cho phép chuyển dịch thông số thành công. Với khu vực thứ ba, dù có cố gắng gia giảm vẫn dẫn đến sự khác biệt lớn về các đặc điểm vật lý, khi đem thông số của hai lưu vực tương tự để chuyển sang lưu vực thứ ba thì cho ra những kết quả kém cỏi.

vii). Do vậy, vậy chứng minh sự tương tự giữa các lưu vực là quan trọng. Sự dị biệt về không gian giữa các vùng nghiên cứu sẽ luôn luôn tạo ra các vấn đề sai biệt mang tính hệ thống.

viii). Có thể kết luận rằng, không thể chủ quan áp dụng một lưu vực được xem là "mẫu" cho các lưu vực khác nếu không có thử nghiệm đầy đủ. Khái niệm mô hình "mẫu" chỉ mang tính tương đối, không thể có một mô hình mang tính "toàn cầu" được.

3.4.5 Giá trị thông số và vấn đề quy mô của mô hình

i) Sự thành lập thông số mô hình chịu chi phối bởi quy mô của mô hình. Khi dịch chuyển các thông số từ một mô hình có quy mô nhỏ sang một mô hình có quy

mô lớn, các tiến trình thủy văn và chất lượng nước sẽ thay đổi. Sự thay đổi này có thể dẫn đến kết luận không thể đơn thuần áp dụng các thông số phù hợp cho một mô hình có quy mô nhỏ sang một mô hình có quy mô lớn nếu không có những khảo nghiệm chi tiết kỹ lưỡng hơn.

- ii) Mô hình môi trường được thiết lập trên căn cứ các quy mô vật lý có tỷ lệ nhỏ nhằm tạo ra các thông số có ý nghĩa vật lý đáp ứng điều kiện sử dụng cho nó. Tuy nhiên, khi quy mô gia tăng, sự bình quân, hệ số biến động và độ lệch chuẩn các thông số có thể bị phá vỡ dẫn đến chúng không còn đúng trên thực tế. Lý do là ở mô hình quy mô nhỏ tính chất đồng nhất dễ dàng đạt được hơn là mô hình có quy mô lớn. Khi đó, sự dị biệt các đặc điểm vật lý rất rõ nét..
- iii) Các mô hình vật lý thực hiện trong phòng thí nghiệm có quy mô nhỏ khi mở rộng ra thực tế thường gặp sự thất bại ít nhiều. Sự thất bại này có thể tiên đoán được, các ứng dụng mô hình vào thực tế cần phải có những điều chỉnh nhiều hơn. Sự điều chỉnh này cũng tiêu tốn nhiều công sức và thời gian để hiệu chỉnh trước khi áp dụng.

3.4.6 Vấn đề ngoại suy thông số

- i) Ngoại suy là một kỹ thuật toán học để kéo dài số liệu tính toán hoặc quan trắc hoặc thử nghiệm qua mô hình. Mục đích ngoại suy thường dùng để tiên đoán những khả năng xảy ra trong tương lai hoặc thử áp dụng khi có những trường hợp mở rộng không gian hoặc tiên lượng sự cố (rủi ro môi trường, thiên tai, ...).
- ii) Việc ngoại suy hiện tượng hoặc số liệu có thể đúng hoặc gần đúng ở những điều kiện (thời gian, sự kiện) gần kết quả tính toán nhưng khi phán đoán cho những thời đoạn dài hoặc sự cố quá lớn thường không đúng hoặc kém chính xác. Sự hạn chế của nó có thể xuất hiện khi có sự phụ thuộc giữa thông số này và thông số khác.
- iii) Điều này có thể lý giải là do các thông số đã được Hiệu chỉnh trong điều kiện mô tả của mô hình và chỉ đúng với diễn biến trong mô hình mà thôi. Khi điều kiện này mở rộng thì tính "tối ưu" của thông số không còn đúng nữa và khi điều kiện vật lý các hiện tượng thực tế nằm ngoài sự tính toán của mô hình.
- iv) Khi sử dụng các thông số thành lập từ chuỗi số liệu ngắn mở rộng theo cách ngoại suy cho chuỗi dài hơn sẽ gặp phải sự tích lũy sai số và làm gia tăng các khiếm khuyết có thể gặp trong quá trình khái quát hóa mô hình.
- v) Phần lớn các mô hình không thể áp dụng với chuỗi dữ liệu nằm ngoài khoảng Hiệu chỉnh của mô hình.

Chương 4. THỂ HIỆN MÔ HÌNH

4.1 Kiểm nghiệm và định trị mô hình

Để đánh giá và hiểu rõ hơn giá trị ý nghĩa của một mô hình qua cách thể hiện, thông tin về nghi thức thực hiện mô hình hóa là một đòi hỏi cần thiết giữa người sử dụng mô hình và người phát triển mô hình. Việc thể hiện mô hình rất quan trọng trong việc thuyết phục người ra quyết định có thêm những cân nhắc trên cơ sở khoa học, qua những gì mà mô hình có thể chứng minh bằng kết quả, bằng định trị các mã mô hình, các hiệu chỉnh, kiểm nghiệm và báo cáo đánh giá thông qua lý luận và thực tiễn.

Theo định nghĩa đã trình bày ở phần 2.2.5, kiểm nghiệm (*verification*) mô hình là bước tiếp sau công việc hiệu chỉnh mô hình nhằm kiểm tra các thông số mô hình đưa ra có phù hợp với các diễn biến của thực tế hay không.

Ngoài ra, việc kiểm nghiệm mô hình nhằm kiểm tra độ chính xác giữa các dữ liệu đã biết với một số tiêu chuẩn thống kê. Việc kiểm nghiệm cũng là một phương cách để xem xét lại các số liệu quan trắc thực tế. Một cách khác, có thể nói kiểm nghiệm mô hình là công việc đo đạc tính thể hiện của mô hình, nó là công cụ dẫn đến việc minh xác (*confirmation*), chứng nhận (*certificate*) và kiểm định (*accreditation*) như là một bằng chứng về chất lượng mô hình.

4.2 Nghiên cứu kiểm nghiệm

4.2.1 Mục tiêu

Theo định nghĩa ở mục 2.2.5, sau khi hiệu chỉnh, mô hình cần được kiểm nghiệm nhằm kiểm tra các thông số mô hình đưa ra có phù hợp với các diễn biến của thực tế hay không. Nói một cách chi tiết, việc kiểm nghiệm gồm các trả lời các hàm ý sau:

- Các biểu hiện ở đầu ra của mô hình mô phỏng có phù hợp với các biểu hiện đầu ra của hệ thống thực tế đã được quan trắc.
- Các thông tin ở đầu ra của mô hình (lưu ý là đầu ra của mô hình mô phỏng không phải là thành lập số liệu mà là thông tin) có đủ độ chính xác như mong muốn ở mô hình.
- Trong quá trình xác định các thông số, nếu có sai biệt ý nghĩa giữa số liệu của sự kiện quan trắc và giá trị mô phỏng, thì cần xác lập mức độ tin cậy của mô hình.
- Việc kiểm nghiệm phải mang tính khách quan: mô hình cần phải bắt buộc qua các thử nghiệm thống kê chính thống và nghiêm ngặt theo các mức độ phù hợp định trước theo tầm quy mô thực hiện.
- Khi làm kiểm nghiệm đầu ra của mô hình, giả thiết rằng mô hình là có cơ sở vững chắc bao gồm các hợp lý trong thiết kế mô hình, các phương trình chủ đạo và mã hóa chương trình máy tính.
- Trong bất kỳ sự kiểm nghiệm nào, có thể một số thông số luôn luôn đạt yêu cầu các điều kiện thử nghiệm mô hình trong khi một số thông số khác không thể liên kết được với một số sự kiện đã xảy ra.

4.2.2 Hàm mục tiêu

Trước khi làm kiểm nghiệm mô hình, cần thiết phải định lượng các điều kiện kiểm nghiệm. Việc này thể hiện qua khái niệm hàm mục tiêu (*objective function* - OF).

Hàm mục tiêu là một trị số của tiến trình thống kê đặc thù thể hiện mức độ tương ứng, hoặc còn gọi là độ gần (*degree of closeness*), giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng.

Có nhiều kiểu để xác định hàm mục tiêu OF tùy theo mục đích đặc thù và tương quan trong các mô hình ứng dụng. Hàm mục tiêu thường theo xu hướng tiến đến trị 0 (khi hàm mục tiêu là tối thiểu hóa, $OF \rightarrow 0$) hoặc tiến đến trị đơn vị, $OF \rightarrow 1$ (khi hàm mục tiêu là tối đa hóa).

4.2.3 Các trị số thống kê dùng cho kiểm nghiệm

Khi kiểm nghiệm các trị số thống kê thường được áp dụng để so sánh độ phù hợp giữa trị mô phỏng và trị quan trắc cho cả chuỗi thời gian và cho từng sự kiện riêng rẽ rời rạc ở kết quả đầu ra. Việc này có thể đánh giá qua thống kê mức độ phù hợp (*goodness-of-fit statistics*) từ kết quả mô hình và thực tế. Sự đồng biến về chuỗi thời gian trên cơ sở phép áp 1:1. Nghĩa là giá trị mô phỏng có "gần" với trị trung bình của số liệu đo thực tế không. Ngoài ra các trị thống kê khác cần được xem xét, gồm:

i). Trị trung bình (*mean*)

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4-1)$$

trong đó:

- \bar{X} - trị trung bình của các trị quan trắc;
- x_i - trị quan trắc được ở thời điểm thứ i ;
- n - số thời điểm quan trắc (hoặc tổng số trị quan trắc)

Hàm mục tiêu liên quan đến trị trung bình thể hiện mức độ phân trăm (%) giữa trị trung bình số quan trắc và số mô phỏng. Nếu mô hình là tốt thì hàm mục tiêu trị trung bình phải tối thiểu hóa (tiến đến trị 0):

$$100 \cdot \frac{(x - y)}{\bar{X}} \rightarrow 0 \quad (4-2)$$

ii). Phương sai (*variance*) V_x

$$V_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (4-3)$$

Mô hình được xem là tốt khi hàm mục tiêu của phương sai là tối thiểu hóa:

$$100 \cdot \frac{(V_x^2 - V_y^2)}{V_x^2} \rightarrow 0 \quad (4-4)$$

iii). Độ lệch chuẩn (*standard deviation*) S_x

$$S_x = \sqrt{V_x} \quad (4-5)$$

Mô hình được xem là tốt khi hàm mục tiêu của độ lệch chuẩn là tối thiểu hóa:

$$100 \cdot \frac{(S_x - S_y)}{S_x} \rightarrow 0 \quad (4-6)$$

iv). Hệ số biến động (*variance deviation*) CV_x

$$CV_x = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (4-7)$$

Mô hình được xem là tốt khi hàm mục tiêu của hệ số biến động là tối thiểu hóa:

$$100 \cdot \frac{(CV_x - CV_y)}{CV_x} \rightarrow 0 \quad (4-8)$$

v). Hệ số thiên lệch (*skewness*) CS_x

$$CS_x = \frac{n}{S_x(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3 \quad (4-9)$$

Mô hình được xem là tốt khi hàm mục tiêu của hệ số thiên lệch là tối thiểu hóa:

$$100 \cdot \frac{(CS_x - CS_y)}{CS_x} \rightarrow 0 \quad (4-10)$$

vi). Sai số thống kê

+ Sai số chuẩn của trị trung bình (*standard error of the mean*) các trị quan trắc

$$SE_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \quad (4-11)$$

+ Sai số tiêu chuẩn trung bình (*root mean square error - RMSE*) của trị quan trắc x_i và trị mô phỏng y_i

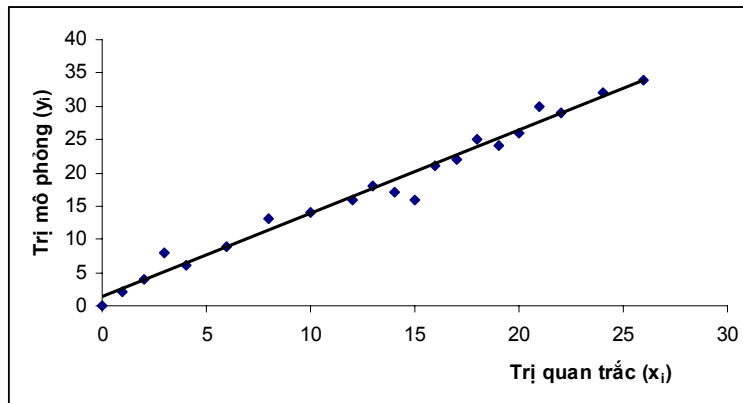
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (4-12)$$

Trị RMSE càng gần 0 thì mức phù hợp giữa thực tế và mô hình càng cao.

vii). Hệ số tương quan (*correlation coefficient*) cho quan hệ tuyến tính

Trường hợp kết quả mô hình cho quan hệ tuyến tính giữa 2 biến số x và y như hình 4.1. Trong đó x là biến số độc lập (trị quan trắc) và y là biến số phụ thuộc (trị mô phỏng). Phương pháp vẽ đường quan hệ theo bình phương cực tiểu để xác định hồi quy tuyến tính thường được áp dụng.

Khi đó quan hệ giữa 2 dãy số liệu theo phương trình đường thẳng $y = ax + b$, trong đó a là hằng số nền và b là độ dốc của đường thẳng.



Hình 4.1: Một ví dụ về đường tương quan tuyến tính giữa trị quan trắc và trị mô phỏng

Hệ số tương quan R giữa trị quan trắc và trị mô phỏng các định theo:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4-13)$$

trong đó:

- \bar{X} và \bar{Y} - trị trung bình của các trị quan trắc và các trị mô phỏng;
- x_i và y_i - trị quan trắc và trị mô phỏng được ở thời điểm thứ i ;
- n - số thời điểm quan trắc (hoặc tổng số trị quan trắc)

- Hệ số tương quan R càng gần tiến đến ± 1 thì mức đồng tương quan càng lớn.
- Khi $R > 0$ thì tương quan là đồng biến và khi $R < 0$ thì tương quan là nghịch biến.
- R càng tiến về 0 thì tương quan càng kém.
- Hàm mục tiêu của hệ số tương quan là tối đa hóa, $R \rightarrow 1$

viii). Độ dốc b (*slope*) cho đường bình phương cực tiểu (*least-square line*) thể hiện sự quan hệ giữa sự thay đổi xu thế mô phỏng và sự thay đổi xu thế quan trắc:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (4-14)$$

Hàm mục tiêu của độ dốc b là tối đa hóa đến trị đơn vị, nghĩa là b càng tiến đến 1 thì khả năng "phù hợp" của các trị số càng cao.

ix). Hằng số nền (*base constant*) hay độ chắn y (*y-intercept*)

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4-15)$$

Nếu quan hệ là đồng biến thì $y = ax + b$. Hàm mục tiêu của $a \rightarrow 0$.

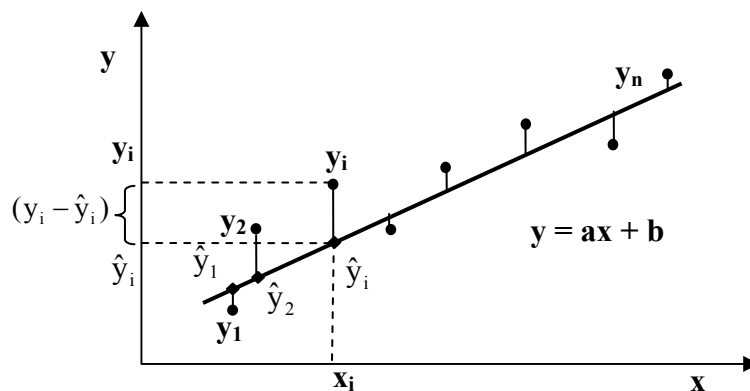
x). Tổng các thống kê bình phương (*sums of squares statistics*)
 + Toàn tổng các bình phương (*total sum of squares - SST*) là một số đo sự phân tán của các giá trị mô phỏng so với trị trung bình. SST được xác định như sau:

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 \quad (4-16)$$

+ Tổng các bình phương giải nghĩa (*explained sum of squares - SSR*) là tổng sai lệch các giá trị mô phỏng (lấy từ đường quan hệ tuyến tính giữa các chuẩn thực đo và chuỗi mô hình) với trị trung bình mô phỏng:

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{Y})^2 \quad (4-17)$$

Trị \hat{y}_i là giá trị xác định trên đường thẳng quan hệ tuyến tính giữa các số đo thực tế và các số mô phỏng, như hình 4.2:



Hình 4.2 Giá trị \hat{y}_i trên đường quan hệ tuyến tính giữa số thực đo và số mô phỏng

+ Tổng các bình phương phi giải nghĩa (*unexplained sum of squares - SSE*) là tổng bình phương các khoảng lệch cực tiểu $(y_i - \hat{y}_i)$, như minh họa trên hình 4.2.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4-18)$$

+ Tương quan của 3 trị tổng bình phương trên là:

$$SST = SSR + SSE \quad (4-19)$$

Thực chất, sai lệch này là sai số làm tròn, do vậy dấu bằng (=) nên thay là dấu xấp xỉ (\approx)

$$SST \approx SSR + SSE \quad (4-20)$$

- xi). Hệ số định trị (*coefficient of determination*) dùng để đo mức độ phối hợp giữa các trị mô phỏng và các trị lấy từ đường quan hệ mô phỏng:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2} = \frac{SST - SSE}{SST} = \frac{SSR}{SST} \quad (4-21)$$

Giá trị r^2 luôn luôn nhỏ hơn 1 nhưng không thể là giá trị nhỏ hơn 0. Trị r^2 càng cao càng chứng tỏ mức độ phối hợp càng tốt. Hàm mục tiêu của hệ số định trị là tối đa hóa trị r^2 .

- xii). Hệ số hữu hiệu (*coefficient of efficiency*) là số đo mức độ phối hợp giữa các giá trị quan trắc và trị mô phỏng.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2} \quad (4-22)$$

Giá trị E có thể dưới số 0 nhưng không thể lớn hơn 1. Hàm mục tiêu của hệ số hữu dụng là tối đa hóa trị E tiến đến trị r^2 .

- xiii). Hệ số đồng thuận (*coefficient of agreement - IA*) thể hiện sự hài lòng về mức độ tiên đoán sai số của mô hình từ phương trình hồi quy:

$$IA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{y}_i - \bar{Y}| + |y_i - \bar{Y}|)^2} \quad (4-23)$$

Giá trị IA càng gần đến 1 thì sự đồng thuận cao, càng gần đến 0 thì sự bất đồng thuận lớn. Hàm mục tiêu cho hệ số đồng thuận là tối đa hóa IA $\rightarrow 1$.

4.3 Vấn đề kiểm nghiệm mô hình

4.3.1 Các vấn đề thường gặp

- Trong kiểm nghiệm mô hình, lý tưởng nhất là số liệu quan trắc có đầy đủ sự kiểm soát chất lượng, đủ chi tiết và đủ độ dài theo thời gian.
- Thực tế là chuỗi số liệu không đủ dài, cần phải có các phương pháp mới để kéo dài chuỗi số liệu từ thực tế ngoài hiện trường hoặc lấy thêm từ các lưu vực tương tự, tình huống môi trường xấp xỉ.
- Cần thiết phải đánh giá các ảnh hưởng do sự không chắc chắn của các thông số nhập vào mô hình khi xem xét sự thể hiện mô hình.
- Các số liệu thực tế nghèo nàn có thể dẫn đến sự hiệu chỉnh và kiểm chứng sai lạc. Một số người làm mô hình cố gắng sử dụng phép ngoại suy để kéo dài chuỗi số

liệu có thể dẫn đến tình trạng có kết quả giải đáp đúng cho những nguyên nhân sai lầm. Điều này làm hạn chế hiệu quả mô hình.

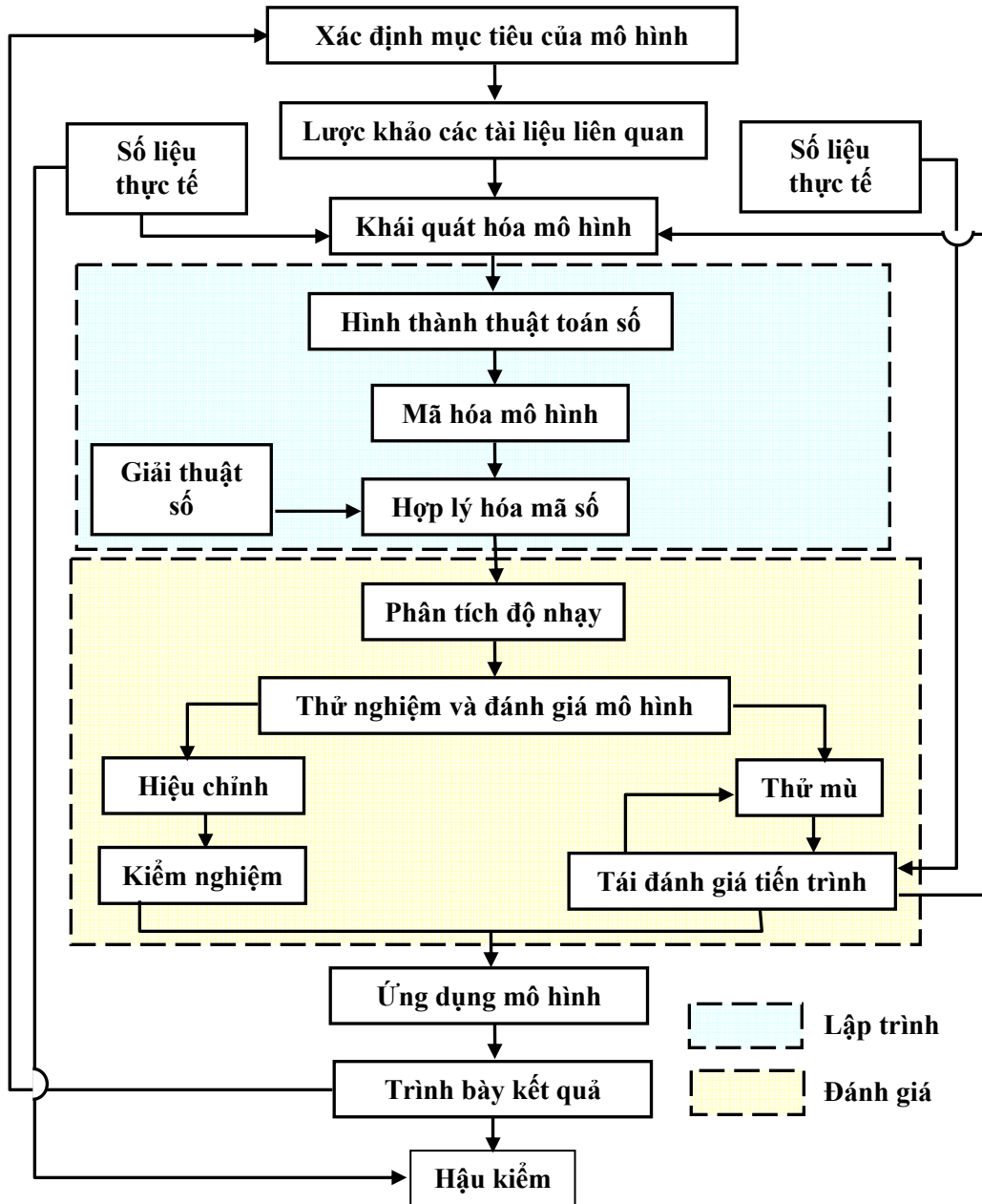
4.3.2 Hậu kiểm việc phê chuẩn và kiểm nghiệm mô hình

- Mặc dầu việc hiệu chỉnh và kiểm chứng có thể thỏa mãn một số chỉ tiêu thống kê nhưng cũng cần đánh giá độ chính xác của mô hình khi tiên đoán kết quả cho tương lai. Bước làm này gọi là hậu kiểm (*post-audit*).
- Trong công việc hậu kiểm, các dữ liệu mới sẽ được thu thập nhiều năm sau khi việc nghiên cứu mô hình đã hoàn tất trước đó. Việc vận hành mô hình với chuỗi số liệu mới để đánh giá mức độ chính xác tiên đoán đầu ra. Có thể có những thay đổi yếu tố vật lý như địa hình, độ che phủ mặt đất, thay đổi khi sử dụng nguồn nước và các tài nguyên khác làm các thông số mô hình đã nghiên cứu trước đó không còn chính xác nữa hay xuất hiện những khác biệt có ý nghĩa.
- Khi mô hình cũ không còn thỏa mãn kết quả sự tiên đoán, nhất thiết phải hiệu chỉnh và kiểm nghiệm lại các thông số hoặc phải thay đổi giả thiết, thuật tính toán, và thậm chí thay đổi cấu trúc, khái niệm mô hình.

Chương 5. ỨNG DỤNG MÔ HÌNH HÓA MÔI TRƯỜNG

5.1 Sơ đồ phát triển và ứng dụng mô hình

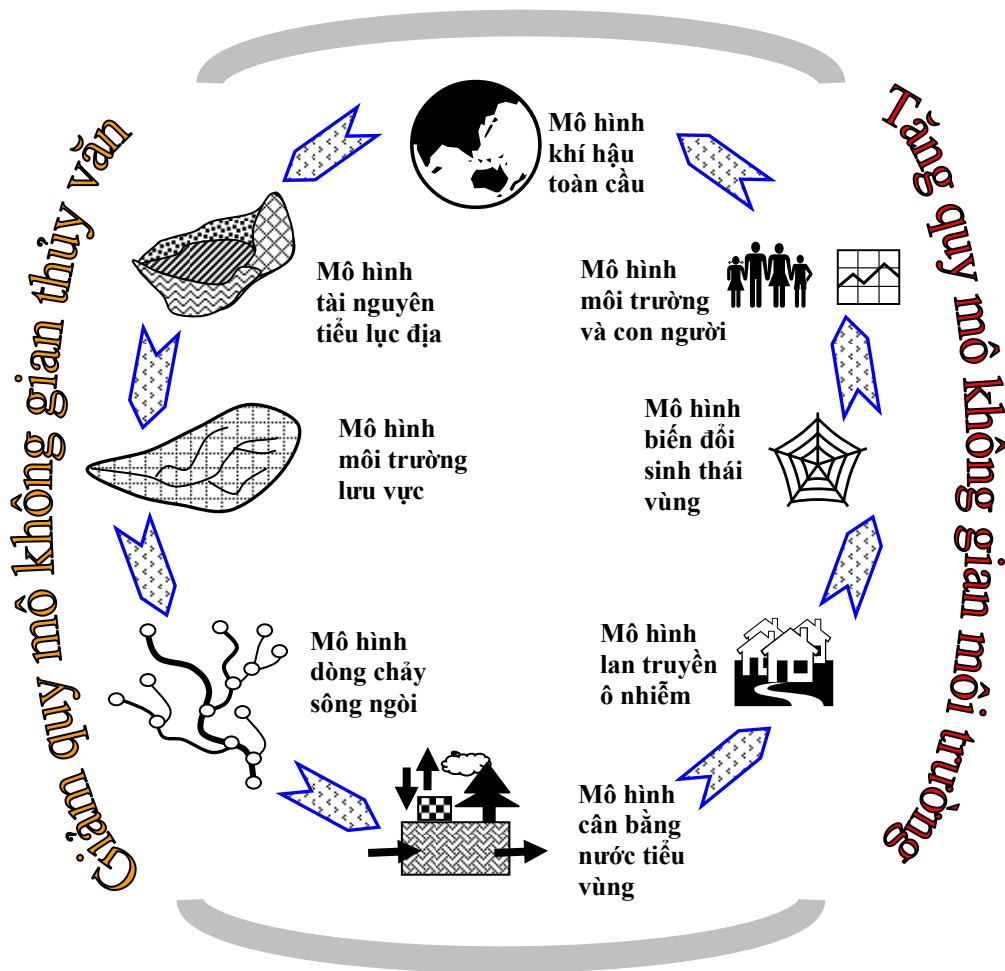
Hình 5.1 là sơ đồ tổng quát cho các bước hoàn chỉnh việc phát triển và ứng dụng một mô hình. Trong đó 2 quá trình được xem là quan trọng là lập trình thuật toán và đánh giá kết quả của mô hình.



Hình 5.1 Sơ đồ phát triển và ứng dụng mô hình

5.2 Xu thế phát triển mô hình hóa môi trường theo quy mô không gian

Các diễn biến trong chu trình thủy văn là một trong các yếu tố quan trọng của các quan hệ môi trường - sinh thái. Sự biến đổi khí hậu diễn ra liên tục từ mức toàn cầu đến mức vi khí hậu trong một không gian nhỏ đều có những quan hệ tương tác. Ảnh hưởng này đã được một số nhà thủy văn môi trường mô phỏng từ nhiều cấp qui mô không gian (Hình 5.2).



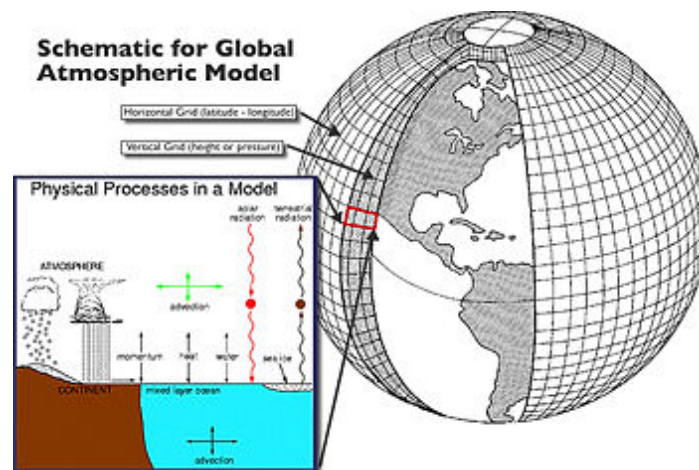
Hình 5.2 Xu thế phát triển mô hình thủy văn môi trường theo quy mô không gian

5.3 Giới thiệu một số mô hình môi trường

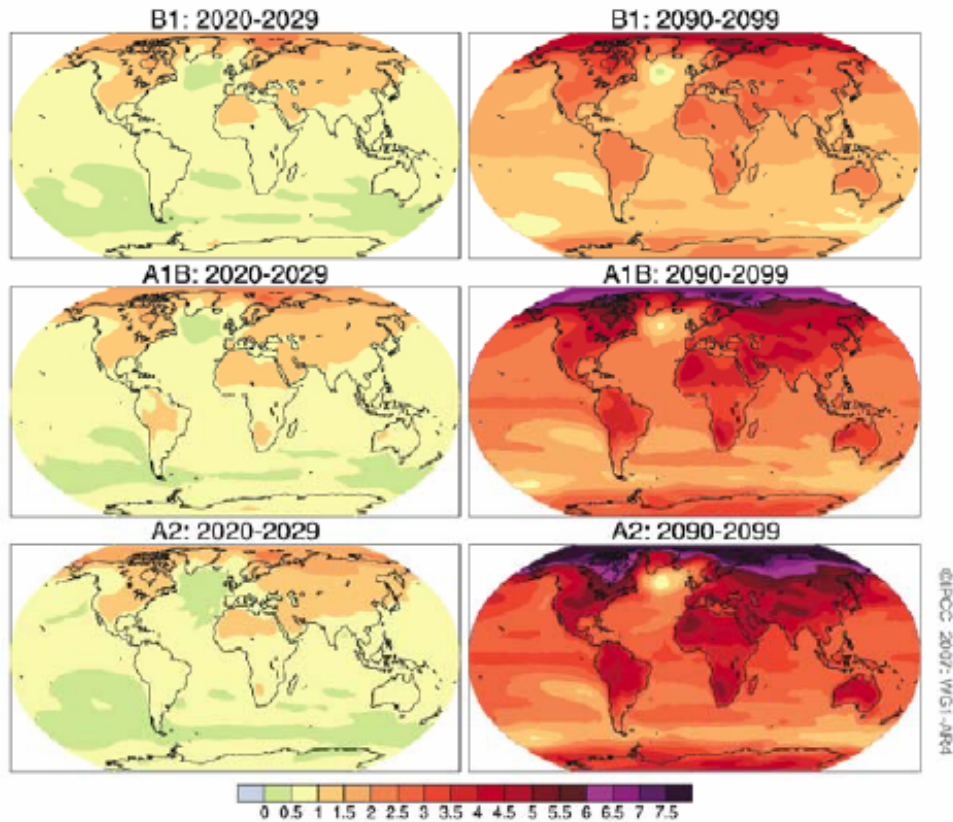
5.3.1 Mô hình biến đổi khí hậu toàn cầu

Biến đổi khí hậu toàn cầu đang là một vấn đề thời sự được nhiều khoa học trên thế giới quan tâm vì nó ảnh hưởng đến toàn bộ hoạt động sinh hoạt, sản xuất, sinh thái môi trường trên toàn cầu. Các mô hình nổi tiếng về khí hậu được phát triển từ Trung tâm Quốc gia về Nghiên cứu Khí quyển (the National Center for Atmospheric Research - NCAR) ở Boulder, Colorado, USA, Phòng Thí nghiệm Thủy Động lực học Địa Vật lý (the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) tại Princeton, New Jersey, Mỹ, Trung tâm Hadley về Nghiên cứu và Dự báo Khí hậu (the Hadley Centre for Climate Prediction and Research (in Exeter, UK), Viện Khí tượng học Max Planck (the Max Planck Institute for Meteorology) ở Hamburg, Germany. Chương trình Nghiên cứu Khí hậu Thế giới (The World Climate Research Programme - WCRP), của Tổ chức Khí tượng Thế giới (the World Meteorological Organization - WMO). Một số mô hình đã phát triển như:

- **Bộ Mô hình Luân chuyển Tổng quan** (General Circulation Models - GCMs), còn gọi là Bộ Mô hình Khí hậu Toàn cầu (Global Climate Models), là một mô hình máy tính chuyên dùng cho dự báo khí hậu toàn cầu, tìm hiểu khí hậu và phản ánh sự thay đổi khí hậu. Mô hình khởi thủy GCMs được 2 nhà khoa học Syukuro Manabe và Kirk Bryan từ Phòng Thí nghiệm Thủy Động lực học Địa Vật lý (Mỹ) phát triển.
- **Mô hình Khí quyển Toàn cầu** (Global Atmospheric Model - GAM) là một phần của bộ mô hình chuyên về khí hậu được phát triển từ các phương trình vi phân dựa vào các định luật vật lý, cơ học chất lưu và hóa học. Mô hình này tính toán tốc độ gió, chuyển hóa nhiệt, bức xạ mặt trời, độ ẩm tương đối và thủy văn nước mặt (Hình 5.3).
- **Mô hình nghiên cứu tác động khí hậu khu vực PRECIS** (Providing Regional Climates for Impact Studies) do Trung tâm Hadley về Nghiên cứu và Dự báo Khí hậu phát triển (Hình 5.4).



Hình 5.3 Mô hình Khí quyển Toàn cầu



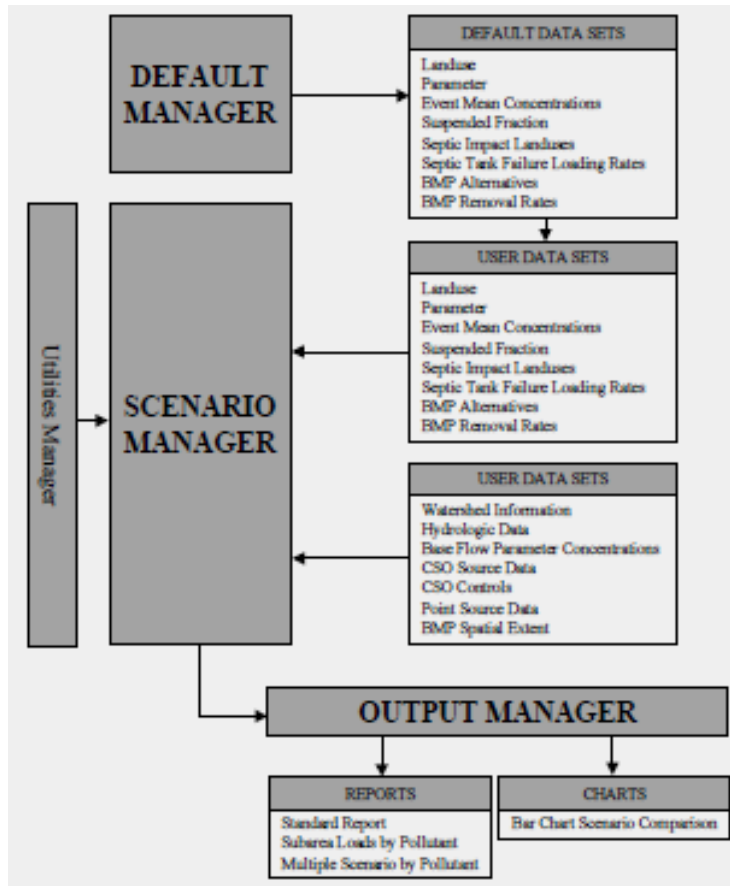
Hình 5.4 Kết quả dự báo sự gia tăng nhiệt độ toàn cầu từ PRECIS

5.3.2 Mô hình quản lý lưu vực

Mô hình Quản lý Lưu vực (Watershed Management Model - WMM) được phát triển bởi nhà khoa học người Mỹ Camp Dresser and McKee (CDM). WMM phát triển chủ yếu để tính toán khả năng dung nạp chất ô nhiễm theo năm hoặc mùa theo dòng chảy tràn xuống lưu vực (Hình 5.5 và 5.6). Chương trình này hữu dụng cho các nhà quản lý chất lượng nước lưu vực.



Hình 5.5 Trang chính mô hình WMM

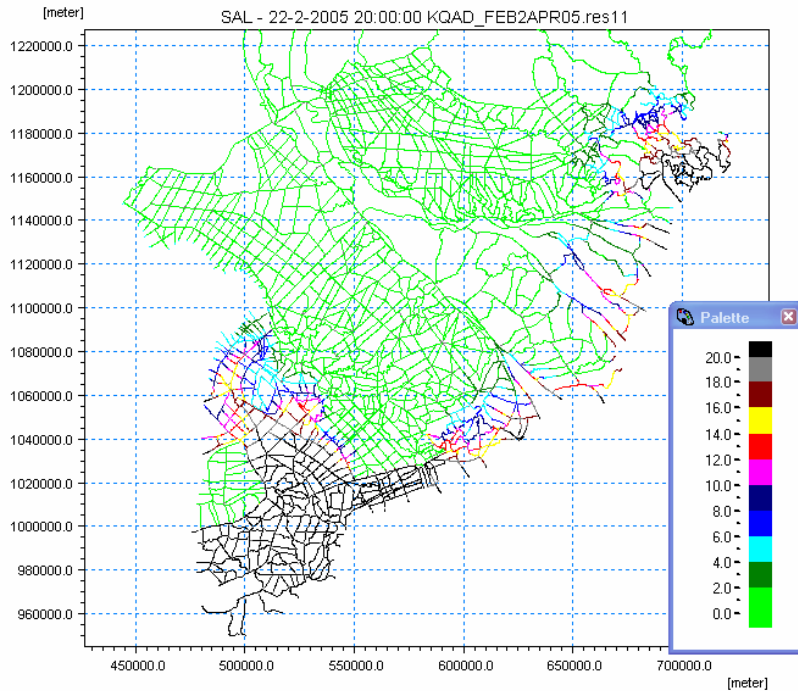


Hình 5.6 Cấu trúc Mô hình Quản lý Lưu vực WMM

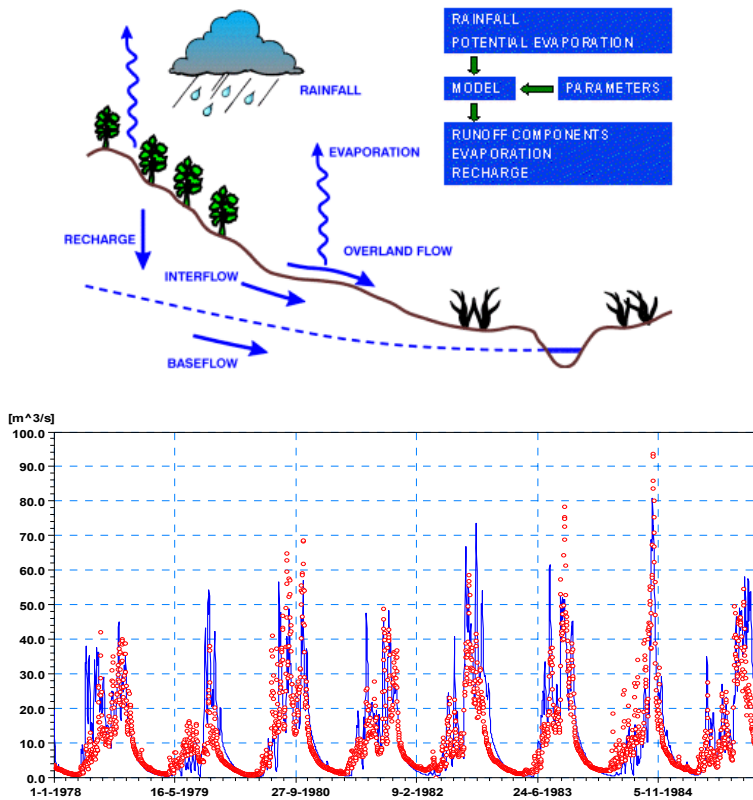
5.3.3 Bộ mô hình thủy lực - thủy văn MIKE

MIKE là tên của bộ mô hình nổi tiếng của Viện Thủy lực Đan Mạch (Danish Hydraulics Institute - DHI) phát triển. Mô hình MIKE thực hiện tốt việc mô phỏng các bài toán liên quan đến thủy văn môi trường như:

- Nghiên cứu xâm nhập mặn (Hình 5.7)
- Nghiên cứu lũ lụt
- Nghiên cứu diễn biến chất lượng nước trên hệ thống sông kênh.
- Nghiên cứu xói lở và bồi lắng dòng sông.
- Nghiên cứu quan hệ mưa - dòng chảy một lưu vực (Mô hình NAM, Hình 5.8)



Hình 5.7 Ví dụ kết quả phân mềm MIKE 11 mô phỏng sự xâm nhập mặn ở ĐBSCL

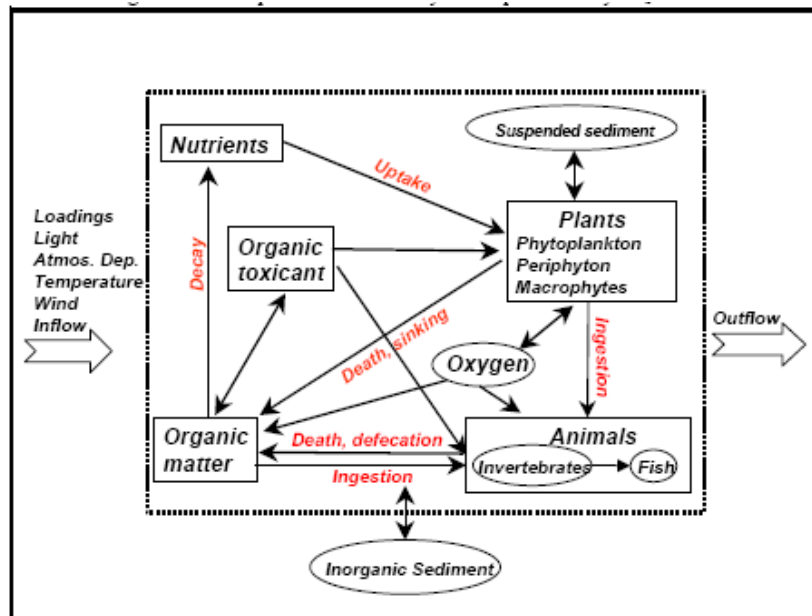
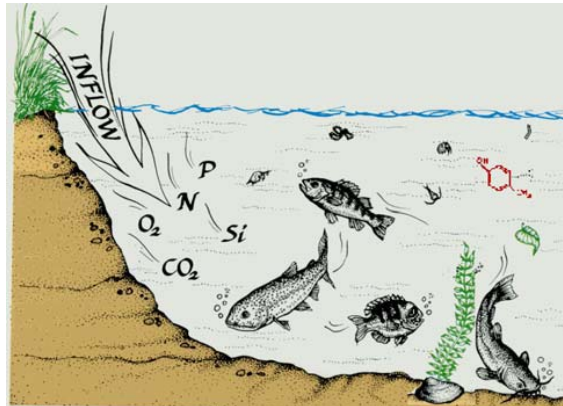


Hình 5.8 Mô hình NAM cho quan hệ mưa - dòng chảy lưu vực

5.3.4 Mô hình ô nhiễm môi trường sinh thái nước ngọt

Mô hình AQUATOX (Release 2.2) là một phần mềm mô phỏng ảnh hưởng của các chất ô nhiễm lên hệ sinh thái nước ngọt (Hình 5.9). Mô hình này là một công cụ tốt cho các nhà nghiên cứu sinh thái nước ngọt, nhà thủy văn môi trường và quản lý tài nguyên thủy sản. Đây là mô hình miễn phí do Cục Bảo vệ Môi trường Mỹ phát triển. Phạm vi ứng dụng của AQUATOX gồm:

- Phát triển mục tiêu dinh dưỡng định lượng theo điểm cuối sinh học mong muốn.
- Đánh giá các yếu tố tạo stress do sự hủy hoại sinh học quan trắc được.
- Dự báo ảnh hưởng thuốc trừ sâu và độc chất hòa tan khác vào thủy sinh.
- Đánh giá tiềm năng chịu đựng của hệ sinh thái đối với các loài xâm nhập.
- Xác định ảnh hưởng của việc sử dụng đất lên thủy sinh.
- Xác lập thời gian hồi phục của cá và cộng đồng động vật không xương sống sau khi giảm mức tải ô nhiễm.



Hình 5.9 Mô hình khái niệm của AQUATOX về thay đổi nồng độ ở thủy vực

Tài liệu tham khảo

- Grayson, R. and Blöschl, G., 2000. *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hillel, D., 1986. *Modelling in Soil Physics: A Critical Review. Future Developments in Soil Science Research*. Soil Sci. Soc. Am., New Orleans.
- Hughes, J. P., Lettenmaier, D. P. and Guttorp, P., 1993. A stochastic approach for assessing the effect of changes in synoptic circulation patterns on gauge precipitation. *Water Resour. Res.* 29, 3303-3315.
- Popov, O. V., 1968. *Underground flow into rivers*. Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Tim, U. S., 1995. Coupling vadose zone models with GIS: Emerging trends and potential bottlenecks. *Proc. ASA-CSSA-SSSA Bouyoucos Conference: Applications of GIS to Modeling Nonpoint-Source Pollutants in the Vadose Zone*. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisc.
- Woolhiser, D. A. and Brakensiek, D. L., 1982. Hydrologic System Synthesis. In: C. T. Haan, Johnson, H.P., Brakensiek, D.L., (Ed.), *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. ASAE Monograph No. 5., St. Joseph, MI.

Phụ lục