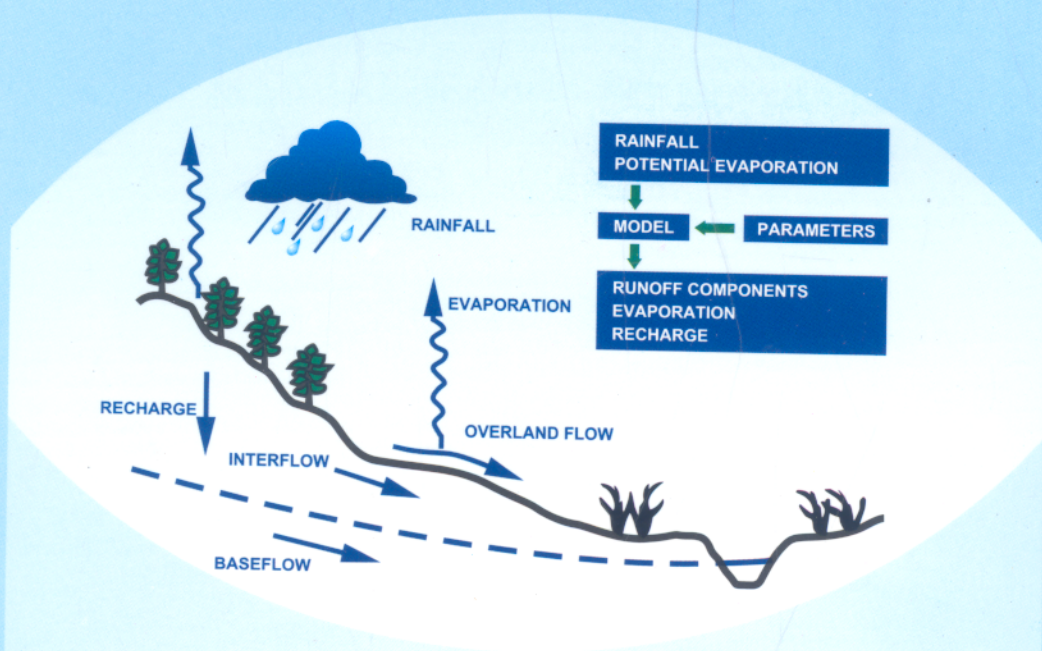


**TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI**  
**BỘ MÔN TÍNH TOÁN THỦY VĂN**

Chủ biên: PGS. TS. LÊ VĂN NGHINH  
PGS. TS. BÙI CÔNG QUANG - ThS. HOÀNG THANH TÙNG

**GIÁO TRÌNH CAO HỌC THỦY LỢI**  
**MÔ HÌNH TOÁN**  
**THỦY VĂN**



**W R U**



**MARD - DANIDA**



**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG**

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY LỢI**  
**BỘ MÔN TÍNH TOÁN THỦY VĂN**

Chủ biên: PGS. TS. LÊ VĂN NGHINH  
PGS. TS. BÙI CÔNG QUANG - ThS. HOÀNG THANH TÙNG

**GIÁO TRÌNH CAO HỌC THỦY LỢI**  
**MÔ HÌNH TOÁN**  
**THỦY VĂN**



W R U



MARD - DANIDA

**NHÀ XUẤT BẢN XÂY DỰNG**  
**HÀ NỘI - 2006**

Các tác giả đã biên soạn giáo trình này dựa trên đề cương môn học, các tài liệu giảng dạy với sự hỗ trợ của các chuyên gia tư vấn quốc tế. Giáo trình do PGS. TS. Trần Thục và PGS. TS. Nguyễn Hữu Khải phản biện. Hội đồng Khoa học và Đào tạo Trường Đại học Thủy lợi đã phê chuẩn cho xuất bản giáo trình này theo Quyết định số 1460/QĐ-ĐHTL-HĐKH & ĐT ngày 20/03/2005. Tiểu hợp phần "Hỗ trợ tăng cường năng lực cho Trường Đại học Thủy lợi" thuộc Chương trình Hỗ trợ ngành nước của DANIDA đã tài trợ kinh phí cho tư vấn quốc tế, trong nước và in ấn giáo trình.

## MỤC LỤC

|                                                                  | Trang |
|------------------------------------------------------------------|-------|
| <i>Lời nói đầu</i>                                               | 7     |
| <b>Chương 1. Khái niệm mô hình toán thủy văn</b>                 |       |
| 1.1. Khái niệm về mô hình toán                                   | 10    |
| 1.2. Phân loại mô hình toán                                      | 11    |
| 1.2.1. Mô hình toán thủy văn ngẫu nhiên                          | 11    |
| 1.2.2. Mô hình toán thủy văn tất định                            | 11    |
| 1.2.3. Mô hình toán thủy văn tất định-ngẫu nhiên                 | 17    |
| 1.3. Quá trình thực hiện mô hình toán                            | 18    |
| 1.3.1. Chọn mô hình ứng dụng                                     | 18    |
| 1.3.2. Thu thập và chỉnh lý các số liệu đầu vào của mô hình      | 18    |
| 1.3.3. Hiệu chỉnh - xác định thông số mô hình                    | 19    |
| 1.3.4. Kiểm định mô hình                                         | 23    |
| 1.3.5. Đánh giá độ chính xác mô phỏng của mô hình                | 24    |
| 1.4. Một số phương pháp tối ưu hoá thông số mô hình              | 26    |
| 1.4.1. Tìm giá trị tối ưu thông số theo phương pháp ô vuông      | 28    |
| 1.4.2. Tìm giá trị tối ưu thông số theo phương pháp mặt cắt vàng | 29    |
| 1.4.3. Tìm giá trị tối ưu thông số theo phương pháp độ dốc       | 31    |
| 1.4.4. Tìm giá trị tối ưu thông số theo phương pháp Rosenbroc    | 31    |
| <b>Chương 2. Mô hình tất định</b>                                |       |
| 2.1. Quá trình hình thành dòng chảy                              | 36    |
| 2.2. Các loại mô hình tất định                                   | 37    |
| 2.2.1. Mô hình quan hệ (Rational model)                          | 38    |
| 2.2.2. Mô hình căn nguyên dòng chảy (Time/Area method)           | 42    |
| 2.2.3. Mô hình sóng động học                                     | 44    |
| 2.2.4. Mô hình lũ đơn vị                                         | 47    |
| 2.2.5. Mô hình nhận thức                                         | 58    |
| <b>Chương 3. Mô hình ngẫu nhiên</b>                              |       |
| 3.1. Tính ngẫu nhiên trong thủy văn                              | 64    |



|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2. Tổng hợp và phân tích chuỗi dữ liệu                                | 65  |
| 3.2.1. Phân tích hồi quy nhiều biến                                     | 65  |
| 3.2.2. Mô hình tự hồi quy bậc p AR(p)                                   | 68  |
| 3.2.3. Mô hình trung bình trượt bậc q MA(q)                             | 72  |
| 3.2.4. Mô hình ARMA(p, q)                                               | 74  |
| 3.3. Mạng trí tuệ nhân tạo (ANN)                                        | 76  |
| 3.3.1. Giới thiệu chung                                                 | 76  |
| 3.3.2. So sánh mô hình ANN với ARMA                                     | 76  |
| 3.3.3. Cấu trúc mạng ANN                                                | 77  |
| 3.3.4. Giới thiệu phần mềm WinNN32                                      | 82  |
| 3.3.5. Hướng dẫn thực hành                                              | 91  |
| <b>Chương 4. Mô hình thủy lực mạng sông</b>                             |     |
| 4.1. Mở đầu                                                             | 93  |
| 4.2. Dòng chảy ổn định và không ổn định trong sông                      | 93  |
| 4.3. Hệ phương trình Saint Venant                                       | 95  |
| 4.3.1. Hệ phương trình chuyển động trong sông                           | 95  |
| 4.3.2. Chuyển phương trình vi phân thành phương trình sai phân          | 97  |
| 4.3.3. Chuyển hệ phương trình Saint Venant thành hệ phương trình đại số | 99  |
| 4.3.4. Tính toán thủy lực cho mạng lưới sông theo sơ đồ ẩn              | 102 |
| 4.3.5. Tính toán thủy lực cho mạng lưới sông theo sơ đồ hiện            | 108 |
| 4.4. Tổng quan về các chương trình tính toán thủy lực                   | 111 |
| <b>Chương 5. Mô hình chất lượng nước</b>                                |     |
| 5.1. Mở đầu                                                             | 112 |
| 5.2. Đặc tính của thể nước                                              | 113 |
| 5.3. Phương trình truyền chất cơ bản                                    | 114 |
| 5.4. Mô hình chất lượng nước đơn giản nhất                              | 116 |
| 5.5. Các mô hình phản ứng song đôi                                      | 118 |
| 5.6. Mô hình Streeter-Phelp                                             | 119 |
| 5.7. Mô hình QUAL2E                                                     | 121 |
| 5.7.1. Giới thiệu mô hình QUAL2E                                        | 121 |

---

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 5.7.2. Các công thức tổng quát dùng trong mô hình      | 122 |
| 5.7.3. Các phản ứng và quan hệ tương tác               | 128 |
| 5.7.4. Biểu thị nhiệt độ dưới dạng hàm số              | 132 |
| 5.7.5. Giới thiệu về chương trình tính mẫu             | 135 |
| 5.8. Mô hình CORMIX                                    | 136 |
| 5.8.1. Giới thiệu chung về mô hình CORMIX              | 136 |
| 5.8.2. Số liệu đầu vào của mô hình CORMIX              | 137 |
| 5.8.3. Các đặc trưng đầu ra của mô hình                | 144 |
| <b>Phụ lục</b>                                         |     |
| Phụ lục 1: Các bảng tra dùng cho kiểm định thống kê    | 147 |
| Phụ lục 2: Các màn hình vào dữ liệu của mô hình CORMIX | 152 |
| <b>Tài liệu tham khảo</b>                              | 161 |

## LỜI NÓI ĐẦU

Mô hình toán thủy lợi ngày nay đã trở thành một lĩnh vực không thể thiếu được trong tất cả các bài toán thủy văn liên quan đến sử dụng khai thác, quản lý tài nguyên nước như: tính toán các đặc trưng dòng chảy, dự báo thủy văn, tính toán cân bằng và quy hoạch sử dụng nguồn nước, quy hoạch phòng lũ, quản lý tổng hợp tài nguyên nước.

Được sự hỗ trợ của dự án Đan Mạch Bộ môn **Tính toán thủy văn** đã biên soạn cuốn **Giáo trình cao học Thủy lợi Mô hình toán Thủy văn** dùng để giảng dạy cho học viên cao học ngành Thủy văn Môi trường - Trường đại học Thủy lợi, đồng thời cũng là một cuốn tài liệu tham khảo bổ ích cho sinh viên các ngành có liên quan, các nhà thủy văn ứng dụng, những người muốn sử dụng mô hình toán thủy văn để ứng dụng vào lĩnh vực nghiên cứu của mình.

Nội dung của sách được trình bày một cách hệ thống về các loại mô hình toán được ứng dụng hiện nay trong lĩnh vực thủy văn, được cập nhập thêm những thông tin mới về mô hình toán về vấn đề ứng dụng chúng trong các bài toán liên quan đến sử dụng tài nguyên nước ở Việt Nam cũng như trên thế giới.

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn dự án Đan Mạch về "Nâng cao năng lực giảng dạy của Trường đại học Thủy lợi" đã mời chuyên gia nước ngoài trao đổi góp ý xây dựng đề cương cũng như cung cấp tài liệu để chúng tôi hoàn thành giáo trình.

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn PGS. TS. Trần Thục - Viện trưởng Viện Khí tượng - Thủy văn, PGS. TS. Nguyễn Hữu Khải - Giảng viên trường Đại học Khoa học tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội đã những ý kiến đóng góp quý báu về nội dung cũng như hình thức giáo trình.

Các tác giả

## Chương 1

# KHÁI NIỆM MÔ HÌNH TOÁN THỦY VĂN

Trong vài chục năm gần đây, những thành tựu khoa học, kỹ thuật đặc biệt là các lĩnh vực vật lý, toán học tính toán cùng với việc áp dụng máy tính điện tử đã có ảnh hưởng sâu sắc đến khoa học thủy văn. Có thể nói việc ứng dụng những thành tựu này đã làm thay đổi cả về chất và lượng bộ môn khoa học thủy văn. Phương pháp mô hình toán đã cho phép các nhà thủy văn mô phỏng các quá trình, hiện tượng thủy văn – sự vận động rất phức tạp của nước trong tự nhiên dưới dạng các phương trình toán học, lôgic và giải chúng trên các máy tính điện tử. Phương pháp mô hình toán có nhiều khả năng xem xét những diễn biến của hiện tượng thủy văn từ vi mô đến vĩ mô. Đây là một trong những hướng nghiên cứu thủy văn hiện đại. Nó đã và đang cho phép cung cấp những thông tin cần thiết cho các đối tượng sử dụng nguồn nước khác nhau trong quy hoạch, thiết kế và khai thác tối ưu tài nguyên nước.

Ở Việt Nam, việc ứng dụng phương pháp mô hình toán vào nghiên cứu, tính toán trong thủy văn có thể xem như được bắt đầu từ cuối những năm 60, qua việc Ủy ban sông Mêkông ứng dụng các mô hình như SSARR (Rokwood D.M. Vol.1 - 1968) [1] của Mỹ, mô hình DELTA của Pháp (Ban thư ký sông Mêkông 1980) [2] và mô hình toán triều của Hà Lan vào tính toán, dự báo dòng chảy sông Mêkông. Song, chỉ sau ngày miền Nam được hoàn toàn giải phóng (1975), đất nước thống nhất thì phương pháp này mới ngày càng thực sự trở thành công cụ quan trọng trong tính toán, dự báo thủy văn ở nước ta. Ngày nay, ngoài các mô hình trên, một số mô hình khác như mô hình TANK (Nhật), mô hình ARIMA cũng đang được nhiều cơ quan nghiên cứu ứng dụng (Sugawra M., Ozaki E., Watanabe I., Katsuyama Y., Tokyo - 1974)[3]. Với kết quả nghiên cứu bước đầu của nhiều tác giả Việt Nam đã cho thấy các mô hình trên có nhiều khả năng ứng dụng tốt trong nhiều bài toán khác nhau phục vụ cho quy hoạch, thiết kế và điều hành khai thác nguồn nước. Do vậy, để nâng cao hơn nữa khả năng ứng dụng của các mô hình, cần có những nghiên cứu bổ sung hoàn thiện (cả về cấu trúc cũng như phương pháp hiệu chỉnh tham số mô hình) cho phù hợp với điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội cả nước ta.

Ngày nay, công cuộc phát triển kinh tế của đất nước đang đòi hỏi phải có những chiến lược khai thác tài nguyên (trong đó có tài nguyên nước) một cách hợp lý đem lại những

hiệu quả kinh tế cao. Nhưng trong thực tế, độ dài các chuỗi số liệu thực đo về các yếu tố khí tượng thủy văn trên các lưu vực vừa và nhỏ ở nước ta chưa đáp ứng yêu cầu. Từ đó, những bài toán đang cần được nghiên cứu giải quyết là tính toán dòng chảy từ mưa, tính toán khôi phục các chuỗi số liệu dòng chảy, dự báo tình hình dòng chảy trong tương lai... Đó là những bài toán cơ bản đầu tiên trong tính toán quy hoạch, thiết kế và điều hành khai thác tối ưu các hệ thống nguồn nước trước mắt cũng như lâu dài.

### 1.1. KHÁI NIỆM VỀ MÔ HÌNH TOÁN

Thủy văn là một quá trình tự nhiên phức tạp, chịu tác động của rất nhiều yếu tố. Thủy văn học là khoa học nghiên cứu về nước trên trái đất, cũng giống như nhiều ngành khoa học tự nhiên khác, quá trình nghiên cứu, phát triển của nó thường trải qua các giai đoạn:

- Quan sát hiện tượng, mô tả, ghi chép thời điểm xuất hiện.
- Thực nghiệm: lặp lại những điều đã xảy ra trong tự nhiên với quy mô thu nhỏ.
- Giải thích hiện tượng, phân tích rút ra quy luật. Kiểm tra mức độ phù hợp của quy luật với điều kiện thực tế, ứng dụng phục vụ lợi ích của con người.

Việc lặp lại các hiện tượng thủy văn trong phòng thí nghiệm có thể thực hiện bằng các mô hình vật lý (như: dụng cụ Lizimet đo bốc hơi và thấm, mô hình mưa nhân tạo và bãi dòng chảy để nghiên cứu sự hình thành dòng chảy, xói mòn bề mặt...) song chi phí cho xây dựng mô hình vật lý rất tốn kém. Các mô hình vật lý thường chỉ phù hợp với không gian không quá lớn, ví dụ công trình đầu mối của một hệ thống thủy lợi, một đập tràn hoặc một cống ngầm, một đoạn sông... Khi không gian mở rộng hơn tới hệ thống một vài hồ chứa, một vài trạm bơm hoặc một hệ thống thủy nông... thì chi phí cho một mô hình vật lý tăng lên rất nhiều. Cách giải quyết đầu tiên là chọn tỷ lệ thu nhỏ, cách giải quyết thứ hai là chọn tỷ lệ biến dạng. Cả hai cách này đều làm giảm mức độ chính xác của kết quả tính toán. Ví dụ khi nghiên cứu hiện tượng nước lũ tràn qua đồng bằng sông Cửu Long, diện tích ngập lụt lên tới 5 vạn  $\text{km}^2$ , chiều dài dòng sông chính tới 433 km chiều rộng từ 400 m tới 2000 m, chiều sâu ngập nước có nơi tới 45 m nhưng có nơi chỉ không tới 0,5 m, rõ ràng không thể xây dựng một mô hình vật lý cho không gian lớn như vậy dù có chọn tỷ lệ biến dạng nào thì cũng không thể biểu diễn được trên cùng một mô hình vật lý tốc độ nước chảy 2,5 m/s trong sông và tốc độ nước chảy 0,05m/s tràn qua đồng bằng. Chưa kể khi thu nhỏ mô hình, làm giảm tốc độ chảy sẽ chuyển chế độ chảy rối trong thực tế thành chảy tầng trên mô hình làm sai lệch hẳn kết quả tính toán.

Xuất phát từ những khó khăn đó chỉ còn cách lựa chọn duy nhất là dùng mô hình toán.

Hiện nay mô hình toán thủy văn đang phát triển rất nhanh chóng vì có các ưu điểm sau:

- 1- Phạm vi ứng dụng rất rộng rãi, đa dạng với rất nhiều loại mô hình. Mô hình toán rất phù hợp với không gian nghiên cứu rộng lớn như quy hoạch thoát lũ cho lưu vực sông, hệ



thống sông, điều hành hệ thống công trình thủy lợi, quản lý khai thác nguồn nước lưu vực sông....

2- Ứng dụng mô hình toán trong thủy văn giá thành rẻ hơn và cho kết quả nhanh hơn mô hình vật lý.

3- Việc thay đổi phương án trong mô toán thực hiện rất nhanh.

Sự phát triển của máy tính điện tử và phương pháp tính đã tạo ra điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của mô hình toán, cấu trúc của mô hình ngày càng đa dạng, phức tạp, mô tả sát thực hiện tượng hiện tượng thủy văn. Tuy nhiên mô hình toán phát triển rất nhanh, đa dạng và có hiệu quả nhưng không thể hoàn toàn thay thế được mô hình vật lý. Chính các kết quả đo đạc trên mô hình vật lý sẽ giúp cho việc hiệu chỉnh thông số của mô hình toán được chính xác hơn, bản chất vật lý của hiện tượng được làm rõ hơn. Vì những lý do trên nên cả hai loại mô hình hiện đang được phát triển song song trong thực tế. Do vậy người sử dụng cần biết và chọn đúng loại mô hình trong từng trường hợp cụ thể mới cho kết quả chính xác và giá thành hạ.

Mô hình toán thủy văn hiểu theo nghĩa rộng là cách mô tả các hiện tượng thủy văn bằng các biểu thức toán học. Có rất nhiều loại mô hình toán khác nhau: loại mô tả sự hình thành dòng chảy trong sông, loại mô tả số lượng nước mặt, loại mô tả số lượng nước ngầm, loại mô tả hàm lượng bùn cát, loại mô tả chất lượng nước, loại mô phỏng cách quản lý lưu vực...

## 1.2. PHÂN LOẠI MÔ HÌNH TOÁN

Việc phân loại các mô hình toán thủy văn không thống nhất vì các mô hình luôn phát triển đa dạng, khi xây dựng mô hình người ta chú ý nhiều tới khả năng áp dụng thuận tiện để giải quyết tốt bài toán thực tế đặt ra chứ không chú ý tới xếp loại, ví dụ nên có mô hình vừa giải quyết tính toán số lượng nước vừa giải quyết tính toán chất lượng nước như mô hình tiêu nước đô thị SWMM (Storm Water Managment Model).

Trên hình 1.1 là hai sơ đồ phân loại mô hình toán thủy văn theo hai quan điểm khác nhau, tuy nhiên phần lớn đều theo sơ đồ thứ nhất. Sau đây ta xem xét các mô hình toán thủy văn trong phân loại này.

### 1.2.1. Mô hình toán thủy văn ngẫu nhiên

Như ta đã biết các quá trình thủy văn là các quá trình tự nhiên bị chi phối rất nhiều yếu tố do đó chúng mang đặc tính ngẫu nhiên. Khi đề cập đến các mô hình toán thủy văn ngẫu nhiên trong tính toán thủy văn Yevjevich V. (Yevjevich V. - 1976) [4] đã coi các quá trình khí tượng thủy văn thuộc loại quá trình có tính chất chu kỳ ngẫu nhiên. Tính chu kỳ của hiện tượng thủy văn được quy định bởi các chu trình thiên văn, còn tính ngẫu nhiên của nó bị chi phối bởi những biến đổi của môi trường trên trái đất. Nhìn vào các chuỗi thủy văn

quan trắc được dễ dàng nhận thấy các chu kỳ thiên văn quy định các chu kỳ của hiện tượng thủy văn với các chu kỳ ngày, tháng, mùa, năm và nhiều năm.

Đặc điểm chu kỳ của các chuỗi khí tượng thủy văn thường được biểu thị trong mô hình toán dưới dạng các tham số như: tham số trị bình quân (giá trị kỳ vọng), các tham số bậc hai (gồm các hệ số tương quan, khoảng lệch trung bình bình phương), các tham số bậc ba (hệ số không đối xứng). Thành phần ngẫu nhiên thường gọi là nhiễu hay ồn như dạng nhiễu trắng (white noise)...

Trong các mô hình ngẫu nhiên có một số giả thiết nhất định. Những giả thiết này thường được khái quát, phát triển trên cơ sở kinh nghiệm, thử nghiệm nghiên cứu các chuỗi số liệu thủy văn (chuỗi dòng chảy ngày, chuỗi dòng chảy tháng, và chuỗi dòng chảy năm...) và từ đặc tính vật lý của các quá trình cũng như sự hiểu biết về hiện tượng thủy văn của người xây dựng mô hình.

Nhìn chung các mô hình toán thủy văn ngẫu nhiên đều dựa vào những giả thiết về tính dừng và tính logic của chuỗi nghiên cứu.

Theo Dawdy (Dawdy D.R. -1969) [5] mô hình toán ngẫu nhiên trong thủy văn là một phương pháp tương đối mới. Sự khởi đầu của nó có thể tính từ khi Hazen chứng minh khả năng áp dụng lý thuyết xác suất, thống kê toán học vào phân tích các chuỗi dòng chảy sông ngòi (1914). Năm 1949 Krisski và Menkel đã sử dụng mô hình Marcov để tính toán quá trình dao động mực nước của biển Kaspian (Liên Xô) [6].

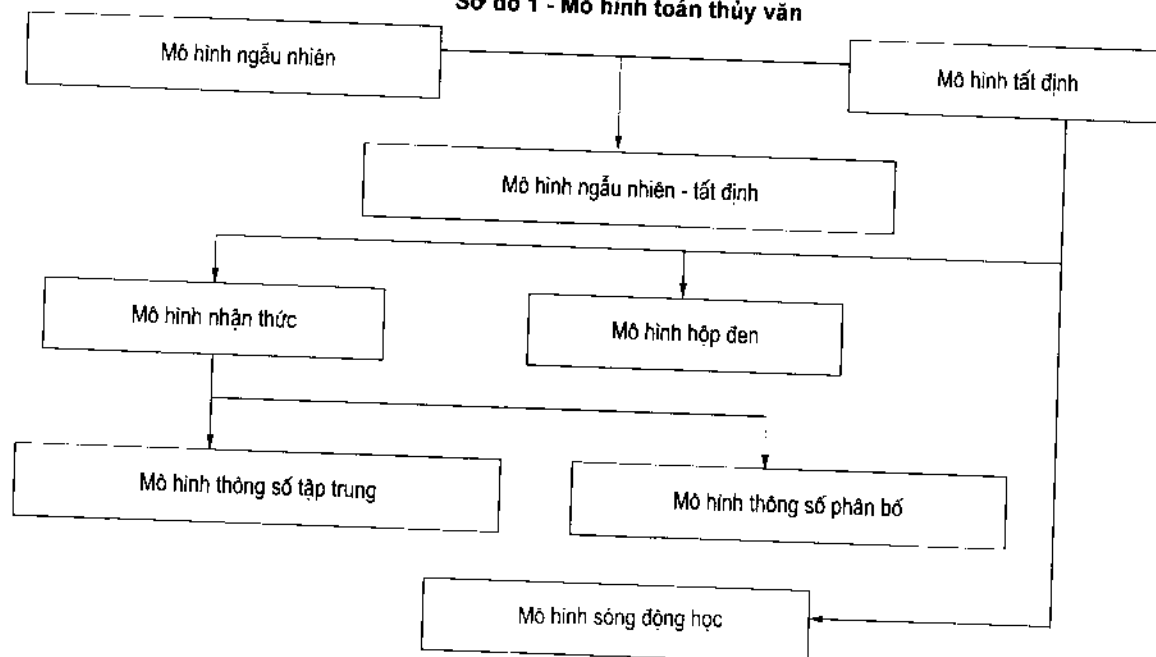
Vào những năm 1960 của thế kỷ XX có thể xem như các mô hình toán thủy văn ngẫu nhiên mới chính thức được phát triển. Năm 1962 Svanidze đã sử dụng phương pháp Monte -- Carlo có xét đến những mối quan hệ bậc một của các chuỗi dòng chảy sông ngòi. Năm 1962, trong chương trình phát triển nguồn nước của Trường Đại học Havard (Thomas H.A. và Fiering M.B.) [7] đã sử dụng mô hình tự hồi quy vào tạo chuỗi dòng chảy tháng phục vụ cho tính toán thiết kế các hệ thống kho nước. Năm 1963 (Matalas N.C.) đã sử dụng mô hình trung bình trượt (moving average models) vào tính toán dòng chảy từ những trận mưa kỳ trước [8]. Sau đó là một loạt mô hình ngẫu nhiên khác ra đời và được ứng dụng vào tính toán thủy văn, dự báo thủy văn (O' Connel P.E. -1977)[9].

Các mô hình ngẫu nhiên đã làm cho vấn đề sử dụng trực tiếp dòng chảy đo được trong quá khứ dự báo và ước tính dòng chảy sẽ xảy ra trong tương lai để tính toán xác định dung tích kho nước khi tính toán thiết kế và điều hành khai thác nguồn nước không còn là biện pháp duy nhất. Việc sử dụng các chuỗi dòng chảy nhân tạo – kết quả việc ứng dụng các mô hình ngẫu nhiên không chỉ đối với những lưu vực thiếu tài liệu quan trắc mà còn ngay cả những trường hợp chuỗi quan trắc dài có thể sử dụng để tính toán kiểm tra đánh giá.

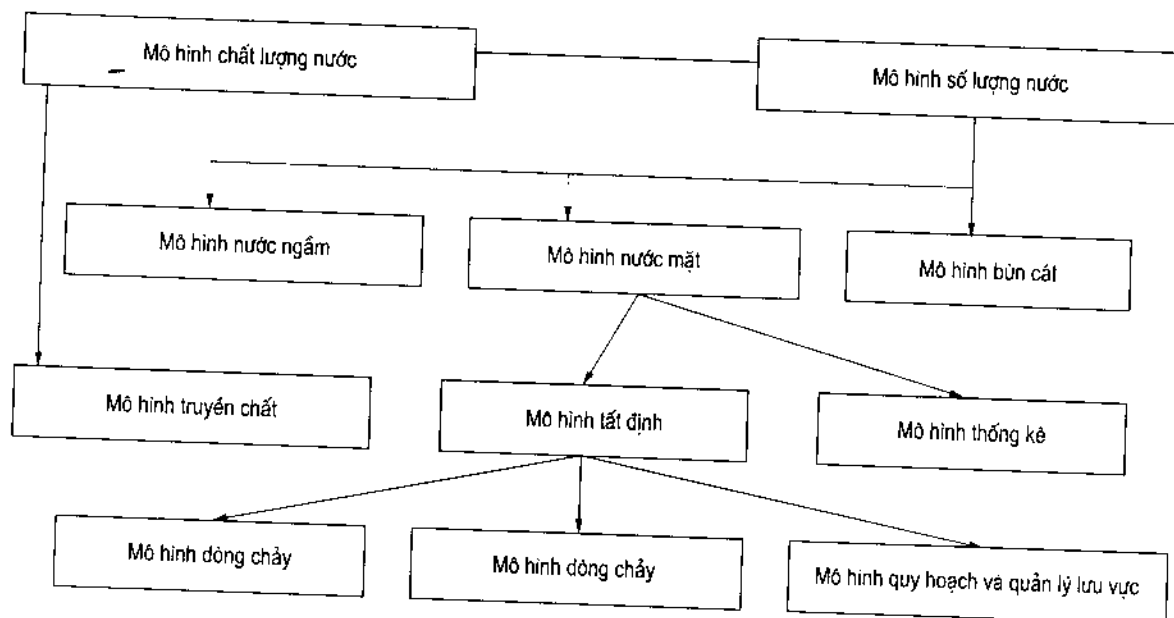
Tóm lại bằng mô hình hóa toán học ta có thể tìm được những sự thể hiện khác nhau của các quá trình ngẫu nhiên nghiên cứu có khả năng xảy ra trong tương lai. Bởi vậy, trong lý thuyết điều tiết dòng chảy việc sử dụng các mô hình toán thủy văn để dự báo, ước báo

nguồn nước có ý nghĩa rất quan trọng. Với các chuỗi dòng chảy ước báo bằng mô hình có các tham số thống kê nhận được từ chuỗi tài liệu thực đo sẽ cho phép các nhà quy hoạch, thiết kế các công trình sử dụng nguồn nước xem xét đánh giá được những tổ hợp khác nhau để tìm ra những dung tích kho nước hợp lý, các phương án vận hành tối ưu trong sử dụng nguồn nước của hệ thống.

Sơ đồ 1 - Mô hình toán thủy văn



Sơ đồ 2 - Mô hình toán thủy văn



Hình 1.1: Sơ đồ phân loại mô hình toán thủy văn

### 1.2.2. Mô hình toán thủy văn tất định

Mô hình toán tất định coi quá trình thủy văn là kết quả tất nhiên của các yếu tố vật lý là chủ yếu còn vai trò của yếu tố ngẫu nhiên chỉ thể hiện bởi sự giao động của chúng. Từ góc độ của lý thuyết hệ thống, mô hình toán tất định được xây dựng trên những giả thiết coi các mối quan hệ giữa lượng vào và lượng ra của hệ thống thủy văn (lưu vực sông hay đoạn sông...) đã được xác định. Nói một cách khác, với một đầu vào xác định sẽ có một đầu ra tương ứng xác định. Phản ứng của hệ thống đối với đầu vào (cấu trúc của mô hình) được mô phỏng bằng các biểu thức toán học, các biểu thức logic với những tham số không chứa thành phần ngẫu nhiên.

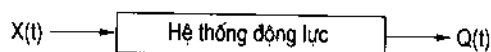
Các mô hình thủy văn tất định dựa trên phương pháp toán học và sử dụng máy tính làm công cụ tính toán là cách tiếp cận hiện đại trong tính toán quá trình dòng chảy trên lưu vực và hệ thống sông. Việc ra đời các mô hình thủy văn tất định đã mở ra một hướng mới cho tính toán thủy văn, góp phần giải quyết các khó khăn về số liệu thủy văn cũng như nâng cao độ chính xác của tính toán cho quy hoạch và thiết kế các công trình thủy lợi, thủy điện, khắc phục một số khó khăn mà phương pháp tính toán thủy văn cổ điển chưa giải quyết được.

Các mô hình toán thủy văn tất định chủ yếu được dùng vào việc mô phỏng mối quan hệ mưa dòng chảy trên lưu vực, quá trình vận động của nước trên lưu vực, trên các hệ thống sông. Loại mô hình này được phổ biến dùng trong các bài toán dự báo dòng chảy ngắn hạn, khôi phục các chuỗi số liệu dòng chảy từ chuỗi số liệu mưa. Một trong những ưu điểm của mô hình toán tất định là có khả năng xem xét, đánh giá được những ảnh hưởng của các phản ứng trong hệ thống khi cấu trúc bên trong nó có sự thay đổi, như xây dựng các kho nước điều tiết dòng chảy, phát triển và khai thác rừng ở thượng nguồn...

Phương pháp mô hình toán tất định ra đời tương đối sớm và dần dần hình thành hai hướng nghiên cứu: hướng mô hình toán dạng hộp đen và hướng mô hình toán dạng hộp xám (hay còn gọi là mô hình nhận thức). Trong mô hình nhận thức còn phân ra mô hình tham số tập trung và mô hình tham số phân bố.

#### 1.2.2.1. Mô hình toán hộp đen

Trong mô hình hộp đen lưu vực được coi là một hệ thống động lực. Nhìn chung, cấu trúc của các mô hình hộp đen là hoàn toàn không biết trước. Mối quan hệ giữa lượng vào và lượng ra của hệ thống thể hiện thông qua một hàm truyền (hàm ảnh hưởng, hàm tập trung nước ...) được xác định từ tài liệu thực đo lượng vào và lượng ra của hệ thống.



**Hình 1.2:** Sơ đồ mô hình dạng hộp đen

Xuất phát từ lý thuyết hệ thống, các hệ thống thủy văn thuộc hệ thống tuyến tính nếu chúng thoả mãn nguyên lý "xếp chồng", nghĩa là phản ứng của hệ thống đối với tổ hợp đầu vào sẽ tương ứng với tổng các phản ứng đối với từng đầu vào riêng rẽ, thông số của hệ thống sẽ phụ thuộc vào phản ứng của hệ thống.

Khi hàm ảnh hưởng của hệ thống đã được xác định, để có quá trình lượng ra các mô hình hộp đen đều phải tính tích phân chập Duhamel (hay công thức căn nguyên dòng chảy) dạng:

$$Q(t) = \int_0^t u(t - \theta).X(\theta)d\theta \quad (1-1)$$

Trong đó:  $Q(t)$  - lưu lượng ra của hệ thống (dòng chảy tại cửa ra của lưu vực);

$X(r)$  - lượng vào của hệ thống (lượng mưa rơi trên lưu vực);

$U(t)$  - hàm truyền của hệ thống (hàm ảnh hưởng).

Sự khác nhau giữa các mô hình hộp đen được phân biệt bởi các phương pháp xác định hàm truyền  $U(t)$  theo  $Q(t)$  và  $X(t)$  quan trắc được. Trong thủy văn, thường đề cập đến các phương án xác định hàm ảnh hưởng sau đây:

- Phương pháp đường lưu lượng đơn vị
- Phương pháp đường chảy đẳng thời
- Phương pháp giải bài toán ngược

Hàm ảnh hưởng trong mô hình hộp đen là sự mô phỏng những tác động tổng hợp của các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình mưa - dòng chảy trên lưu vực dưới dạng ẩn tàng. Như vậy ở đây không xét đến mối quan hệ riêng rẽ giữa các nhân tố, các đặc tính địa vật lý cơ bản của lưu vực. Với dạng mô hình này ta không thể xem xét, đánh giá một cách thỏa đáng những tác động thay đổi trên lưu vực do tự nhiên hay do con người tạo ra. Chính vì lẽ đó các mô hình dạng hộp đen chỉ phát huy được ở vài loại bài toán thủy văn.

Một trong những mô hình toán thủy văn dạng hộp đen vẫn còn dùng nhiều là mô hình đường lưu lượng đơn vị.

Mô hình đường lưu lượng đơn vị lần đầu tiên do Sherman đưa ra vào năm 1932 để tính toán quá trình dòng chảy mặt từ quá trình mưa hiệu quả (lượng mưa sau khi khấu trừ tổn thất). Mô hình này được ứng dụng phổ biến ở Mỹ và các nước Tây Âu dưới các dạng thức khác nhau. Những giả thiết cơ bản của mô hình đường lưu lượng đơn vị là tính chất tuyến tính và tính bất biến theo thời gian.

Việt Nam, với đặc điểm của vùng khí hậu nhiệt đới ẩm gió mùa, có nền địa hình chia cắt mạnh, sông ngòi thường ngắn và dốc đã tạo cho chế độ dòng chảy trong sông chịu sự chi phối khá chặt chẽ bởi chế độ mưa, khả năng tập trung dòng chảy nhanh, dòng chảy lũ

chủ yếu là quá trình chảy tràn trên sườn dốc... Những đặc điểm này tạo điều kiện thuận lợi để áp dụng mô hình đường lưu lượng đơn vị trong tính toán thủy văn. Qua một số công trình nghiên cứu đánh giá khả năng ứng dụng mô hình này để tính toán dòng chảy cho những lưu vực nhỏ ở nước ta hiện nay cho thấy tính ổn định của các đường lũ đơn vị không cao. Điều này có thể lý giải bởi một số giả thiết cơ bản của mô hình bị vi phạm, chẳng hạn như giả thiết về sự phân bố lượng mưa, lượng tổn thất đều trên toàn lưu vực. Hiện nay mô hình đường lưu lượng đơn vị vẫn còn phát huy tác dụng trong những bài toán tính dòng chảy thiết kế cho lưu vực nhỏ.

#### **1.2.2.2. Mô hình nhận thức**

Từ những hạn chế của mô hình toán hộp đen, nhiều nhà thủy văn đã cho ra đời các mô hình nhận thức (conceptual models). Về mặt cấu trúc, những mô hình nhận thức có thể xếp vào vị trí trung gian giữa mô hình hộp đen và mô hình thủy lực (Dooge J.C.L.) [10].

Mô hình nhận thức ra đời sau mô hình hộp đen, nhưng đã phát triển rất mạnh mẽ và ứng dụng rất rộng rãi trong lĩnh vực thủy văn. Mô hình tất định nhận thức xuất phát từ sự hiểu biết và nhận thức một cách rõ ràng từng thành phần của hệ thống thủy văn để tiếp cận hệ thống bằng phương pháp mô phỏng, thí dụ như là mô phỏng các quá trình tổn thất, quá trình trữ nước, quá trình tập trung dòng chảy trên lưu vực và trong sông, ... từ đó xây dựng sơ đồ cấu trúc mô hình để tính toán dòng chảy lưu vực.

Do phải đề cập, mô phỏng toán học tất cả các thành phần của quá trình thủy văn lưu vực trên lưu vực nên cấu trúc của các mô hình nhận thức phức tạp hơn nhiều so với mô hình hộp đen và trong mô hình thường có nhiều thông số cần phải xác định.

Có rất nhiều mô hình nhận thức khác nhau. Sự khác nhau giữa các mô hình này được đánh giá qua sơ đồ cấu trúc mô hình và cách thức mô phỏng các quy luật vật lý của từng thành phần, những mối quan hệ giữa các nhân tố trong hệ thống nghiên cứu. Việc mô phỏng cụ thể các thành phần bên trong của hệ thống thủy văn làm cho các mô hình nhận thức có thể tiếp cận khá tốt quá trình hình thành dòng chảy trên lưu vực và còn được gọi là dạng mô hình hộp xám (grey box model).

Cấu trúc của các mô hình nhận thức dựa vào kết quả nghiên cứu những quy luật hình thành và vận động của các quá trình thành phần trong sự hình thành dòng chảy trên một hệ thống thủy văn. Đó là các quá trình mưa, quá trình trữ nước trên bề mặt, quá trình thấm, quá trình bốc hơi, thoát hơi, quá trình chảy tràn trên sườn dốc lưu vực, quá trình chảy trong lòng dẫn... Các mô hình nhận thức thường là tập hợp nhiều mô hình thành phần.

Trong mô hình nhận thức, nếu dựa vào đặc tính biểu thị của các tham số ta có thể chia mô hình ra loại mô hình tham số tập trung và mô hình tham số phân phối. Những mô hình tham số tập trung thường dùng các phương trình vi phân thường để diễn tả mối quan hệ giữa lượng vào và lượng ra của hệ thống chỉ phụ thuộc vào thời gian. Vì vậy, trong các mô

hình tham số tập trung không xét đến sự phân bố của lượng mưa, dòng chảy, tính chất thấm của đất và các yếu tố thủy văn, khí tượng khác theo không gian, chúng được thay thế bằng những giá trị bình quân theo diện tích, chúng đều là hàm số của thời gian. Nói một cách khác, tất cả các đặc trưng của lưu vực được tập trung về một điểm. Trong khi đó các mô hình tham số phân phối mô tả các mối quan hệ giữa những yếu tố của hệ thống bằng các phương trình vi phân đạo hàm riêng, nghĩa là các phương trình chứa cả biến thời gian và không gian.

Phần lớn các mô hình nhận thức đều có cấu trúc khá phức tạp, nhiều tham số phải được ước tính từ các tài liệu thực đo. Do cách mô phỏng sát với quá trình hình thành và vận động của nước trên lưu vực sông, nên các mô hình nhận thức không chỉ cho phép tính dòng chảy từ mưa khá phù hợp với quá trình dòng chảy thực đo mà còn cho phép các nhà quy hoạch, thiết kế nguồn nước xem xét, đánh giá những phản ứng của hệ thống thủy văn khi họ muốn thay đổi một bộ phận hay toàn bộ cấu trúc của hệ đó. Thí dụ như xây dựng các kho nước trên lưu vực hay lựa chọn những giải pháp khai thác tài nguyên nước một cách tối ưu.

Trong những năm gần đây các mô hình nhận thức phát triển khá nhanh cả về số lượng và chất lượng. Nó đã góp phần đáng kể trong sự phát triển của khoa học thủy văn. Hiện nay rất nhiều nước trên thế giới đã xây dựng và ứng dụng rộng rãi trong thực tế nhiều mô hình thủy văn tất định nhận thức. Tại Việt Nam các mô hình nhận thức được biết đến và nghiên cứu ứng dụng rộng rãi kể từ sau ngày miền Nam giải phóng thống nhất đất nước.

Các mô hình tất định nhận thức đã được nghiên cứu và ứng dụng có kết quả trong những năm qua ở nước ta bao gồm các mô hình thủy văn lưu vực và mô hình hệ thống sông như mô hình TANK, SSARR, NAM, HEC-HMS, MITSIM, MIKE BASIN, STANFORD, RRMOD (Linsley R.K.) [13]. Các mô hình này đã được ứng dụng để khôi phục các chuỗi số liệu dòng chảy lưu vực từ mưa phục vụ cho quy hoạch và nghiên cứu khả thi, thiết kế các công trình hồ chứa phục tưới và phát điện; hoặc vận hành hệ thống công trình phòng lũ và phát điện, tính toán cân bằng nước hệ thống sông.

### 1.2.3. Mô hình toán thủy văn ngẫu nhiên - tất định

Gần đây, trong rất nhiều ứng dụng như dự báo dòng chảy, người ta đã sử dụng kết hợp cả mô hình tất định với mô hình ngẫu nhiên, trong đó mô hình tất định dùng để đưa ra trị số dự báo ban đầu, và mô hình ngẫu nhiên dùng để dự báo sai số dự báo (sử dụng chuỗi sai số dự báo lịch sử là chuỗi số mang tính chất ngẫu nhiên và có tính dừng) rồi sau đó tiến hành hiệu chỉnh để cho ra giá trị dự báo cuối cùng. Việc kết hợp hai loại mô hình này cho thấy tính hiệu quả cao, đặc biệt đối với việc dự báo các đại lượng vừa chứa đựng tính ngẫu nhiên vừa chứa đựng tính tất định như lưu lượng nước (là hàm của lượng mưa, độ ẩm (tính tất định)... nhưng đồng thời cũng mang tính ngẫu nhiên của chính chuỗi lưu lượng đó).

### 1.3. QUÁ TRÌNH ỨNG DỤNG MÔ HÌNH TOÁN

Để ứng dụng một mô hình toán vào bài toán thực tế ta cần thực hiện theo các bước sau:

1. Lựa chọn mô hình ứng dụng,
2. Thu thập và phân tích chuẩn bị số liệu đầu vào của mô hình,
3. Hiệu chỉnh xác định thông số mô hình,
4. Kiểm định mô hình,
5. Ứng dụng mô hình,
6. Đánh giá và kiểm tra tính hợp lý kết quả ứng dụng mô hình.

#### 1.3.1. Chọn mô hình ứng dụng.

Như trên đã phân tích, chúng ta có rất nhiều dạng mô hình toán trong thủy văn, việc ứng dụng mô hình này hay mô hình kia phụ thuộc vào nhiều điều kiện khác nhau. Để chọn mô hình ứng dụng ta có thể dựa vào các cơ sở sau:

- Trước hết ta phải dựa vào nhiệm vụ của bài toán đặt ra, ví dụ ta cần nghiên cứu tính toán dòng chảy năm, phân phối dòng chảy năm của lưu vực cho bài toán xây dựng hồ chứa, hay ta cần tính toán quá trình lưu lượng lũ lớn nhất.

- Dựa vào cơ sở tài liệu của đối tượng nghiên cứu,

- Dựa vào kinh nghiệm của người sử dụng mô hình,

Tóm lại để lựa chọn mô hình ứng dụng thực tế, tốt nhất nên chọn trong số các mô hình mà người ứng dụng đã có sự hiểu biết đầy đủ, ứng dụng thử nghiệm có kết quả. Nếu chọn mô hình mà bản thân người sử dụng đã có nhiều kinh nghiệm ứng dụng thì sẽ càng thuận lợi khi ứng dụng và càng dễ đạt được kết quả. Tuy nhiên, khi lựa chọn mô hình cũng cần chú ý đến phạm vi ứng dụng của mô hình, xem có phù hợp với bài toán và điều kiện lưu vực tính toán hay không ( ví dụ như lưu vực nhỏ hay lưu vực lớn, lưu vực vùng ẩm ướt hay vùng khô hạn,...), yêu cầu tài liệu đầu vào của mô hình có khả năng đáp ứng hay không. Nên chọn mô hình có số thông số mô hình cần xác định vừa phải, trong đó có các thông số chủ yếu, có độ nhạy cao.

#### 1.3.2. Thu thập và chỉnh lý các số liệu đầu vào của mô hình.

Đối với một lưu vực sông các thông số vật lý biểu thị các đặc tính của lưu vực hứng nước như diện tích, chiều dài, độ rộng lưu vực, mạng lưới sông, mật độ lưới sông, các thông số biểu thị bề mặt lưu vực như độ dốc, tỉ lệ che phủ của rừng, điều kiện canh tác, mức độ ao hồ,... Các thông số này coi như xác định trong khoảng thời gian tính toán và thường đại biểu cho cả lưu vực, chúng thường có thể xác định thông qua đo đạc trên bản đồ kết hợp với kết quả điều tra thực địa hoặc có thể sử dụng phần mềm GIS để xác định. Số thông số vật lý cần thiết tùy thuộc vào mỗi mô hình cụ thể đã chọn.



Mỗi một mô hình toán thủy văn khi ứng dụng ngoài các thông số vật lý lưu vực nêu trên bao giờ cũng đòi hỏi các tài liệu về khí tượng thủy văn. Trên các lưu vực vừa và nhỏ thường cần số liệu mưa của một số trạm đo nhất định phân bố trên tất cả các khu vực của lưu vực sông, nhất là tại khu vực trung và thượng lưu nơi có khả năng sản sinh dòng chảy nhiều nhất, ngoài ra cũng có thể sử dụng một số trạm mưa nằm xung quanh lưu vực. Tiến hành thu thập các số liệu đầu vào như số liệu mưa và dòng chảy của các trạm trên lưu vực để sử dụng cho việc hiệu chỉnh thông số và kiểm định thông số mô hình cũng như để tính toán sau khi có bộ thông số đã được kiểm định.

Để xác định các thông số mô hình nhanh và tính toán chính xác cần phải tìm hiểu kỹ lưu vực trước khi ứng dụng mô hình như điều kiện ẩm của lưu vực, hiện trạng bề mặt lưu vực, ...

Một điểm cần lưu ý là phải đánh giá tính đại biểu của các trạm đo mưa, chất lượng của số liệu thực đo mưa và dòng chảy, các phương pháp chỉnh lý tài liệu trước khi ứng dụng mô hình.

### 1.3.3. Hiệu chỉnh - xác định thông số mô hình

Trong mô hình toán thủy văn, các thông số được dùng để biểu thị các nhân tố hoặc các quan hệ giữa các nhân tố ảnh hưởng đến quá trình dòng chảy mô phỏng trong mô hình, bao gồm thông số vật lý và thông số quá trình.

Các thông số vật lý là các thông số biểu thị đặc điểm địa lý tự nhiên của lưu vực như đã nói ở trên, còn các thông số quá trình là các thông số dùng trong mô phỏng các quá trình hình thành dòng chảy thành phần trong mô hình toán, bao gồm các thông số tính toán mưa, bốc hơi; thông số biểu thị các quá trình tổn thất thấm, điền trũng; tính toán các thành phần dòng chảy (mặt, sát mặt, và dòng chảy ngầm), thông số tập trung nước trên sườn dốc và trong sông.

Trong một số trường hợp nhất định một số quá trình có thể xác định thông qua đo đạc thực nghiệm, thí dụ như thông số tổn thất thấm có thể xác định thông qua đo đạc thí nghiệm thấm..., tuy nhiên, phần lớn các thông số quá trình được xác định thông qua bước hiệu chỉnh thông số của mô hình trên cơ sở hiệu chỉnh dần giá trị của chúng sao cho quá trình dòng chảy tính toán phù hợp với quá trình dòng chảy thực đo, hoặc các thông số được xác định bằng các phương pháp dò tìm tối ưu.

Trong mô hình tất định thường các thông số quá trình nhận một giá trị trong một khoảng giới hạn biến đổi nào đó của thông số phù hợp với quy luật diễn biến trong thực tế. Nếu xác định giá trị thông số vượt giá trị giới hạn này thì bản thân thông số không còn đảm bảo ý nghĩa vật lý của nó nữa, điều đó sẽ ảnh hưởng không tốt đến kết quả mô phỏng của mô hình. Nói chung phần lớn các thông số mô hình thường nhận giá trị bằng số, nhưng trong một số ít mô hình chúng cũng có thể nhận giá trị dạng bảng quan hệ giữa hai hoặc nhiều biến số, thí dụ như các thông số dạng bảng của mô hình SSARR.

Một mô hình thủy văn tất định tùy theo cấu trúc và phương pháp mô phỏng của mô hình mà có thể có nhiều hay ít các thông số quá trình. Với mô hình nhiều thông số thì việc xác định chúng sẽ phức tạp hơn vì phản ứng trên đường quá trình tính toán là ảnh hưởng tổng hợp nhiều thông số tạo nên.

Trong các thông số quá trình cũng có thể phân ra các thông số chính và thông số phụ hay thông số nhạy và không nhạy. Với những thông số mà chỉ một thay đổi nhỏ giá trị của chúng có thể nhận thấy sự phản ứng rõ rệt qua sự biến đổi về độ lớn hoặc hình dạng đường quá trình dòng chảy tính toán thì có thể coi chúng là thông số chính hay thông số nhạy của mô hình. Ngược lại khi thay đổi giá trị của thông số ta thấy đường quá trình tính toán thay đổi rất ít thì đó là thông số phụ hay thông số không nhạy. Để hiệu chỉnh thông số được thuận lợi, người ứng dụng cần nắm vững ý nghĩa vật lý, phạm vi biến đổi của từng thông số cũng như ảnh hưởng của chúng tới quá trình dòng chảy tính toán, nhất là đối với nhóm các thông số chủ yếu.

Kết quả mô phỏng của mỗi mô hình được đánh giá không chỉ ở giá trị riêng biệt của mỗi thông số, mà ở tổ hợp các thông số (hay bộ thông số) cuối cùng được lựa chọn. Rõ ràng với mô hình càng nhiều thông số thì chọn tổ hợp này càng trở nên khó khăn trong quá trình hiệu chỉnh lựa chọn bộ thông số. Theo quan điểm ứng dụng, việc giảm tối thiểu các thông số quá trình của mô hình nhưng vẫn đảm bảo được hiệu quả mô phỏng của mô hình là phương hướng cũng như yêu cầu mà khi xây dựng mô hình phải xem xét.

Hiệu chỉnh thông số mô hình là xác định giá trị của bộ thông số mô phỏng tốt nhất quá trình dòng chảy tại mặt cắt cửa ra của lưu vực sông. Khi hiệu chỉnh xác định thông số mô hình phải chọn một thời khoảng có đầy đủ số liệu thực đo về mưa và dòng chảy làm cơ sở hiệu chỉnh, gọi là khoảng thời gian cho hiệu chỉnh thông số. Các số liệu mưa và dòng chảy cho hiệu chỉnh thông số cần đảm bảo độ chính xác khi đo đạc, được chỉnh lý tốt, đủ tin cậy trong sử dụng.

Nói chung hiệu chỉnh thông số các mô hình thủy văn tất định nhận thức thường dùng phương pháp thử sai và phương pháp dò tìm thông số tối ưu.

#### *a. Phương pháp thử sai*

Phương pháp thử sai dựa trên việc tính thử và kiểm tra sai số nhiều lần được dùng phổ biến nhất hiện nay để hiệu chỉnh thông số các mô hình thủy văn tất định nhận thức. Việc thử sai được tiến hành theo các bước sau đây:

- Giả thiết giá trị ban đầu của các thông số cần hiệu chỉnh dựa vào các phân tích bản chất vật lý cũng như đặc tính quá trình dòng chảy lưu vực ứng dụng, đặc tính và giới hạn biến đổi của từng thông số và kinh nghiệm ứng dụng của người tính toán.

- Chạy chương trình mô hình để tìm quá trình dòng chảy tính toán và xác định độ chính xác của mô phỏng với các thông số mô hình giả thiết ở bước trên thông qua tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác của mô hình.

- Phân tích những điểm phù hợp và không phù hợp của hai quá trình dòng chảy thực đo và tính toán, từ đó theo kinh nghiệm tìm ra các thông số mô hình giả thiết chưa hợp lý (thiên lớn hoặc thiên nhỏ) và dự kiến thay đổi giá trị thông số trong lần hiệu chỉnh sau.

- Giả thiết lại thông số cần hiệu chỉnh và tính lại như trên, làm như vậy đến khi đạt được sự phù hợp tốt nhất giữa hai quá trình dòng chảy tính toán và thực đo và thoả mãn tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác của mô hình, như vậy ta sẽ được bộ thông số mô hình cho lưu vực ứng dụng.

Phương pháp thử sai phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm của người hiệu chỉnh thông số mô hình. Vòng tính hay số lần thử sai được lặp lại nhiều lần cho đến khi kết quả mô phỏng thoả mãn yêu cầu về độ chính xác thì mới dừng.

Phương pháp này cho phép người ứng dụng sử dụng kinh nghiệm và sự am hiểu của mình về mô hình, về đặc điểm chế độ thủy văn lưu vực sông, về quá trình hình thành và vận động của các quy luật thủy văn, về các thông số mô tả các quy luật đó để nhanh chóng hướng tới kết quả cuối cùng. Vận dụng tốt phương pháp thử sai cũng có thể đạt được kết quả mô phỏng dòng chảy không thua kém các phương pháp hiệu chỉnh thông số mô hình khác.

Tuy nhiên, kết quả ứng dụng mô hình theo phương pháp thử sai phần nào cũng bị ảnh hưởng trong một mức độ nhất định tính chủ quan của người ứng dụng mô hình. Đối với người ít am hiểu mô hình và chưa có kinh nghiệm ứng dụng, quá trình thử và sai cũng mất nhiều thời gian và thông số lựa chọn sẽ không thể tránh khỏi có những hạn chế hơn so với kết quả của người ứng dụng đã có nhiều kinh nghiệm.

Hiệu chỉnh thông số theo phương pháp thử sai cần chú ý một số điểm sau:

- Để chóng đạt được kết quả khi hiệu chỉnh thông số mô hình, người tính toán phải hiểu rõ lý thuyết mô hình, cách mô phỏng các thành phần trong quy luật hình thành dòng chảy trên lưu vực sông (chủ yếu các phương trình và thông số), mức độ ảnh hưởng của từng thông số tới quá trình tính toán, nhất là các thông số chính.

- Trước khi hiệu chỉnh, cần phải phân tích và tìm hiểu đặc tính hệ thống trong thực tế thông qua phân tích định tính quan hệ thực đo hàm vào, hàm ra (với lưu vực, đó là quan hệ mưa - dòng chảy), các đặc tính của lưu vực và mức độ tham gia của 3 thành phần dòng chảy đối với quá trình dòng chảy tổng cộng ở cửa ra. Đánh giá ảnh hưởng của các thông số vật lý của lưu vực đến dòng chảy. Các phân tích này làm cơ sở để chọn các giá trị thông số ban đầu của mô hình hay điểm xuất phát của thử sai. Ngoài ra cũng rất cần tham khảo các kết quả ứng dụng mô hình (nếu có) của các lưu vực xung quanh trong cùng điều kiện khí hậu, tìm giới hạn thực tế của các thông số và các tổ hợp của chúng.

- Khi tiến hành hiệu chỉnh thông số cần hiệu chỉnh các thông số quá trình trước, khi hai quá trình dòng chảy tính toán và thực đo đã tương đối phù hợp về hình dạng thì sẽ hiệu chỉnh tiếp các thông số của hàm vào (thông số tính mưa bình quân lưu vực) nhằm đưa tổng lượng dòng chảy tính toán phù hợp tốt hơn đối với tổng lượng dòng chảy thực tế.

- Nên áp dụng nguyên tắc thử dần phản ứng với từng thông số trong quá trình thử sai, đặc biệt là với các thông số chủ yếu. Theo cách này, các thông số phụ ít ảnh hưởng và có độ nhạy kém sẽ được chọn một giá trị nhất định qua quá trình phân tích tiếp cận ở bước trên. Việc hiệu chỉnh hay thử sai thông số nên tiến hành với từng thông số quá trình chính, bằng cách thay đổi giá trị giả thiết của nó và giữ nguyên giá trị các thông số khác không đổi. Khi thông số này đã đạt được sự phù hợp thì tiếp tục thử sai sang thông số khác để nâng cao hơn kết quả mô phỏng.

- Việc điều chỉnh các thông số quá trình sẽ làm thay đổi hình dạng của quá trình dòng chảy tính toán hay làm thay đổi độ lớn các thành phần dòng chảy, mức độ điều tiết của lưu vực. Cần nắm vững mỗi thông số quá trình sẽ làm thay đổi đặc tính hay phần nào trên đường quá trình dòng chảy tính toán (đỉnh, chân,...), từ đó có thể điều chỉnh cho hợp lý khi tiến hành thử sai.

Việc điều chỉnh các thông số biểu thị hàm vào như thay đổi hệ số tỷ trọng trạm mưa khi tính mưa bình quân lưu vực là nhằm khắc phục tính không đại biểu của vị trí các trạm đo mưa đối với từng vùng trên lưu vực, qua đó đưa lượng mưa bình quân lưu vực tính toán về xấp xỉ với giá trị thực tế của nó trên lưu vực sông, từ đó điều chỉnh tổng lượng dòng chảy tính toán từ mô hình về gần với tổng lượng dòng chảy thực hình thành trên lưu vực. Việc điều chỉnh các thông số hiệu chỉnh hàm vào nên tiến hành sau khi đã hiệu chỉnh tương đối tốt các thông số quá trình khác của mô hình để nâng cao hơn nữa hiệu quả mô phỏng tổng lượng dòng chảy.

- Trong quá trình hiệu chỉnh thông số các mô hình thủy văn tất định người hiệu chỉnh phải tạo ra được sự cân bằng dòng chảy trong toàn bộ mô hình, trong đó đặc biệt là sự cân bằng dòng chảy vào và ra của các bể chứa nước mặt, nước sát mặt và tầng chứa nước ngầm. Có như vậy thì các kết quả khôi phục dòng chảy ở bước sau mới đảm bảo được tính quy luật và nâng cao độ chính xác.

#### *b. Phương pháp dò tìm thông số tối ưu*

Phương pháp dò tìm thông số tối ưu hiện nay được ứng dụng trong nhiều mô hình thủy văn tất định vì nó khắc phục được tính chủ quan của phương pháp thử sai, và nhanh chóng đạt được kết quả mong muốn nhờ ứng dụng các máy tính có tốc độ tính toán nhanh.

Mục tiêu của phương pháp dò tìm thông số tối ưu là tìm trong rất nhiều các tổ hợp khác nhau của các thông số trong miền giá trị của chúng một "bộ" thông số tối ưu hay thoả mãn "tốt nhất" độ chính xác của mô phỏng. Khi sử dụng các phương pháp tối ưu trong việc xác định thông số mô hình phải sử dụng một hàm mục tiêu  $F$  mà giá trị tính toán của nó thể hiện độ chính xác mô phỏng của mô hình cũng như bộ thông số được xác định.

Theo phương pháp này với mỗi một lần chạy chương trình tìm được một giá trị của hàm mục tiêu  $F$ . Nếu chạy nhiều lần thì các giá trị của hàm mục tiêu  $F$  có thể biểu diễn trên

biểu đồ miền tổ hợp biến đổi của các thông số mô hình. Quá trình dò tìm tối ưu sẽ cố gắng tìm ra đỉnh cao nhất của hàm  $F$  trong số rất nhiều đỉnh có thể xuất hiện trong miền biến đổi của các thông số.

Quá trình dò tìm tối ưu bắt đầu từ một điểm xuất phát, thí dụ điểm  $(x^0_1, x^0_2)$  trong vùng biến đổi của hai thông số  $x_1, x_2$ , mỗi lần tính toán mô phỏng sẽ được một giá trị của hàm mục tiêu  $F$ . Việc dò tìm thông số tối ưu thực chất là dùng phương pháp kỹ thuật để tăng hay giảm giá trị của một thông số đang được xem xét một lượng nhất định sao cho hàm mục tiêu thay đổi theo hướng có lợi nhất, nói cách khác hàm mục tiêu của lần tính sau lớn hơn lần tính trước. Tùy theo quan điểm dò tìm thay đổi các thông số mà hình thành các phương pháp dò tìm tối ưu khác nhau.

Khi dùng phương pháp dò tìm thông số tối ưu cần chú ý những điểm sau:

- Trong miền biến đổi của hàm mục tiêu  $F$  cũng có thể có những cực trị nhỏ hơn  $F_{\max}$ , gọi là các cực trị địa phương. Trong quá trình dò tìm, có những phương pháp tối ưu nếu rơi vào cực trị địa phương thì không thể thoát ra nổi, trường hợp này cần chọn các điểm xuất phát khác và so sánh kết quả của nhiều lần chạy tối ưu để chọn kết quả cuối cùng.

- Đối với mô hình có nhiều thông số thì có thể chỉ tối ưu những thông số chủ yếu có độ nhạy cao, các thông số khác có thể giả thiết hoặc xác định theo các cách khác.

#### 1.3.4. Kiểm định mô hình

Kiểm định mô hình là bước rất cần thiết nhằm mục đích đánh giá lại xem bộ thông số đã xác định ở trên có đảm bảo sử dụng được trong thực tế hay không trước khi sử dụng chúng để tính toán áp dụng.

Để kiểm định mô hình, cần chọn một số năm có đủ số liệu thực đo mưa và dòng chảy cũng như là giai đoạn hiệu chỉnh thông số, các số liệu này không nằm trong các số liệu đã sử dụng để xác định bộ thông số mô hình. Sử dụng bộ thông số đã xác định cho mô hình tiến hành tính toán quá trình dòng chảy và so sánh với quá trình thực đo qua đó đánh giá kết quả mô phỏng đạt được. Nếu quá trình dòng chảy thực đo và tính toán của bước kiểm định này phù hợp nhau và đảm bảo độ chính xác của mô phỏng thì có thể coi bộ thông số mô hình đã xác định là đảm bảo yêu cầu, như vậy có thể yên tâm sử dụng mô hình với bộ thông số đã xác định để tính toán dòng chảy cho lưu vực ở bước sau.

Với lưu vực có một số năm có số liệu thực đo mưa và dòng chảy từ 10 đến 15 năm thì nên dành 2/3 số năm của thời gian trên cho bước hiệu chỉnh xác định bộ thông số và 1/3 số năm giai đoạn cho kiểm định mô hình. Với lưu vực có số năm thực đo mưa dòng chảy nhỏ hơn 10 năm thì nên dành ít nhất 6 năm cho hiệu chỉnh xác định thông số, số năm còn lại dùng cho kiểm định. Với lưu vực có số năm có số liệu thực đo mưa và dòng chảy nhỏ hơn 6 năm thì nên dùng tất cả số liệu trên cho hiệu chỉnh thông số và có thể bỏ qua việc kiểm định mô hình.

### 1.3.5. Đánh giá độ chính xác mô phỏng của mô hình

Các tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác mô hình là cơ sở định lượng hiệu quả mô phỏng của các mô hình toán thủy văn tất định. Nói chung các tiêu chuẩn đánh giá độ chính xác đều dựa trên sai số giữa hai quá trình dòng chảy thực đo và tính toán. Do vậy các tiêu chuẩn chỉ thể hiện độ chính xác mô phỏng một cách tổng hợp của cả mô hình mà không thể biểu thị độ chính xác ở các quá trình thành phần (hay mô hình thành phần).

Do quá trình ứng dụng của mô hình gặp nhiều sai số cho nên các kết quả tính toán độ chính xác chỉ thể hiện trong một mức độ nhất định hiệu quả mô phỏng, nhất là trong trường hợp các sai số lớn, độ chính xác tính toán có thể không cao, không thể từ đó phủ nhận khả năng mô hình toán. Một số sai số thường gặp phải khi ứng dụng mô hình là:

- Do sai số hệ thống và ngẫu nhiên của số liệu vào (mưa, bốc hơi. . .), thí dụ số liệu đo đạc có sai số, các chuỗi số chưa đại biểu theo không gian lưu vực. . .

- Do sai số hệ thống ngẫu nhiên của chuỗi số dòng chảy thực đo khi sử dụng chuỗi số này để tính toán các tiêu chuẩn đánh giá.

Đối với mô hình thủy văn lưu vực, quá trình dòng chảy tại mặt cắt cửa ra được coi là hàm ra của hệ thống và số đông các tiêu chuẩn hiện nay đều dựa trên việc tìm giá trị cực tiểu của tổng bình phương sai số giữa hai quá trình dòng chảy thực đo và tính toán.

Tiêu chuẩn này biểu thị như phương trình sau:

$$F^2 = \sum_{i=1}^n (Q_{do} - Q_{tính})^2 \min \quad (1-2)$$

Trong đó: n là số giá trị (hay số thời đoạn) quan trắc và tính toán (thời đoạn tính toán có thể là giờ, ngày, tháng hoặc năm).

Tiêu chuẩn trên xét cả quá trình thời gian hiệu chỉnh thông số và hàm mục tiêu có thứ nguyên nên chưa phản ánh được sai số các giá trị đỉnh hoặc so sánh độ chính xác giữa các mô hình với nhau. Do vậy một số mô hình đã đưa ra tiêu chuẩn về độ chính xác của riêng đỉnh lũ hoặc lượng lũ, hoặc tiêu chuẩn không thứ nguyên, thí dụ như một số tiêu chuẩn sau đây:

- Tiêu chuẩn đánh giá đỉnh quá trình lũ, tổng lượng lũ của Lichty, Dawdy, Bergmann.

$$\min F_1^2 = \min \sum_{i=1}^n (\ln Q_{\max_{tính}} - \ln Q_{\max_{do}})^2 \quad (1-3)$$

$$\min F_2^2 = \min \sum_{i=1}^n (\ln W_{\max_{tính}} - \ln W_{\max_{do}})^2 \quad (1-4)$$

Tiêu chuẩn không thứ nguyên, đánh giá mức độ hữu hiệu của mô hình của Nash và Sutcliffe

$$R^2 = \frac{F_0^2 - F^2}{F_0^2} \quad (1-5)$$

Trong đó:  $F_2$  tính theo công thức sau:

$$F_0^2 = \sum_{i=1}^n (Q_{do} - \bar{Q})^2 \quad (1-6)$$

$$F^2 = \sum_{i=1}^n (Q_{tính} - Q_{do})^2 \quad (1-7)$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{do} \quad (1-8)$$

Giá trị của  $R^2$  càng gần 1 thì độ chính xác mô hình càng cao. Đây là tiêu chuẩn không thứ nguyên, nên có thể dùng để so sánh các mô hình khác nhau. Tiêu chuẩn này hay được dùng trong thực tế.

Trong đánh giá độ chính xác mô phỏng một số mô hình sử dụng không phải một mà là một số tiêu chuẩn để đánh giá. Thí dụ mô hình mô phỏng quá trình lũ của Viện nghiên cứu Thủy văn Anh dùng 3 tiêu chuẩn là tiêu chuẩn đánh giá đỉnh, tiêu chuẩn đánh giá tổng lượng lũ, và tiêu chuẩn đánh giá thời gian tới đỉnh.

Ngoài ra người ta còn dùng một số tiêu chuẩn thống kê khác để đánh giá như:

- Hệ số tương quan, phương sai, khoảng lệch tiêu chuẩn. . .
- Sai số tương đối, sai số tuyệt đối. . . của quá trình dòng chảy tính toán.

Các tiêu chuẩn đánh giá mô hình nêu trên chỉ phản ánh được một phần độ chính xác của tính toán khi ứng dụng mô hình. Mặt khác khi sử dụng phương pháp thử sai kết quả có thể phụ thuộc nhiều chủ quan của người tính toán, vì vậy kết quả tính toán theo mô hình trong một số trường hợp vẫn còn có thể sai số ở tổng lượng (thiên lớn hay thiên bé) hay một số đặc trưng dòng chảy sau khi tính toán (như đỉnh lũ). Vì thế các kết quả tính toán theo mô hình cần kiểm tra đánh giá tính hợp lý của nó trước khi đưa vào sử dụng trong thực tế.

Trong thực tế, một số người bước đầu ứng dụng mô hình toán thường có khuynh hướng coi nhẹ bước đánh giá này và cho rằng các kết quả theo mô hình toán sau khi đã hiệu chỉnh xác định bộ thông số đạt yêu cầu là luôn luôn chính xác, tin cậy hơn các phương pháp khác, có thể đưa vào sử dụng ngay mà không tiến hành phân tích đánh giá. Nếu kết quả tính toán còn những tồn tại mà không phát hiện ra thì việc sử dụng sẽ dẫn đến những sai sót trong quy hoạch và thiết kế.

Việc đánh giá tính hợp lý kết quả tính toán dòng chảy có thể dựa trên một số phân tích tính toán sau:

- Thông qua đánh giá sự hợp lý trong phương trình cân bằng nước lưu vực trong thời gian nhiều năm xây dựng dựa trên chuỗi dòng chảy mô phỏng và dòng chảy tính toán.

- Thông qua đánh giá sự hợp lý theo không gian của các đặc trưng dòng chảy tính toán theo kết quả khôi phục ( $M_0$  - môđun dòng chảy,  $C_v$  - hệ số biến đổi,  $C_s$  - hệ số đối xứng của chuỗi dòng chảy năm, dạng phân phối dòng chảy năm trung bình nhiều năm) so với các lưu vực khác trong khu vực.

- So sánh trị số bình quân ( $Q_0$ ;  $M_0$ ) và các thông số thống kê  $C_v$ ,  $C_s$  của chuỗi dòng chảy quan trắc và chuỗi dòng chảy tính toán, nếu có sai khác lớn thì cần xem xét tính hợp lý và giải thích nguyên nhân.

- So sánh các giá trị dòng chảy nhỏ nhất trung bình tháng của hai chuỗi số dòng chảy quan trắc và dòng chảy khôi phục, nếu có sai khác lớn thì cần xem xét tính hợp lý và giải thích nguyên nhân.

- So sánh các giá trị môđun dòng chảy lớn nhất tính toán với thực đo hoặc với các lưu vực khác trong khu vực, nếu có sai khác lớn thì cần xem xét tính hợp lý và giải thích nguyên nhân.

Qua đánh giá so sánh các khía cạnh trên có thể tìm ra sai sót nếu có trong khi hiệu chỉnh xác định thông số và kiểm định. Qua phân tích đánh giá nếu thấy thông số nào đó chưa hợp lý thì có thể hiệu chỉnh lại thông số đó cho đến khi kết quả tính toán theo mô hình đảm bảo tính hợp lý và phù hợp với quy luật dòng chảy của toàn lưu vực

#### 1.4. MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP TỐI ƯU HOÁ THÔNG SỐ MÔ HÌNH

Việc xác định đúng các thông số của mô hình toán thủy văn ảnh hưởng rất lớn tới kết quả tính toán. Nếu không tìm được bộ thông số thích hợp, coi như việc áp dụng mô hình không thành công, do đó nhiều người nghĩ rằng mô hình tốt là mô hình có các thông số dễ xác định. Thực ra xác định thông số chỉ là khâu cuối cùng đóng góp vào kết quả tính toán còn thực chất mô hình tốt hay không là ở việc mô phỏng các mô hình thành phần có sát với quy luật hình thành và vận động của nó, nói cách khác là mô hình có thể hiện rõ bản chất vật lý của hiện tượng hay không.

Việc xác định bộ thông số của mô hình là một vấn đề phức tạp và khó. Một trong những bài toán này là dùng thuật toán tối ưu để xác định. Bài toán tối ưu gồm ba giai đoạn chính:

- Đặt bài toán : gồm các bước lựa chọn, xây dựng các mô hình toán để mô phỏng quá trình thực tế.

- Lựa chọn hàm mục tiêu để đánh giá kết quả tính toán.

- Lựa chọn giá trị tối ưu của các thông số.



Việc xây dựng mô hình toán để mô phỏng quá trình thực tế, không nhất thiết là phải sáng tạo ra mô hình mới, mà có thể lựa chọn, áp dụng các mô hình đã có, thực hiện các bổ sung cần thiết cho phù hợp thực tế hoặc xác định các điều kiện ràng buộc. Giai đoạn này rất quan trọng. Chọn mô hình không đúng sẽ làm cho kết quả tính toán các phương án không đúng, mặc dù khi dò tìm thông số vẫn có đường tính toán phù hợp thực đo. Chẳng hạn khi thiết kế hệ thống cống tiêu nước tự chảy cho đô thị nằm trong vùng ảnh hưởng thủy triều lại dùng mô hình dòng chảy ổn định, hệ thống tiêu nước sẽ không đáp ứng nhu cầu thiết kế. Người kỹ sư trưởng phải biết đặt bài toán mô phỏng chính xác quá trình thực tế, biết giới hạn ứng dụng của mô hình và độ chính xác của kết quả tính toán trong điều kiện số liệu đầu vào có thể đáp ứng, có như vậy việc lựa chọn phương án mới chính xác.

Hàm mục tiêu là tiêu chuẩn để đánh giá kết quả tính toán. Chọn hàm mục tiêu hợp lý không chỉ giúp cho việc dò tìm thông số nhanh chóng mà còn nâng cao giá trị sử dụng của mô hình. Trong dự báo thủy văn thường dùng các hàm mục tiêu như sau:

Hàm mục tiêu theo luật bình phương tối thiểu:

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2 \quad (1-9)$$

với:  $Q_i$  - lưu lượng thực đo tại thời điểm  $i.\Delta t$  ;  
 $\hat{Q}_i$  - lưu lượng tính toán tại thời điểm  $i.\Delta t$ ;  
 $n$  - số lần tính toán kiểm tra.

Khi kết quả tính toán càng gần giá trị thực đo, mô hình càng được đánh giá cao, do đó các thông số của mô hình phải lựa chọn sao cho hàm mục tiêu  $F$  có giá trị bằng không. Thực tế tính toán và đo đạc đều có sai số nên hàm mục tiêu luôn có giá trị khác không, ta chỉ có thể chọn các thông số của mô hình sao cho hàm mục tiêu tiến tới không, hay tới giá trị nhỏ nhất. Khi kết quả tính toán thiên lớn hay thiên nhỏ đều không tốt, nên hàm mục tiêu lấy bằng tổng bình phương sai số hoặc tổng giá trị tuyệt đối của sai số.

Hàm mục tiêu theo luật bình phương tối thiểu có nhược điểm là không phân biệt mức độ quan trọng của trị số dự báo. Chẳng hạn khi dự báo mực nước lũ phục vụ công tác giữ đê, phần mực nước thấp sai số không quan trọng lắm, nhưng phần mực nước cao trên báo động số 3 sai số tính toán rất quan trọng, nhất là khi phải quyết định phân lũ, chậm lũ. Trong trường hợp này người ta dùng hàm mục tiêu trọng số :

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2 + 2.(Q_{\max} - \hat{Q}_{\max})^2 + 5.(T - \hat{T})^2 \quad (1-10)$$

Hoặc:

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{|Q_{\max} - \hat{Q}_{\max}|}{Q_{\max}} + \frac{|T - \hat{T}|}{T} + \frac{|L - \hat{L}|}{L} \right\}_i \quad (1-11)$$

với:  $Q_i$  - lưu lượng thực đo tại thời điểm  $i.\Delta t$  ;

$\hat{Q}_i$  - lưu lượng tính toán tại thời điểm  $i.\Delta t$ ;

$n$  - số lần tính toán kiểm tra với công thức (1-10), và  $n$  là số con lũ kiểm tra với công thức (1-11);

$Q_{\max}$  - lưu lượng đỉnh lũ thực đo;

$T$  - thời gian lũ lên thực đo;

$\hat{Q}_{\max}$  - lưu lượng đỉnh lũ tính toán;

$\hat{T}$  - thời gian lũ lên tính toán;

$\hat{L}$  - thời gian lũ tính toán bằng tổng thời gian lũ lên và thời gian lũ xuống tính toán;

$L$  - thời gian lũ thực đo bằng tổng thời gian lũ lên và thời gian lũ xuống.

Hàm mục tiêu tính theo công thức (1-10) hay (1-11) đã đặc biệt chú ý đến sai số đỉnh lũ. Công thức (1-11) là chính là công thức (1-10) có bổ sung thành phần thời gian lũ lên nhân với hệ số 5, lưu lượng đỉnh lũ nhân với hệ số 2. Công thức (1-11) lại chỉ tính sai số dự báo đỉnh lũ, sai số dự báo thời gian lũ  $L$ , và sai số dự báo thời gian lũ lên  $T$ .

Hàm mục tiêu có thể được tính theo các công thức khác nhau, tùy theo yêu cầu phục vụ của bài toán mà chọn dạng hàm mục tiêu phù hợp. Sau khi đã đặt bài toán và lựa chọn hàm mục tiêu xong, vấn đề chọn các giá trị tối ưu của các thông số trở nên đơn giản hơn nhiều.

#### 1.4.1 Tìm giá trị tối ưu thông số theo phương pháp ô vuông

Có nhiều phương pháp lựa chọn giá trị tối ưu của thông số nhưng dễ hiểu hơn cả và tính toán vất vả hơn cả là phương pháp ô vuông (phương pháp lưới). Giả sử mô hình có hai thông số là  $a$  và  $b$ . Hàm mục tiêu chọn theo luật bình phương tối thiểu là dạng (1-9).

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2$$

Miền xác định của thông số  $a$  là từ 0,05 đến 1, miền xác định của thông số  $b$  là từ 3,05 đến 4. Để dễ trình bày, ta coi thông số  $a$  biến thiên theo trục nằm ngang  $OX$ , còn thông số  $b$  biến thiên theo trục thẳng đứng  $OY$ . Chọn bước dò tìm trong đợt tính lặp thứ nhất là: 0,05 vậy ta cần dò tìm hai thông số  $a, b$  trong hình vuông mỗi cạnh có 20 giá trị, tương ứng có  $20 \times 20 = 400$  cặp điểm. Với mỗi cặp điểm xác định một bộ thông số của mô hình. Thực hiện  $n$  lần tính toán theo mô hình để tìm ra một giá trị của hàm mục tiêu.

Với 400 cặp điểm ứng với 400 nút lưới ta tìm được 400 giá trị của hàm mục tiêu. Ghi các giá trị này vào các nút lưới tương ứng rồi vẽ đường đồng mức. Tìm miền có giá trị nhỏ nhất của hàm mục tiêu. Giả sử tìm thấy miền nhỏ nhất là:

$$0,75 < a < 0,85$$

$$3,30 < b < 3,40$$

Chọn lại bước dò tìm trong đợt tính lặp thứ hai bằng 1 phần 10 bước dò tìm trong đợt tính lặp thứ nhất. Bây giờ tiếp tục dò tìm trong miền:

$$0,75 < a < 0,85 \text{ và } 3,30 < b < 3,40$$

Bước dò tìm trong đợt tính lặp thứ hai là 0,005 nên phạm vi tìm kiếm hẹp hơn nhưng vẫn có đủ 400 cặp điểm. Các bước tiếp theo làm giống như đợt tính lặp thứ nhất. Kết quả tìm thấy miền nhỏ nhất là:

$$0,78 < a < 0,79$$

$$3,34 < b < 3,35$$

Chọn lại bước dò tìm trong đợt tính lặp thứ ba bằng 1 phần 10 bước dò tìm trong đợt tính lặp thứ hai. Quá trình cứ như thế tiếp diễn cho đến khi bước dò tìm nhỏ hơn một vô cùng bé chọn trước.

Quá trình tính toán sẽ rất phức tạp và tốn nhiều thời gian nếu số thông số tăng lên. Chẳng hạn số thông số tăng từ 2 lên 3 thông số, số trường hợp phải tính thử cho 1 lần lặp tăng lên 20 lần:  $20 \times 20 \times 20 = 8000$  cặp điểm. Nếu áp dụng cách dò tìm này cho mô hình TANK đơn có 24 thông số, sẽ phải tính  $20^{24}$  trường hợp cho một lần tính lặp để chọn vùng cực tiểu của hàm mục tiêu. Mỗi trường hợp là một bộ thông số đưa ra lựa chọn, cần tính khoảng 2 năm ( $365 \times 2 = 730$  ngày) để tìm giá trị của hàm mục tiêu, phải trải qua một số lần tính lặp mới chọn được bộ thông số tối ưu. Rõ ràng số phép tính quá lớn. Người ta buộc phải lược bỏ một số thông số kém nhạy để chỉ dò tìm tối ưu với các thông số chính.

Cách dò tìm này vẫn có khả năng rơi vào cực trị địa phương, chẳng hạn sau lần tính lặp thứ nhất, xuất hiện hai miền cách biệt có giá trị hàm mục tiêu nhỏ hơn xung quanh tạm gọi là miền 1 và miền 2. miền 1 có giá trị hàm mục tiêu nhỏ hơn miền 2, theo cách dò tìm trên ta tiếp tục chia nhỏ bước dò tìm trong miền 1 mà bỏ qua miền 2, nhưng rất có thể nếu tiếp tục chia nhỏ bước dò tìm trong miền 2 ta sẽ tìm thấy nút mới có giá trị hàm mục tiêu nhỏ hơn trong miền 1. Nói cách khác phương pháp này chỉ cho phép phát hiện cực trị địa phương đủ rộng hơn mắt lưới, mặc dù đã chấp nhận khối lượng tính toán khổng lồ nhưng vẫn có khả năng rơi vào cực trị địa phương.

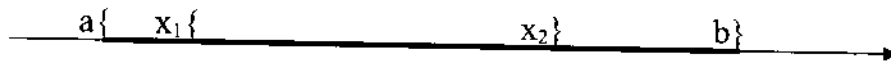
#### 1.4.2. Tìm giá trị tối ưu thông số theo phương pháp mặt cắt vàng

Theo phương pháp này người ta chọn hai vị trí xác định của thông số để tìm hai giá trị tương ứng của hàm mục tiêu. Tại điểm có giá trị hàm mục tiêu nhỏ hơn tiếp tục tìm kiếm trong không gian hẹp hơn. Chẳng hạn xét hàm số:

$$Y = (4x^2 + 3x)^{-2x} \quad (1-12)$$

Hàm số  $Y=f(x)$  xác định trong khoảng  $[a,b]$  cho trước. Hãy tìm giá trị  $x^*$  sao cho hàm số  $y = f(x^*)$  có giá trị nhỏ nhất. Hàm số  $Y = (4x^2 + 3x)^{-2x}$  không tính được đạo hàm nên phải tìm cực trị theo phương pháp số. Chọn cách tìm giá trị  $x^*$  theo phương pháp mặt cắt vàng thứ tự dò tìm như sau:

- Chọn hai điểm  $x_1, x_2$  nằm trong khoảng xác định  $[a,b]$ , tính hai giá trị tương ứng của hàm số  $Y$  để lấy giá trị nhỏ hơn, và tiếp tục tìm kiếm hai giá trị  $x_1, x_2$  mới nằm trong khoảng hẹp hơn. Quy luật lựa chọn hai điểm  $x_1, x_2$  trong mỗi lần tính lặp phụ thuộc vào hệ số vàng và độ dài khoảng xác định  $[a,b]$ .



Hệ số vàng là một hằng số ký hiệu  $R: R = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618$

Chọn  $x_1 = b - R.(b - a)$  và  $x_2 = a + R.(b - a)$  vậy  $x_1$  và  $x_2$  chính là trung bình có trọng số của  $a, b$ .

Nếu  $R = \frac{1}{2}$  thì  $x_1 = x_2 = \frac{(a+b)}{2}$ .

Nếu  $R$  là hệ số vàng thì:  $x_1 = b - R.(b - a) = R.a + (1 - R).b$

$$x_2 = a + R.(b - a) = R.b + (1 - R).a \quad (1-13)$$

- Tính hai giá trị tương ứng của hàm số  $Y$  là  $Y_1 = f(x_1)$  và  $Y_2 = f(x_2)$ .

- So sánh hai giá trị  $Y_1, Y_2$  để chọn lấy giá trị nhỏ hơn

- Thu hẹp khoảng cách tìm kiếm mới theo nguyên tắc sau:

Nếu  $Y_1 > Y_2$  chọn  $a^*_1 = x_1$

$$x^*_1 = x_2$$

$$x^*_2 = a + R.(b - a)$$

Nếu  $Y_1 \leq Y_2$  chọn  $b^*_1 = x_2$

$$x^*_1 = b - R.(b - a)$$

$$x^*_2 = x_1$$

Trong đó  $x^*_1, x^*_2$  là hai giá trị mới chọn của biến số  $x$  trong lần tính lặp mới, tương tự như lần tính lặp trước đã chọn  $x_1, x_2$ . Nếu sau khi tính toán các giá trị mới  $x^*_1, x^*_2$  lại xảy ra  $x^*_1 > x^*_2$  thì cần đổi chỗ sao cho luôn luôn có  $x^*_1 < x^*_2$ . Lặp lại quá trình tính toán cho tới khi nào khoảng tìm kiếm:  $b^*_K - a^*_K$  nhỏ hơn giá trị vô cùng bé cho trước.

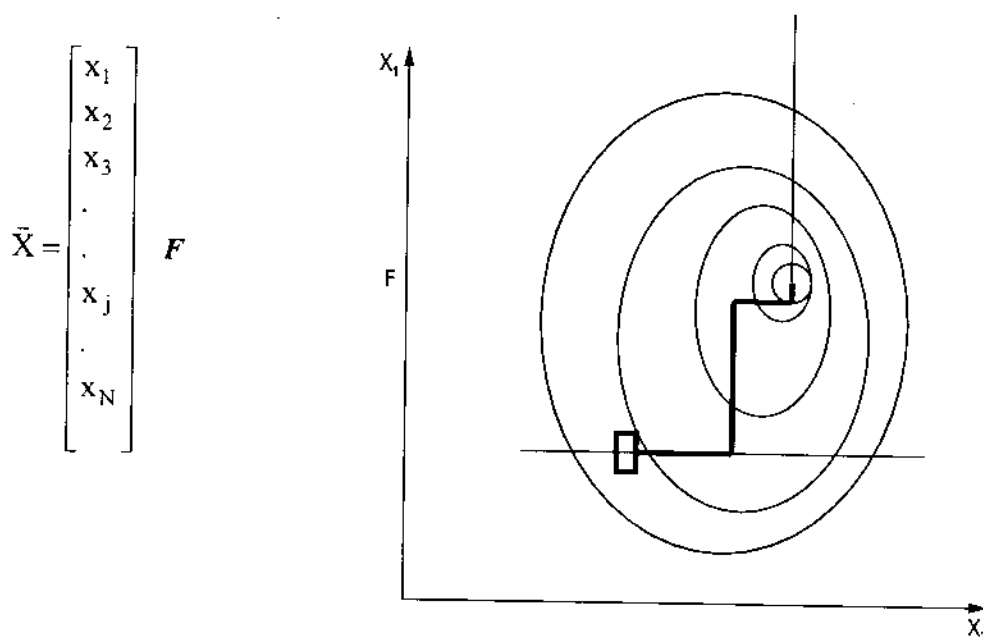
### 1.4.3. Tìm giá trị tối ưu thông số theo phương pháp độ dốc

Giả sử hàm mục tiêu phụ thuộc vào N thông số :

$$F = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N) = F(X) \quad (1-14)$$

Trong đó:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$  là các thông số của mô hình.

Mỗi thông số biến thiên trong một khoảng xác định của trục số, ví dụ hệ số dòng chảy chỉ tìm trong khoảng  $[0,1]$  không thể có hệ số dòng chảy nhận giá trị âm, cũng không xảy ra hệ số dòng chảy lớn hơn 1. Khi mỗi thông số đã nhận một giá trị xác định trong miền cho phép, hàm mục tiêu  $F$  sẽ có một giá trị xác định. Có thể coi giá trị của mỗi thông số là một toạ độ của véc tơ trong không gian N chiều.



Trong không gian hai chiều, hàm số nhận cực trị (giá trị lớn nhất hay nhỏ nhất) khi đối số  $x$  nhận giá trị làm cho đạo hàm bậc nhất bằng không. Trong không gian N chiều, hàm số nhận cực trị tại điểm  $X^*$  khi tại đó *Hamilton* của hàm bằng không.

### 1.4.4. Tìm giá trị tối ưu thông số theo phương pháp Rosenbroc

Đây là phương pháp đang được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ngành khoa học khác nhau. Phương pháp Rosenbroc được phát triển trên cơ sở phương pháp độ dốc, rất thích hợp với dạng hàm mục tiêu không tính được đạo hàm riêng phần.

Xét hàm mục tiêu phụ thuộc N thông số:

$$F = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N) \quad (1-15)$$

Để thực hiện tính toán xác định thông số mô hình ta tiến hành các bước như sau:

*Lần tính lặp thứ nhất:*

Chọn sơ bộ mỗi thông số một giá trị hợp lý nào đó, tính giá trị của hàm mục tiêu ứng với các giá trị của thông số được chọn lần đầu:

$$F(X_1^0, X_2^0, X_3^0, \dots, X_N^0) = F(X^0)$$

Chỉ thay đổi giá trị của một thông số, giữ nguyên tất cả giá trị của các thông số còn lại, tính giá trị mới của hàm mục tiêu để xem xét phản ứng của hàm mục tiêu với sự thay đổi của thông số này qua kết quả tính thử:

$$\Delta F^0 = F(X_1^1, X_2^0, X_3^0, \dots, X_N^0) - F(X_1^0, X_2^0, X_3^0, \dots, X_N^0)$$

Trong đó  $X_1^1 = X_1^0 + \lambda_1^1$

Nếu  $\Delta F^0$  nhỏ hơn không, phép thử có lợi vì đã chọn được vị trí mới của hàm mục tiêu có giá trị nhỏ hơn tại vị trí cũ, chọn ngay giá trị của thông số vừa tính thử làm giá trị chính thức.

$$X_1^1 = X_1^0 + \lambda_1^1$$

và chọn bước thay đổi thông số lần thứ nhất làm bước thay đổi thông số lần thứ hai:

$$\lambda_1^2 = \alpha \lambda_1^1$$

với  $\alpha$  là hằng số lớn hơn 1 thường chọn  $\alpha = 3$ .

Nếu  $\Delta F^0$  lớn hơn không, phép thử không thành công vì hàm mục tiêu không tiến thêm về phía cực tiểu, chứng tỏ ta đã tìm thấy điểm dừng của thông số nên giữ nguyên giá trị thông số trước lần thử thứ nhất:

$$X_1^1 = X_1^0$$

và bước thay đổi thông số lần thứ hai cũng được chọn giảm đi so với bước thay đổi thông số lần thứ nhất:

$$\lambda_1^2 = \beta \lambda_1^1$$

với  $\beta$  là hằng số nhỏ hơn 1 thường chọn  $\beta = 0,5$ .

Quá trình được lặp lại cho đến khi tất cả N thông số đã thử xong và nhận giá trị mới  $X_1^1$  thay cho giá trị cũ  $X_1^0$ .

*Tính lặp lần thứ hai:*

Tiếp tục lặp lại các phép thử như lần tính lặp thứ nhất cho lần tính lặp thứ hai, thứ ba... mỗi khi thử không thành công bước thay đổi thông số giảm đi một nửa. Quá trình tính lặp

dừng lại khi tất cả các thông số đều có bước thay đổi thông số nhỏ hơn một vô cùng bé  $\varepsilon$  chọn trước.

$$\lambda_j^n < \varepsilon$$

Trường hợp ngược lại bước thay đổi thông số chưa nhỏ hơn một vô cùng bé  $\varepsilon$  chọn trước mà tất cả N phép thử ở lần tính lặp thứ  $k + m$  đều không thành công, chứng tỏ véc tơ dò tìm đã rơi vào cực trị địa phương, trong trường hợp này cần tiến hành xoay trục tọa độ theo quy định riêng của phương pháp Rosenbroc, những quy định này được trình bày dưới dạng tổng quát sau:

Xét hàm mục tiêu phụ thuộc N thông số:

$$F = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$$

tới lần tính lặp thứ k, các thông số đã nhận các giá trị tương ứng với véc tơ N chiều:

$$\bar{X}^K = \begin{bmatrix} x_1^K \\ x_2^K \\ x_3^K \\ \vdots \\ x_j^K \\ \vdots \\ x_N^K \end{bmatrix}$$

Giá trị của hàm mục tiêu ứng với các giá trị của thông số tới lần tính lặp thứ k là:

$$F(x_1^K, x_2^K, x_3^K, \dots, x_N^K) = F(X^K)$$

Chỉ thay đổi giá trị của một thông số, giữ nguyên tất cả giá trị của các thông số còn lại, tính giá trị mới của hàm mục tiêu để xem xét phản ứng của hàm mục tiêu với sự thay đổi này thông qua kết quả tính thử. Giả sử thông số thứ j được thay đổi theo quy luật sau:

$$\bar{X}_j^{K+1} = \bar{X}_j^K + \lambda_j^K \cdot \bar{D}_j$$

Trong đó:

$\lambda_j^K$  - hệ số hằng số thay đổi theo lần tính lặp thứ k và thông số thứ j;

$\bar{D}_j$  - véc tơ đơn vị chuẩn hoá theo phương thông số  $x_j$  chỉ số j chạy từ 1 đến N.

$$\bar{D}_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}; \bar{D}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}; \bar{D}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ \cdot \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}; \dots \bar{D}_N = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 0 \\ \cdot \\ 1 \end{bmatrix}$$

Tính  $\Delta F_j = F(X_j^{K+1}) - F(X^K)$  với

$$\bar{X}_j^{K+1} = \begin{bmatrix} x_1^K \\ x_2^K \\ x_3^K \\ \cdot \\ x_j^K \\ \cdot \\ x_N^K \end{bmatrix} + \lambda_j^K \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ 1 \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^K \\ x_2^K \\ x_3^K \\ \cdot \\ x_j^K + \lambda_j^K \\ \cdot \\ x_N^K \end{bmatrix}; \bar{X}_j^K = \begin{bmatrix} x_1^K \\ x_2^K \\ x_3^K \\ \cdot \\ x_j^K \\ \cdot \\ x_N^K \end{bmatrix}$$

Khi  $\Delta F_j$  nhỏ hơn không, phép thử thành công vì đã chọn được vị trí mới của hàm mục tiêu có giá trị nhỏ hơn tại vị trí cũ, chọn

$$\bar{X}_j^{K+1} = \bar{X}_j^K + \lambda_j^K \cdot \bar{D}_j$$

và chọn bước thay đổi thông số thứ j lần thứ sau bằng bước thay đổi thông số thứ j lần trước nhân với hệ số lớn hơn 1:

$$\lambda_j^{K+1} = \alpha \cdot \lambda_j^K$$

với  $\alpha$  là hằng số lớn hơn 1 thường chọn  $\alpha = 3$

Nếu  $\Delta F_j$  lớn hơn không, phép thử không thành công vì hàm mục tiêu không tiến thêm về phía cực tiểu, chứng tỏ ta đã tìm thấy điểm dừng của thông số nên giữ nguyên giá trị thông số trước lần thử thứ nhất:

$$\bar{X}_j^{K+1} = \bar{X}_j^K$$

và bước thay đổi thông số lần sau cũng được chọn giảm đi so với bước thay đổi thông số lần trước:

$$\lambda_j^{K+1} = \beta \cdot \lambda_j^K$$

với  $\beta$  là hằng số nhỏ hơn 1 thường chọn  $\beta = 0,5$ .



Quá trình được lặp lại cho đến khi tất cả N thông số đã thử xong và nhận giá trị mới  $X_i^{K+1}$  thay cho giá trị cũ  $X_i^K$ . Khi tất cả N thông số đã thử xong lần tính lặp thứ K+1, ta lại tính lặp lần thứ K+2. Quá trình tính lặp dừng lại khi tất cả các thông số đều có bước thay đổi thông số nhỏ hơn một vô cùng bé  $\epsilon$  chọn trước

$$\lambda_j^n < \epsilon$$

Trường hợp ngược lại bước thay đổi thông số chưa nhỏ hơn một vô cùng bé  $\epsilon$  chọn trước mà tất cả N phép thử ở lần tính lặp thứ  $k+m$  đều không thành công, chứng tỏ véc tơ dò tìm đã rơi vào cực trị địa phương, cần tiến hành xoay trục tọa độ theo quy định riêng của phương pháp Rosenbroc

Chọn :

$$D_i^{K+m} = \frac{B_i^{K+m-1}}{|B_i^{K+m-1}|}$$

Với 
$$B_i^K = A_i^K - \sum_{j=1}^i [(A_j^K)^T \cdot D_i^{K+1}] \cdot D_i^{K+1}$$

$$A_1^K = C_1^K \cdot D_1^K + C_2^K \cdot D_2^K + \dots + C_N^K \cdot D_N^K$$

$$A_2^K = 0 + C_2^K \cdot D_2^K + \dots + C_N^K \cdot D_N^K$$

$$A_3^K = 0. + 0. + \dots + C_N^K \cdot D_N^K$$

.....

$$A_N^K = 0 + 0 + \dots 0 + C_N^K \cdot D_N^K$$

$C_i^K$  là tổng đại số của tất cả các số hạng  $\lambda_i^K$  khi phép thử thành công.

$$C_i^K = \sum_{j=1}^p \lambda_{i,j}^K$$

$j = 1, 2, 3 \dots, p$ , là số lần phép thử thành công.

Theo phương pháp cứ một lần phép thử thành công lại kéo theo một lần phép thử không thành công thì lấy:

$$\lambda_j^{K+1} = 0;$$

Về nguyên tắc phương pháp Rosenbroc được áp dụng cho hàm mục tiêu có số lượng thông số không hạn chế, nhưng với các máy tính cá nhân PC 486 chỉ nên dùng phương pháp Rosenbroc khi mô hình có dưới 30 thông số.

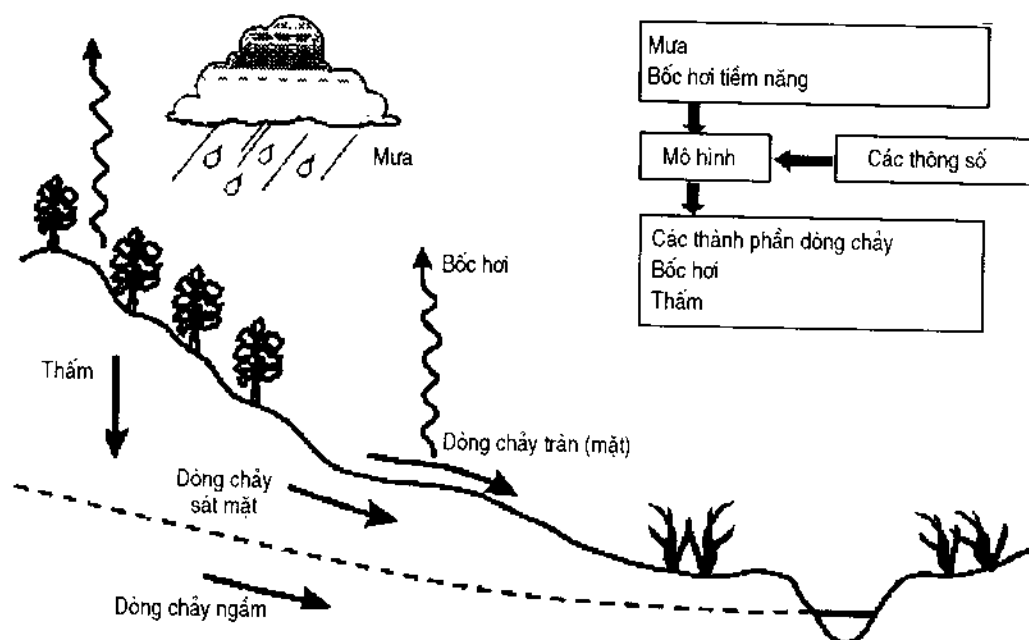
## Chương 2

### MÔ HÌNH TẮT ĐỊNH

#### 2.1. QUÁ TRÌNH HÌNH THÀNH DÒNG CHẢY

Sau một trận mưa rơi trên lưu vực, kết quả tại mặt cắt cửa ra ta thu được quá trình lưu lượng, là kết quả tổng hợp của nhiều quá trình xảy ra đồng thời [15]. Như vậy từ khi có mưa rơi xuống đến khi có lượng dòng chảy ở mặt cắt cửa ra đã xảy ra các quá trình (hình 2.1):

- Quá trình mưa
- Quá trình tổn thất
- Quá trình hình thành dòng chảy trên sườn dốc
- Quá trình tập trung nước trên sườn dốc và trong sông



*Hình 2.1: Quá trình hình thành dòng chảy*

*Quá trình mưa:*

Mưa là một quá trình quan trọng đóng vai trò chính trong sự hình thành dòng chảy trên lưu vực. Lượng mưa và quá trình mưa quyết định lưu lượng và quá trình dòng chảy.

*Quá trình tổn thất:*

- Tổn thất cũng là một quá trình phức tạp, nhiều thành phần và chịu ảnh hưởng của nhiều nhân tố khác nhau. Tổn thất bao gồm các thành phần sau:
- Tổn thất tích đọng: gồm tổn thất tích đọng bề mặt và tổn thất tích đọng trong điền trũng
- Tổn thất do thấm: là tổn thất lớn nhất, nó chiếm phần lớn tổn thất lưu vực khi mưa xảy ra.
- Tổn thất bốc hơi: bao gồm bốc hơi mặt đất, mặt nước và bốc thoát hơi nước thực vật.

*Quá trình hình thành dòng chảy trên sườn dốc:*

Khi mưa rơi trên bề mặt sườn dốc, có hai trường hợp xảy ra:

- Cường độ mưa < cường độ thấm, lúc đó tất cả lượng mưa bị tổn thất do thấm vào đất. Trường hợp này xảy ra khi cường độ mưa quá bé hoặc ở giai đoạn đầu của trận mưa trước thời điểm to nào đó. Thời điểm này phụ thuộc vào cường độ mưa và độ ẩm ban đầu trong đất
- Cường độ mưa > cường độ thấm, lượng nước dư thừa tập trung vào các điền trũng, sau khi chứa đầy các điền trũng, nước bắt đầu chảy qua các ngưỡng tràn theo độ dốc tập trung thành các dòng nhỏ và dần dần thành các dòng chảy lớn dần cho tới khi đổ vào khe suối nhỏ để chảy vào hệ thống sông.

Quá trình hình thành dòng chảy sườn dốc là một quá trình phức tạp phụ thuộc vào nhiều yếu tố như mưa, độ dốc, độ dài sườn dốc, đặc điểm bề mặt của nó. Phạm vi xuất hiện dòng chảy mặt sườn dốc cũng khá phức tạp và phụ thuộc vào thời gian, quá trình và lớp nước mưa, vào lớp đất thổ nhưỡng, thảm phủ thực vật trên sườn dốc.

*Quá trình tập trung nước trên sườn dốc và trong sông*

Tốc độ chảy trên sườn dốc phụ thuộc vào các yếu tố như:

- Lớp dòng chảy sườn dốc (lớp nước mưa hiệu quả)
- Độ dốc sườn dốc
- Độ nhám sườn dốc

Sau khi dòng chảy các sông suối đổ vào sông chính, chúng chuyển động về hạ lưu, quá trình dòng chảy sẽ bị biến dạng và là một quá trình phức tạp phụ thuộc vào đặc điểm hình thái và độ nhám lòng sông, vào hệ thống sông nhánh đổ vào sông chính.

## 2.2. CÁC LOẠI MÔ HÌNH TẮT ĐỊNH

Trong các loại mô hình toán thủy văn, mô hình tắt định mà cụ thể là các mô hình tính dòng chảy từ mưa (mô hình mưa – dòng chảy) ra đời sớm nhất. Khái niệm hệ số dòng chảy

chính là dạng mô hình toán thủy văn đơn giản nhất. Năm 1932 phương pháp đường đơn vị do Shecman đưa ra đã được nhiều nước chấp nhận như là phương pháp hiệu quả nhất để tính dòng chảy lũ theo số liệu mưa, trong thời gian này công thức căn nguyên dòng chảy cũng được dùng phổ biến ở Liên Xô cũ, Trung Quốc và các nước khác. Đặc biệt, sự ra đời của máy tính điện tử đã tạo ra bước nhảy vọt về mô hình toán.

Hiện nay các mô hình tính dòng chảy từ số liệu mưa có rất nhiều loại:

- Các mô hình phát triển công thức căn nguyên dòng chảy như mô hình quan hệ (Rational model), tỷ lệ thời gian và diện tích (Time – Area model)
- Các mô hình kiểu lũ đơn vị: như mô hình HEC-HMS
- Các mô hình kiểu bể chứa: mô hình TANK, SSARR, NAM..vv.

Các mô hình tính dòng chảy từ số liệu mưa thường được dùng để khôi phục, bổ sung số liệu dòng chảy khi biết số liệu mưa, phục vụ thiết kế các công trình trên sông, tính toán nguồn nước phục vụ quy hoạch thủy lợi và tính toán dự báo dòng chảy lũ.

### 2.2.1. Mô hình quan hệ (Rational model)

Đây là mô hình tắt định dạng hộp đen. Mô hình này thường được sử dụng để tính toán lưu lượng đỉnh lũ cho các lưu vực nhỏ:

$$Q_{\text{đỉnh}} = CIA/3,6 \quad (2-1)$$

Trong đó:  $Q_{\text{đỉnh}}$  - lưu lượng đỉnh lũ ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$C$  - hệ số dòng chảy;

$I$  - cường độ mưa trong thời khoảng tương ứng với thời gian tập trung nước ( $\text{mm/h}$ );

$A$  - diện tích lưu vực ( $\text{km}^2$ );

3,6 - hệ số chuyển đổi đơn vị.

*Ưu điểm của mô hình:*

- Đơn giản và tính toán rất nhanh
- Xác định được ngay lưu lượng đỉnh
- Thường dùng trong thiết kế đường ống thoát nước cho đô thị (Mark Ole., [25]) đây là một trong những lựa chọn trong mô hình thoát nước đô thị MOUSE trong bộ phần mềm MIKE của DHI

*Nhược điểm của mô hình:*

- Không dùng được cho lưu vực lớn vì phương pháp này giả thiết cường độ mưa là đồng đều trên toàn lưu vực, do vậy lưu vực càng lớn thì giả thiết này càng sai.

- Phương pháp này không tính đến tổn thất ban đầu như thấm, điền trùng, bốc thoát hơi
- Hệ số dòng chảy được tính toán dựa vào các đặc tính của lưu vực mà không quan tâm đến các nhân tố ảnh hưởng khác như mùa, mưa, vv.

*Phương pháp tính:*

1) Bước 1: Tính hệ số dòng chảy

- Hệ số dòng chảy được xác định dựa vào loại đất và hiện trạng sử dụng đất (thường tra theo bảng kinh nghiệm – bảng 2.1 và bảng 2.2 dưới đây)
- Nếu một lưu vực có nhiều đặc tính về loại đất và hiện trạng sử dụng đất khác nhau thì hệ số dòng chảy lấy bằng giá trị trung bình có tỉ trọng của hệ số dòng chảy ứng với mỗi khu vực trong lưu vực.

**Bảng 2.1. Hệ số dòng chảy cho các loại hiện trạng sử dụng đất khác nhau**  
(Nguồn: ASCE, 1970, Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers)

| Mô tả khu vực            | Hệ số dòng chảy |
|--------------------------|-----------------|
| Khu kinh doanh buôn bán  |                 |
| Trung tâm thành phố      | 0,70 – 0,95     |
| Khu vực ngoại vi         | 0,50 – 0,70     |
| Khu dân cư               |                 |
| Nhà nằm đơn lẻ           | 0,30 – 0,50     |
| Nhiều nhà nằm cách nhau  | 0,40 – 0,60     |
| Nhiều nhà nằm kề nhau    | 0,60 – 0,75     |
| Nhà ở ngoại ô            | 0,25 – 0,40     |
| Khu căn hộ               | 0,50 – 0,70     |
| Khu công nghiệp          |                 |
| Nhẹ                      | 0,50 – 0,80     |
| Nặng                     | 0,60 – 0,90     |
| Các khu vực khác         |                 |
| Công viên, nghĩa trang   | 0,10 – 0,25     |
| Sân chơi trên đất hay cỏ | 0,20 – 0,35     |
| Sân ga xe lửa            | 0,20 – 0,35     |
| Khác                     | 0,10 – 0,30     |

**Bảng 2.2. Hệ số dòng chảy cho các loại bề mặt khác nhau**  
(Nguồn: ASCE, 1970, Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers)

| Mô tả khu vực            | Hệ số dòng chảy |
|--------------------------|-----------------|
| Bề mặt lát               |                 |
| Nhựa asphalt hay bê tông | 0,70 – 0,95     |
| Gạch                     | 0,70 – 0,85     |
| Mái nhà                  | 0,75 – 0,95     |
| Bãi cỏ, đất pha cát      |                 |
| Phẳng, độ dốc 2%         | 0,05 – 0,10     |
| độ dốc từ 2 – 7%         | 0,10 – 0,15     |
| độ dốc >7%               | 0,15 – 0,20     |
| Bãi cỏ, đất sét          |                 |
| Phẳng, độ dốc 2%         | 0,13 – 0,17     |
| độ dốc từ 2 – 7%         | 0,18 – 0,22     |
| độ dốc > 7%              | 0,25 – 0,35     |

2) Bước 2: Tính thời gian tập trung nước

- Thời gian tập trung nước  $T_c$  là thời gian để dòng chảy mặt di chuyển từ điểm xa nhất của lưu vực đến cửa ra của lưu vực.

- Người ta thường tính  $T_c$  theo các công thức kinh nghiệm sau đây:

*Đối với khu vực tự nhiên (chưa xây dựng):*

Công thức kinh nghiệm phát triển từ công thức của Manning:

$$T_c = 0,94(Ln)^{0,6}/(S^{0,3}I^{0,4}) \quad (2-2)$$

Trong đó  $T_c$  - thời gian tập trung nước (phút);

$I$  - cường độ mưa không đổi (in/h);

$S$  - độ dốc trung bình theo hướng chảy;

$n$  - hệ số Manning;

$L$  - chiều dài chảy (feet).

Công thức tính của Kirpich (1940)

$$T_c = 0,0195L^{0,77}/S^{0,385} \quad (2-3)$$

Trong đó  $T_c$  - thời gian tập trung nước (phút);

$S$  - độ dốc trung bình theo hướng chảy;

$L$  - chiều dài chảy (m).

Đối với khu vực đã phát triển (đã có hệ thống kênh hay cống thoát nước)

Thời gian tập trung nước sẽ bằng thời gian tập trung nước trên lưu vực (phần chưa có hệ thống kênh) cộng với thời gian nước chảy trong kênh đến cửa ra và được xác định theo công thức sau:

$$T_c = T_i + T_t \quad (2-4)$$

Trong đó:  $T_i = T_c$  trong trường hợp khu vực tự nhiên;

$T_t$  - thời gian chuyển động trong kênh  $= L/v$ ;

$L$  - chiều dài kênh;

$V$  - vận tốc chảy trong kênh tính theo công thức Manning:

$$V = R^{2/3} S^{1/2} / n \text{ (m/s)}$$

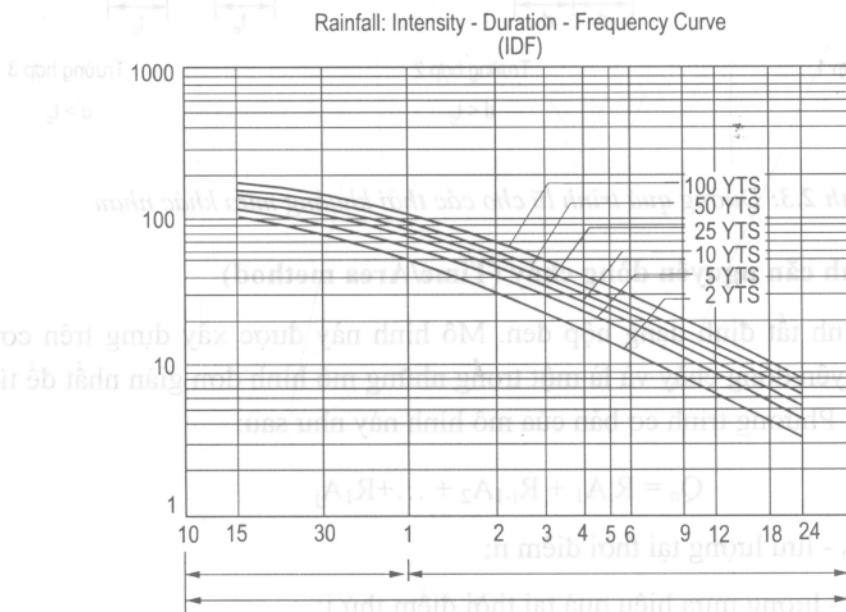
$R$  - bán kính thủy lực (m);

$S$  - độ dốc kênh;

$n$  - hệ số nhám Manning của kênh.

### 3) Bước 3: Xác định cường độ mưa

- Cường độ mưa tương ứng với thời gian tập trung nước  $T_c$  được xác định theo các quan hệ kinh nghiệm được xây dựng cho khu vực nghiên cứu (đường cong IDF như hình 2.2 dưới đây).



Hình 2.2: Ví dụ về đường cong IDF cho khu vực Bangkok, Thailand

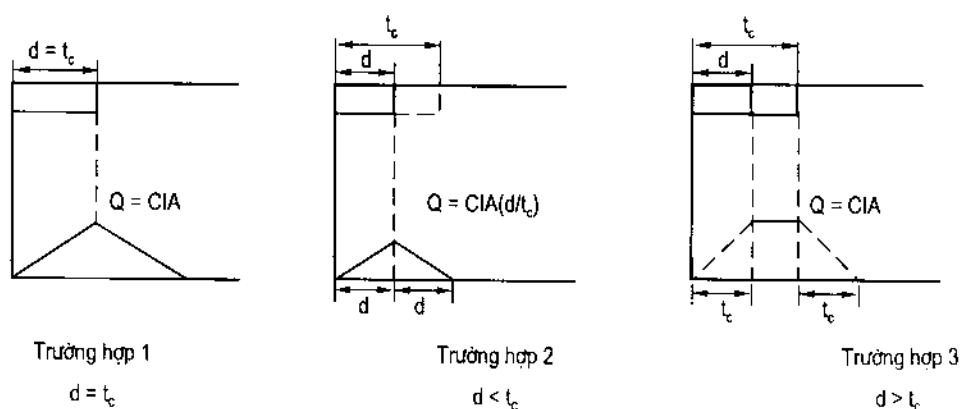
- Để tính lưu lượng đỉnh lũ thì cường độ mưa phải là cường độ mưa trong thời khoảng bằng với thời gian tập trung nước  $T_c$ .

- Các họ đường công IDF đôi khi cũng được tổng hợp dưới dạng các công thức kinh nghiệm:  $I = a/(t + b)^n$  trong đó  $a$ ,  $b$ ,  $n$  là thông số được xác định thông qua các tài liệu mưa giờ thực đo của các trạm đo mưa trong khu vực nghiên cứu,  $t$  thường được tính bằng phút, và  $I$  thường được tính bằng (mm/h).

#### 4) Bước 4: tính $Q_{đỉnh}$ và vẽ đường quá trình lũ

- Lưu lượng đỉnh lũ được tính theo công thức (2-1) ở trên. Đường quá trình lũ sẽ có dạng hình tam giác cân, có đỉnh đúng bằng  $Q_{đỉnh}$  và có đáy nằm trên trục thời gian đúng bằng  $2T_c$ .

- Trong trường hợp chúng ta phải tính  $Q_{đỉnh}$  cho một trận mưa có thời gian  $d$  nhỏ hơn hoặc lớn hơn thời gian tập trung nước  $T_c$ , thì  $Q_{đỉnh}$  và đường quá trình lũ được xây dựng như hình 2.3 dưới đây (mô hình quan hệ cải tiến).



**Hình 2.3:** Đường quá trình lũ cho các thời khoảng mưa khác nhau

#### 2.2.2. Mô hình căn nguyên dòng chảy (Time/Area method)

Đây là mô hình tất định dạng hộp đen. Mô hình này được xây dựng trên cơ sở của công thức căn nguyên dòng chảy và là một trong những mô hình đơn giản nhất để tính toán dòng chảy từ mưa. Phương trình cơ bản của mô hình này như sau:

$$Q_n = R_i A_1 + R_{i-1} A_2 + \dots + R_1 A_j \quad (2-5)$$

Trong đó:  $Q_n$  - lưu lượng tại thời điểm  $n$ ;

$R_i$  - lượng mưa hiệu quả tại thời điểm thứ  $i$ ;

$A_j$  - diện tích thu nước đóng góp vào dòng chảy cửa ra tại thời điểm  $J$ .



*Những giả thiết của mô hình:*

- Đường quá trình lũ tại cửa ra của lưu vực là do lượng mưa hiệu quả thu được từ những phần diện tích nằm ngay gần kề cửa ra của lưu vực
- Phần trăm diện tích của lưu vực đóng góp vào quá trình tạo dòng chảy ở cửa ra của lưu vực là tăng lên dần dần theo thời gian
- Tổn thất ban đầu đã được xem xét trong mô hình .

*Ưu điểm của mô hình:*

- Tính toán nhanh, dễ dàng
- Được sử dụng nhiều, trong trường hợp lưu vực nhỏ và thông tin của lưu vực ít. Đây cũng là một lựa chọn trong phần mềm thương mại MIKE 11 MOUSE do Viện Thủy lực Đan Mạch xây dựng và phát triển sử dụng trong tính toán, thiết kế và quy hoạch hệ thống tiêu thoát nước đô thị (Mark Ole. [25]).

*Nhược điểm của mô hình:*

- Không sử dụng được cho lưu vực có độ dốc lớn
- Nhìn chung chỉ mô phỏng một vài quá trình đơn giản
- Không thể mô phỏng liên tục vì không xét được điều kiện ban đầu của lưu vực.

*Phương pháp tính:*

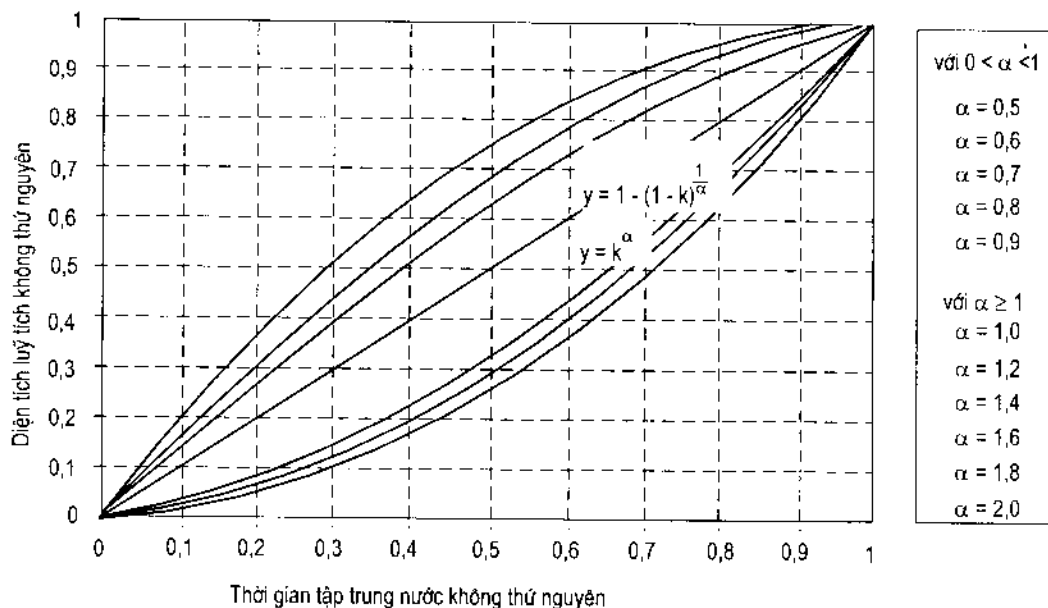
Từ công thức tổng quát của mô hình, ta có thể nhận thấy các thông số cơ bản của mô hình là:

- Hệ số triết giảm
- Tổn thất ban đầu
- Thời gian tập trung nước
- Hình dạng của đường cong thời gian tập trung nước và lũy tích diện tích theo thời gian tập trung nước.

Trong mô hình này việc quan trọng nhất là phải xác định hình dạng lưu vực, và thời gian tập trung nước để từ đó xây dựng lên đường cong không thứ nguyên (cả trục tung và trục hoành đều không thứ nguyên) giữa thời gian tập trung nước và lũy tích những phần diện tích theo thời gian tập trung nước. Các đường cong này đã được tổng hợp cho một số hình dạng của lưu vực trong mô hình MOUSE như trong hình 2.4 dưới đây và chúng ta có thể lựa chọn để sử dụng:

Những công việc tiếp theo là lập bảng tính trong Excel và thực hiện các bước áp dụng mô hình như đã trình bày trong chương 1. Tuy nhiên 2 thông số là tổn thất ban đầu và hệ số triết giảm có thể được ước tính bằng việc xây dựng phương trình quan hệ giữa tổng lượng

mưa và tổng lượng dòng chảy thực đo của ít nhất 3 trận mưa. Hệ số triết giảm này chính là hệ số của phương trình quan hệ.



**Hình 2.4:** Các đường cong thời gian tập trung nước và lũy tích diện tích theo thời gian của thời gian tập trung nước trong mô hình MOUSE

### 2.2.3. Mô hình sóng động học

Phương pháp sóng động học dùng phương trình liên tục và phương trình động lượng để tính toán lượng mưa hiệu quả thành dòng chảy. Khi giải phương trình sóng động học, Người ta giả thiết rằng độ dốc đáy kênh và độ dốc mặt nước là như nhau và các ảnh hưởng của gia tốc trọng trường là không đáng kể (các thông số theo đơn vị mét được chuyển thành đơn vị Anh để sử dụng trong phương trình).

Mô hình sóng động học được xác định bằng hai phương trình sau:

Phương trình động lượng đơn giản thành:

$$S_t = S_0 \quad (2-6)$$

Trong đó:  $S_t$  là độ dốc ma sát và  $S_0$  là độ dốc đáy kênh. Vì vậy, lưu lượng tại bất kỳ điểm nào trong kênh đều được tính theo công thức Manning:

$$Q = \frac{1.49}{n} S_0^{1/2} A R^{2/3} \quad (\text{hệ đơn vị Anh}) \quad (2-7)$$

với:  $Q$  - lưu lượng dòng chảy;

$S_0$  - độ dốc đáy kênh;

$R$  - bán kính thủy lực;

$A$  - diện tích mặt cắt ướt;

$n$  - hệ số nhám Manning.

Phương trình (2-7) được đơn giản thành:

$$Q = \alpha A^m \quad (2-8)$$

Trong đó:  $\alpha$  và  $m$  liên quan tới chế độ dòng chảy và độ nhám bề mặt.

Phương trình động lượng được đơn giản thành quan hệ giữa diện tích và lưu lượng, sự chuyển động của sóng lũ còn được mô tả bởi phương trình liên tục:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2-9)$$

Điều kiện ban đầu của vùng dòng chảy tràn trên mặt là đất khô và không có lưu lượng gia nhập tại đường biên của vùng. Điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho diễn toán sóng động học trong kênh được xác định dựa trên đường quá trình ở thượng lưu.

*Cách giải:*

Phương trình tổng quát cho diễn toán sóng động học và Muskingum được giải theo cùng một cách. Phương pháp giả thiết rằng lưu lượng đầu vào có thể là mưa vượt thấm hay lượng nhập khu giữa là ổn định trong một bước thời gian và phân bố theo không gian. Bằng cách kết hợp phương trình (2-8) và (2-9) phương trình tổng quát thu được là:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \alpha m A^{(m-1)} \frac{\partial A}{\partial x} = q \quad (2-10)$$

Trong đó:  $A$  là biến độc lập trong phương trình  $\alpha$  và  $m$  được coi là hằng số. Phương trình được giải theo cách dùng lược đồ sai phân hữu hạn của Leclerc và Schaake(1973). Dạng chuẩn của sai phân hữu hạn theo phương trình như sau:

$$\frac{A_i^j - A_i^{j-1}}{\Delta t} + \alpha m \left[ \frac{A_i^{j-1} + A_{i-1}^{j-1}}{2} \right]^{m-1} \left[ \frac{A_i^{j-1} - A_{i-1}^{j-1}}{\Delta x} \right] = q_a \quad (2-11)$$

Trong đó  $q_a$  được tính:

$$q_a = \frac{q_i^j + q_i^{j-1}}{2} \quad (2-12)$$

Chỉ số của lược đồ được đánh theo các vị trí trên lưới thời gian- không gian. Lưới biểu thị vị trí của lược đồ khi nó giải các giá trị chưa biết của  $A$  cho các vị trí và thời gian khác nhau. Chỉ số  $i$  biểu thị vị trí hiện tại của lược đồ giải theo chiều dài  $L$  của kênh hay vùng dòng chảy tràn qua, chỉ số  $j$  biểu thị bước thời gian hiện tại của lược đồ.  $i - 1, j - 1$  biểu thị vị trí và thời gian quay lại một giá trị  $\Delta x$  và  $\Delta t$  từ vị trí hiện tại của lược đồ. Giá trị không

biết trong phương trình là giá trị hiện tại  $A_i^j$ . Tất cả các giá trị khác đều đã biết từ khi giải phương trình tại vị trí  $i-1$  và thời gian  $j-1$ , hay từ điều kiện biên:

$$A_i^j = q_a \Delta t + A_i^{j-1} - \alpha m \left[ \frac{\Delta t}{\Delta x} \right] \left[ \frac{A_i^{j-1} + A_{i-1}^{j-1}}{2} \right]^{m-1} [A_i^{j-1} - A_{i-1}^{j-1}] \quad (2-13)$$

Khi  $A_i^j$  đã biết lưu lượng được tính:

$$Q_i^j = \alpha [A_i^j]^m \quad (2-14)$$

Dạng chuẩn của phương trình sai phân hữu hạn được áp dụng khi hệ số ổn định  $R$  (Khi  $R$  nhỏ hơn 1):

$$R = \frac{\alpha}{q_a \Delta x} \left\{ \left[ q_a \Delta t + (A_{i-1}^{j-1})^m \right] - (A_{i-1}^{j-1})^m \right\} \quad q_a > 0 \quad (2-15)$$

hay:

$$R = \alpha m (A_{i-1}^{j-1})^{m-1} \frac{\Delta t}{\Delta x} q_a \quad q_a = 0 \quad (2-16)$$

Nếu  $R$  nhỏ hơn 1 thì hình thức chuyển đổi của phương trình sai phân hữu hạn:

$$\frac{Q_i^j - Q_{i-1}^j}{\Delta x} + \frac{A_{i-1}^j - A_{i-1}^{j-1}}{\Delta t} = q_a \quad (2-17)$$

Trong đó:  $Q_i^j$  chưa biết. Tìm  $Q_i^j$ :

$$Q_i^j = Q_{i-1}^j + q \Delta x - \frac{\Delta x}{\Delta t} [A_{i-1}^j - A_{i-1}^{j-1}] \quad (2-18)$$

Khi biết giá trị của  $Q_i^j$ :

$$A_i^j = \left[ \frac{Q_i^j}{\alpha} \right]^{\frac{1}{m}} \quad (2-19)$$

Sự chính xác và ổn định của lược đồ sai phân hữu hạn phụ thuộc vào giá trị  $c \approx \frac{\Delta x}{\Delta t}$ , trong đó:  $c$  là tốc độ sóng động học. Tốc độ sóng động học là một hàm của độ sâu dòng chảy và thường biến đổi trong khi diễn toán đường quá trình. Khi gán cho  $\Delta x$  một giá trị, lược đồ sai phân hữu hạn dùng một biến  $\Delta t$  để duy trì quan hệ giữa  $\Delta x$ ,  $\Delta t$  và  $c$ . Sự chính xác của lược đồ sai phân hữu hạn phụ thuộc vào việc lựa chọn số giá khoảng cách  $\Delta x$ . Khoảng cách gia tăng được lựa chọn ban đầu theo công thức:  $\Delta x = c \Delta t m$ , trong đó:  $c$  trong trường hợp này là tốc độ sóng lớn nhất ước tính phụ thuộc vào lượng gia nhập khu giữa và  $\Delta t m$  là bước thời gian tương ứng được chọn là nhỏ nhất trong các cách sau:

- Một phần ba thời gian chảy truyền qua đoạn sông
- Một phần sáu thời gian lên của đường quá trình lưu lượng thượng lưu
- Thời khoảng tính toán nhập vào mô hình bởi người sử dụng

Cuối cùng,  $\Delta x$  được lựa chọn là giá trị nhỏ nhất của  $\Delta x$  tính toán và  $L/N$ , trong đó:  $L$  là chiều dài đoạn sông,  $N$  là số giá trị  $\Delta x$  xác định theo số chia đoạn sông dùng trong lược đồ sai phân hữu hạn (giá trị mặc định nhỏ nhất  $N = 5$  cho vùng dòng chảy tràn; bằng 2 cho kênh và  $N$  lớn nhất bằng 50).

Thông thường, sự chính xác của lược đồ sai phân hữu hạn phụ thuộc cả vào việc chọn  $\Delta x$  và việc nội suy của quá trình sóng động học theo thời khoảng tính toán.

#### 2.2.4. Mô hình lũ đơn vị

Đường quá trình đơn vị là đồ thị hàm phản ứng dài xung đơn vị của một hệ thống thủy văn tuyến tính. Do Sherman đưa ra đầu tiên vào năm 1932, đường quá trình đơn vị (lúc đầu gọi là biểu đồ đơn vị) được định nghĩa là đường quá trình dòng chảy trực tiếp tạo ra bởi 1 inch mưa vượt thấm (hay 1cm đối với hệ mét) phân bố đều trên lưu vực theo một cường độ mưa không đổi trong một đơn vị thời gian. Đầu tiên, Sherman đã dùng từ “đơn vị” để chỉ một đơn vị thời gian, nhưng sau đó từ “đơn vị” được dùng để chỉ một đơn vị độ sâu mưa vượt thấm.

Đường quá trình đơn vị là một mô hình đơn giản mà ta có thể sử dụng để xây dựng các đường quá trình dòng chảy trong sông tạo ra bởi một lượng mưa vượt thấm bất kỳ. Lý thuyết của mô hình này gắn liền với các giả thiết cơ bản sau:

- Mưa vượt thấm có cường độ mưa không đổi trong suốt thời gian mưa.
- Mưa vượt thấm phân bố đều trên toàn diện tích lưu vực.
- Thời gian đáy của đường quá trình dòng chảy trực tiếp (tức là thời gian duy trì dòng chảy trực tiếp) tạo ra bởi mưa vượt thấm trong một thời gian mưa cho trước thì không đổi.
- Tung độ của các đường quá trình dòng chảy trực tiếp của một thời gian đáy chung tỷ lệ thuận với tổng lượng dòng chảy trực tiếp biểu thị bởi mỗi đường quá trình.
- Đối với một lưu vực cho trước, đường quá trình dòng chảy tạo ra bởi một trận mưa hiệu dụng cho trước phản ánh các đặc trưng không thay đổi của lưu vực.

Trong các điều kiện tự nhiên, các giả thiết trên không thể thỏa mãn hoàn toàn. Tuy nhiên khi các số liệu thủy văn dùng trong tính toán được chọn lọc để phù hợp tốt nhất với các giả thiết trên thì kết quả tính của mô hình đường đơn vị nói chung vẫn có thể chấp nhận được trong các tính toán thực tiễn.

Đường đơn vị có thể được đưa trực tiếp vào chương trình hoặc đường đơn vị tổng hợp có thể được tính toán từ các thông số được cung cấp bởi người sử dụng.

### 1) Phương pháp cơ bản

Phương trình chập thời gian rời rạc cho phép ta tính toán lưu lượng dòng chảy trực tiếp  $Q_n$  khi cho mưa vượt thấm  $U_m$  và đường quá trình đơn vị  $X_{n-m+1}$ .

Biểu đồ mưa hiệu quả được chuyển thành dòng chảy lưu vực bằng cách sử dụng phương trình sau:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} U_m X_{n-m+1} \quad (2-20)$$

Ta cần áp dụng một quá trình giải nghịch để suy ra đường quá trình đơn vị từ các số liệu đã cho của  $U_m$  và  $Q_n$ . Giả sử trong trận mưa tính toán có  $M$  dải xung của mưa vượt thấm và  $N$  lưu lượng dòng chảy trực tiếp. Ta có thể thành lập được  $N$  phương trình cho  $Q_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  theo  $N - M + 1$  ẩn của đường quá trình đơn vị theo bảng sau:

$$\begin{aligned} Q_1 &= U_1 X_1 \\ Q_2 &= U_2 X_1 + U_1 X_2 \\ Q_3 &= U_3 X_1 + U_2 X_2 + U_1 X_3 \\ &\dots \\ Q_M &= U_M X_1 + U_{M-1} X_2 + \dots + U_1 X_M \\ Q_{M+1} &= 0 + U_M X_2 + \dots + U_2 X_M + U_1 X_{M+1} \\ &\dots \\ Q_{N-1} &= 0 + 0 + \dots + 0 + 0 + \dots + U_M X_{N-M} + U_{M-1} X_{N-M-1} \\ Q_N &= 0 + 0 + \dots + 0 + 0 + \dots + 0 + U_M X_{N-M+1} \end{aligned}$$

Nếu  $Q_n$ ,  $U_m$  là các giá trị cho trước và  $X_{N-M+1}$  là giá trị cần tìm thì hệ phương trình trong bảng trên là một hệ vô định, vì số phương trình  $N$  nhiều hơn số ẩn  $N-M+1$ .

Khi đường quá trình đơn vị đã được xác định, ta có thể áp dụng nó để tính các biểu đồ quá trình dòng chảy trực tiếp và quá trình dòng chảy trong sông. Chọn một biểu đồ quá trình mưa và ước lượng các tổn thất dòng chảy để xác định ra biểu đồ quá trình mưa vượt thấm. Thời khoảng dùng để xác định các tung độ của đường quá trình mưa vượt thấm phải giống như thời khoảng trong đường quá trình đơn vị. Áp dụng phương trình (2-19), ta sẽ xác định được đường quá trình dòng chảy trực tiếp. Đường quá trình dòng chảy này cộng thêm đường quá trình dòng chảy đáy ước tính sẽ cho ta đường quá trình dòng chảy trong sông.

### 2) Đường quá trình đơn vị tổng hợp

Phương pháp xây dựng đường quá trình đơn vị từ các số liệu của mưa và dòng chảy chỉ có thể áp dụng được cho các lưu vực hoặc cho một vị trí trên dòng sông tại đó đã có các

số liệu đo đạc về dòng chảy. Người ta sử dụng các thủ tục tính toán về đường quá trình đơn vị tổng hợp để xây dựng đường quá trình đơn vị cho các địa điểm khác trên sông hoặc cho một lưu vực kế cận không có đủ số liệu đo đạc nhưng có đặc điểm tương tự. Có 3 kiểu đường quá trình đơn vị tổng hợp là: (1) đường quá trình đơn vị dựa theo mối quan hệ giữa các đặc trưng hình dạng của đường cong (lưu lượng đỉnh, thời gian đáy...) với các đặc trưng của lưu vực (Snyder, 1938; Gray, 1961), (2) đường quá trình đơn vị không thứ nguyên (cơ quan bảo vệ thổ nhưỡng Hoa Kỳ, 1972), và (3) đường quá trình đơn vị dựa trên các mô hình lượng trữ nước của lưu vực (Clark, 1943).

*a. Đường quá trình đơn vị tổng hợp Clark*

Nước được trữ một thời đoạn ngắn trong khu vực: trong đất, trên bề mặt và trong kênh đóng vai trò quan trọng trong việc chuyển lượng mưa hiệu quả thành dòng chảy. Mô hình bể chứa tuyến tính (Scharffenberg, [23]) là sự biểu thị chung của các tác động tới sự trữ nước. Mô hình bắt đầu với phương trình liên tục:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t) \quad (2-21)$$

Trong đó:  $\frac{dS}{dt}$  - sự thay đổi lượng trữ nước trong thời gian  $t$ ;

$I(t)$  - lưu lượng chảy vào hồ chứa tại thời điểm  $t$ ;

$Q(t)$  - lưu lượng chảy ra khỏi hồ chứa tại thời điểm  $t$ .

Với mô hình bể chứa tuyến tính lượng trữ tại thời điểm  $t$  có quan hệ với dòng chảy ra như sau:

$$S_t = kQ_t \quad (2-22)$$

Trong đó:  $k$  - hệ số trữ của bể chứa tuyến tính (là hằng số).

Kết hợp và giải hai phương trình dùng lược đồ sai phân đơn giản:

$$Q_t = C_A I_A + C_B Q_{t-1} \quad (2-23)$$

Trong đó:  $C_A, C_B$  - hệ số diễn toán, được tính theo:

$$C_A = \frac{\Delta t}{k + 0,5\Delta t} \quad (2-24)$$

$$C_B = 1 - C_A$$

Dòng chảy ra trung bình trong thời đoạn  $t$ :

$$\bar{Q} = \frac{Q_{t-1} + Q_t}{2} \quad (2-25)$$

(2-25) là dòng chảy ra tại một vi phân diện tích, giả sử rằng lưu lượng này truyền đến tuyến cửa ra không bị biến dạng. Vấn đề còn lại là thời gian đi từ vi phân diện tích tới tuyến cửa ra lưu vực. Dòng chảy cửa ra là tập hợp của các lưu lượng đến cùng một lúc, do đó mỗi lưu vực cần xác định đường cong phân bố diện tích- thời gian chảy truyền để tính ra lưu lượng cửa ra.

Trong trường hợp không có số liệu dùng đường cong kinh nghiệm sau:

$$\frac{A_t}{A} = \begin{cases} 1.414 \left( \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} & \text{khi } t \leq \frac{t_c}{2} \\ 1 - 1.414 \left( 1 - \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} & \text{khi } t \geq \frac{t_c}{2} \end{cases} \quad (2-26)$$

Trong đó:  $A$  - tổng diện tích của lưu vực;

$A_t$  - lũy tích diện tích thành phần lưu vực trong thời gian  $t$ ;

$t_c$  - thời gian tập trung nước của lưu vực.

Tung độ của đường cong thời gian - diện tích được nội suy theo thời đoạn tính toán. Đường quá trình chuyển đổi thu được, được diễn toán qua một hồ chứa tuyến tính để tính toán mưa hiệu quả được chuyển thành lưu lượng của dòng chảy theo thời gian.

Diễn toán qua hồ chứa tuyến tính được thiết lập dùng phương trình sau:

$$Q(2) = C_A * I + C_B * Q(1) \quad (2-27)$$

Hệ số diễn toán được tính từ:

$$Q_c = \frac{Q(1) + Q(2)}{2} \quad (2-28)$$

Trong đó:  $Q(2)$  - lưu lượng tức thời tại cuối thời đoạn tính toán;

$Q(1)$  - lưu lượng tức thời tại đầu thời đoạn tính toán;

$I$  - tung độ của đường quá trình chuyển đổi  $\Delta t$  (là thời khoảng tính toán tính bằng giờ);

$Q_c$  - tung độ đường quá trình đơn vị tại cuối của thời đoạn tính toán.

#### *b. Đường quá trình đơn vị tổng hợp Snyder*

Trong công trình nghiên cứu về nhiều lưu vực nằm chủ yếu ở các miền cao nguyên Hoa Kỳ có diện tích trong khoảng từ 30 - 30000 km<sup>2</sup>, Snyder (1938) (Scharffenberg, [23]) đã tìm ra các quan hệ tổng hợp về một số đặc trưng của một đường quá trình đơn vị chuẩn. Từ các quan hệ đó, ta có thể xác định được 5 đặc trưng cần thiết của một đường quá trình đơn vị đối với một thời gian mưa hiệu dụng cho trước: lưu lượng đỉnh trên một đơn vị diện



lích  $q_{pR}$ , thời gian trễ của lưu vực  $t_{pR}$ , (tức là khoảng chênh lệch thời gian giữa tâm của biểu đồ quá trình mưa hiệu dụng với thời gian xuất hiện đỉnh đường quá trình đơn vị), thời gian đáy  $t_b$  và các chiều rộng  $W$  (theo đơn vị thời gian) của đường quá trình đơn vị tại các tung độ bằng 50% và 75% của lưu lượng đỉnh. Sử dụng các đặc trưng này, ta có thể vẽ ra được đường quá trình đơn vị yêu cầu.

Snyder đã đưa ra định nghĩa về đường quá trình đơn vị chuẩn. Đó là một đường đơn vị có thời gian mưa  $t_r$  liên hệ với thời gian trễ của lưu vực qua phương trình:

$$t_p = 5,5t_r \quad (2-29)$$

Đối với đường quá trình đơn vị chuẩn, ông đã tìm thấy rằng:

\* Thời gian trễ  $t_p$  được tính:

$$t_p = C_t C_l (LL_c)^{0,3} \quad (2-30)$$

Trong đó:  $t_p$  được tính bằng giờ;

$L$  - chiều dài của dòng chính (tính bằng km) từ cửa ra đến đường phân nước;

$L_c$  - khoảng cách (tính bằng km) từ cửa ra đến một điểm trên dòng sông gần nhất với tâm của diện tích lưu vực;

$C_l = 0,75$  và  $C_t$  - một hệ số được suy ra từ những lưu vực có số liệu đo đạc trong cùng vùng nghiên cứu.

\* Lưu lượng đỉnh trên đơn vị diện tích lưu vực tính theo  $m^3/s.km^2$  (hay  $cfs/mi^2$ ) của đường quá trình đơn vị chuẩn là:

$$q_p = \frac{C_2 * C_p}{t_p} \quad (2-31)$$

Trong đó:  $C_2 = 2,75$  và  $C_p$  là một hệ số được suy ra từ các lưu vực có số liệu đo đạc trong cùng vùng nghiên cứu.

Để tính  $C_l$  và  $C_p$  cho một lưu vực có đo đạc, các giá trị  $L$  và  $L_c$  được đo từ bản đồ địa hình của lưu vực. Từ đường quá trình đơn vị của lưu vực có đo đạc, ta thu được các giá trị của thời gian mưa hiệu dụng  $t_R$  (tính bằng giờ), thời gian trễ của lưu vực  $t_{pR}$  (giờ) và lưu lượng đỉnh trên đơn vị diện tích  $q_{pR}$  ( $m^3/s.km^2$ ).

Nếu  $t_{pR} = 5,5 t_R$  thì :  $t_R = t_r$ ,  $t_{pR} = t_p$ ,  $q_{pR} = q_p$  và các hệ số  $C_l$ ,  $C_p$  được tính bởi các phương trình (2-27), (2-28). Nếu  $t_{pR}$  khác đáng kể  $5,5 t_R$ , thì thời gian trễ chuẩn được tính bởi:

$$t_p = t_{pR} + \frac{t_r - t_{pR}}{4} \quad (2-32)$$

và các phương trình (2-27), (2-30) sẽ được giải đồng thời để tính  $t_r$  và  $t_p$ . Các giá trị của  $C_l$  và  $C_p$  được tính từ (2-28), (2-29) với  $q_{pR} = q_p$  và  $t_{pR} = t_p$ .

Khi một lưu vực không có số liệu đo đạc, nhưng có các đặc trưng tương tự với một lưu vực khác có số liệu đo đạc, ta có thể sử dụng các hệ số  $C_i$  và  $C_p$  của lưu vực có số liệu được tính từ các phương trình ở trên để suy ra đường quá trình đơn vị tổng hợp của lưu vực không có đo đạc.

\* Mỗi liên hệ giữa lưu lượng đỉnh trên đơn vị diện tích lưu vực của đường quá trình đơn vị chuẩn  $q_p$  và đường quá trình đơn vị tính toán  $q_{pR}$  được biểu thị qua phương trình:

$$q_{pR} = \frac{q_p t_p}{t_{pR}} \quad (2-33)$$

\* Thời gian đáy  $t_b$  (tính bằng giờ) của đường quá trình đơn vị có thể được xác định dựa theo điều kiện: diện tích nằm bên dưới đường quá trình đơn vị phải tương đương với độ sâu 1 cm của lượng dòng chảy trực tiếp. Giả thiết, biểu đồ đường quá trình đơn vị có dạng hình tam giác, ta ước tính được thời gian đáy:

$$t_b = \frac{C_3}{q_{pR}} \quad (2-34)$$

với:  $C_3 = 5,56$ .

\* Chiều rộng (tính bằng giờ) của biểu đồ đường quá trình đơn vị tại một lưu lượng bằng một tỷ số phần trăm nào đó của lưu lượng đỉnh  $q_{pR}$  được tính theo hệ thức:

$$W = C_W q_{pR}^{-1.08} \quad (2-35)$$

với:  $C_W = 1,22$  đối với chiều rộng 75%;

$C_W = 2,14$  đối với chiều rộng 50%.

Người ta thường phân bố 1/3 chiều rộng đó trước thời gian xuất hiện đỉnh và 2/3 chiều rộng còn lại cho sau thời gian này.

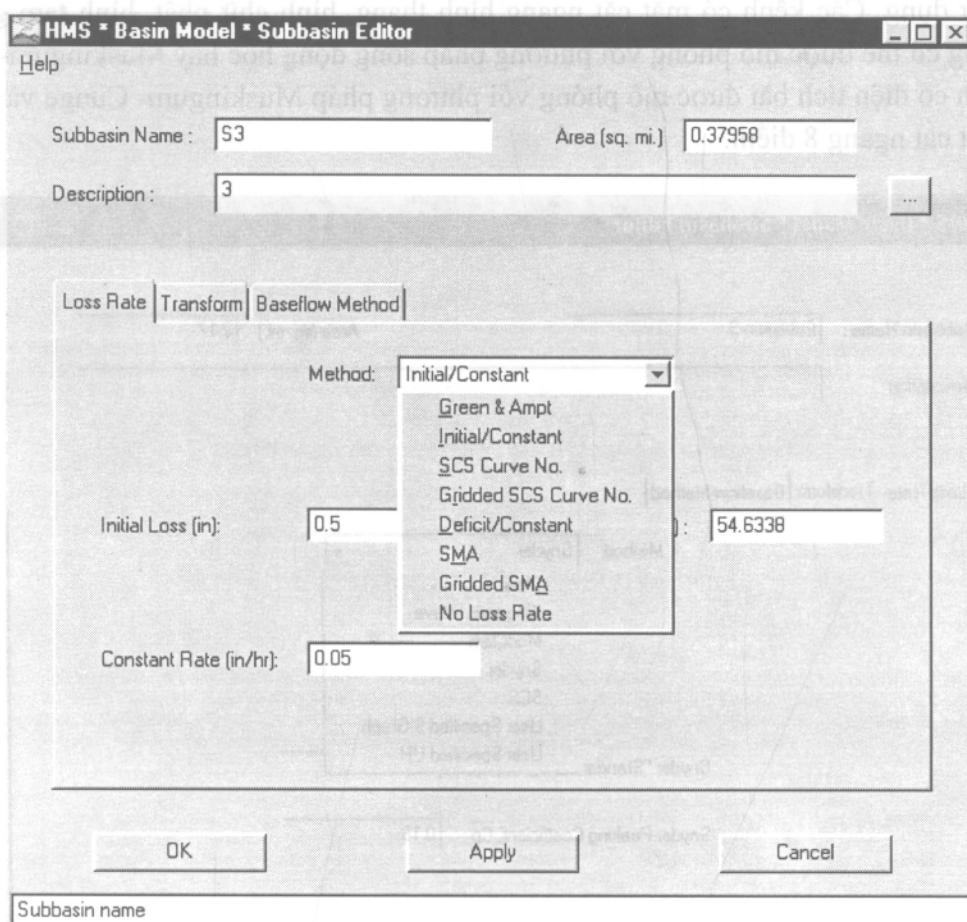
### c. Đường đơn vị tổng hợp không thứ nguyên SCS

Trong đường quá trình đơn vị không thứ nguyên này, tung độ lưu lượng được biểu thị bằng tỷ số của lưu lượng  $q$  so với lưu lượng đỉnh  $q_p$  và thời gian được biểu thị bằng tỷ số của thời gian  $t$  so với thời gian nước lên  $T_p$  của đường quá trình đơn vị. Khi cho trước lưu lượng đỉnh và thời gian trễ đối với khoảng thời gian mưa hiệu dụng, ta có thể ước tính được đường quá trình đơn vị từ đường quá trình đơn vị tổng hợp không thứ nguyên của lưu vực cho trước. Ta có thể ước tính  $q_p$  và  $T_p$  bằng cách sử dụng mô hình giản hoá của đường quá trình đơn vị hình tam giác, trong đó thời gian được tính bằng giờ và lưu lượng tính bằng  $m^3/s.cm$  (hay cfs/inch).

Từ kết quả phân tích một số lượng lớn đường quá trình đơn vị, cơ quan bảo vệ thổ nhưỡng Hoa Kỳ đã đề nghị thời gian nước rút có thể được lấy xấp xỉ bằng  $1,67 T_p$ . Bởi vì

### + Tồn thất

Một tập hợp các phương pháp khác nhau có sẵn trong mô hình để tính toán tồn thất. Có thể lựa chọn một phương pháp tính toán tồn thất trong số các phương pháp: Phương pháp tính thấm theo hai giai đoạn- Thấm ban đầu và thấm hằng số (Initial and Constant), thấm theo đường cong thấm của cơ quan bảo vệ đất Hoa Kỳ (SCS Curve Number), thấm theo Gridded SCS Number và thấm theo hàm Green and Ampt. Phương pháp Deficit and Constant có thể áp dụng cho các mô hình liên tục đơn giản. Phương pháp tính độ ẩm đất bao gồm 5 lớp được áp dụng cho các mô hình mô phỏng quá trình thấm phức tạp và bao gồm bốc hơi.



**Hình 2.7:** Cửa sổ lựa chọn phương pháp tính tồn thất

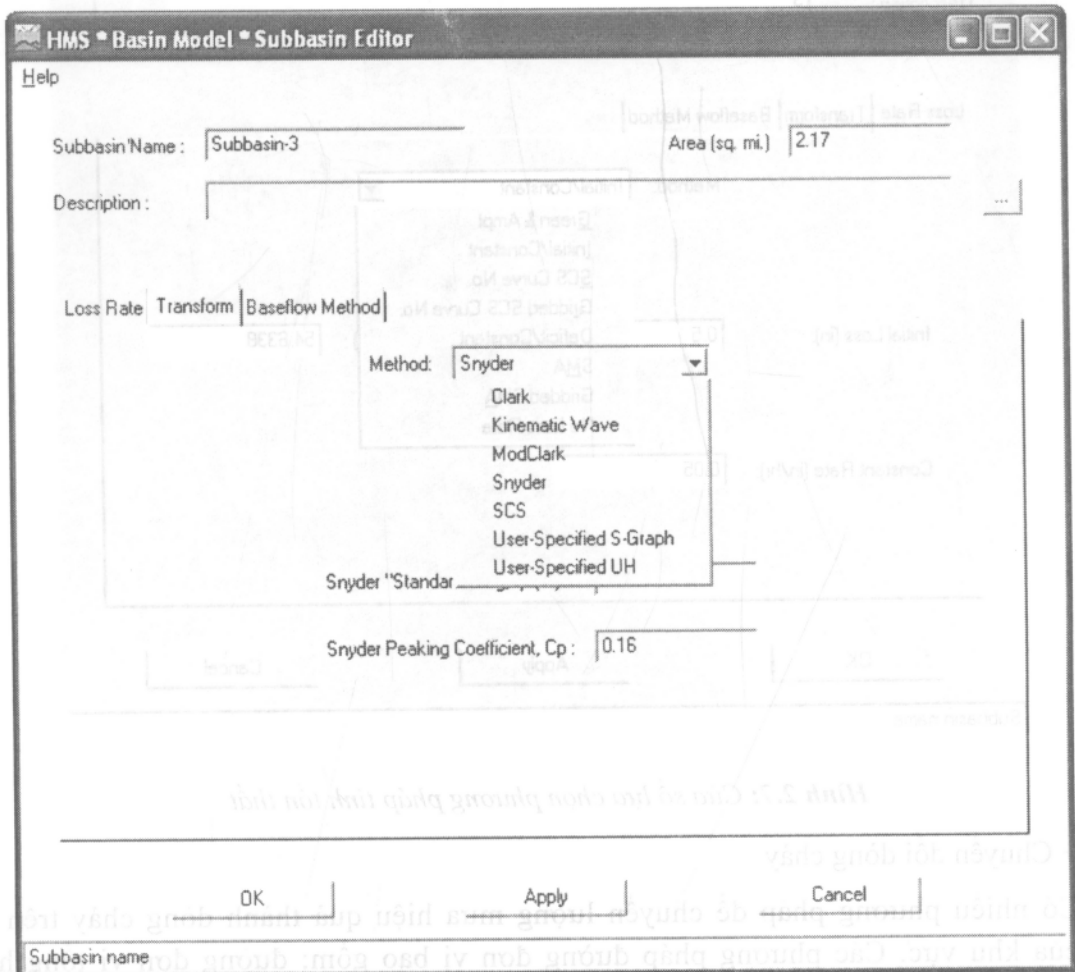
### + Chuyển đổi dòng chảy

Có nhiều phương pháp để chuyển lượng mưa hiệu quả thành dòng chảy trên bề mặt của khu vực. Các phương pháp đường đơn vị bao gồm: đường đơn vị tổng hợp Clack, Snyder và đường đơn vị không thứ nguyên của cơ quan bảo vệ đất Hoa Kỳ. Ngoài ra phương pháp tung độ đường đơn vị xác định bởi người sử dụng cũng có thể

được dùng. Phương pháp Clark sửa đổi (Mod Clark) là một phương pháp đường đơn vị không phân bố tuyến tính được dùng với lưới mưa. Mô hình còn bao gồm cả phương pháp sóng động học.

+ Diễn toán kênh hở

Một số phương pháp diễn toán thủy văn được sử dụng để tính toán dòng chảy trong các kênh hở. Diễn toán mà không tính đến sự suy giảm có thể được mô phỏng trong phương pháp trễ. Mô hình bao gồm cả phương pháp diễn toán truyền thống Muskingum. Phương pháp Puls sửa đổi cũng có thể được dùng để mô phỏng một đoạn sông như là một chuỗi các thác nước, các bể chứa với quan hệ lượng trữ - dòng chảy ra được xác định bởi người sử dụng. Các kênh có mặt cắt ngang hình thang, hình chữ nhật, hình tam giác hay hình cong có thể được mô phỏng với phương pháp sóng động học hay Muskingum- Cunge. Các kênh có diện tích bãi được mô phỏng với phương pháp Muskingum- Cunge và phương pháp mặt cắt ngang 8 điểm.



**Hình 2.8:** Cửa sổ lựa chọn phương pháp chuyển đổi mưa hiệu quả thành dòng chảy

diện tích nằm bên dưới đường quá trình đơn vị phải bằng với độ sâu dòng chảy trực tiếp là 1 cm nên ta có:

$$q_p = \frac{C * A}{T_p} \quad (2-36)$$

với  $C = 2,08$  (483,4 trong đơn vị Anh) và  $A$  là diện tích lưu vực tính bằng  $\text{km}^2$  (hay  $\text{mi}^2$ ).

Hơn nữa, công trình nghiên cứu các đường quá trình đơn vị của nhiều lưu vực lớn và nhỏ miền nông thôn đã cho thấy có thể ước tính thời gian trễ của lưu vực:  $t_p \approx 0,6T_c$ , với  $T_c$  là thời gian tập trung nước của lưu vực.

Thời gian nước lên  $T_p$  có thể được biểu thị theo thời gian trễ  $t_p$  và thời gian mưa hiệu dụng  $t_r$  như sau:

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (2-37)$$

#### *d. Đường đơn vị xác định bởi người sử dụng*

Cho phép điều khiển chính xác mối quan hệ kinh nghiệm giữa 1 đơn vị lượng mưa và dòng chảy trực tiếp nhận được. Tung độ của đường quá trình phải được nhập vào cùng thời đoạn như bước thời gian mô hình. Các thông số yêu cầu là tung độ đường quá trình và thời đoạn.

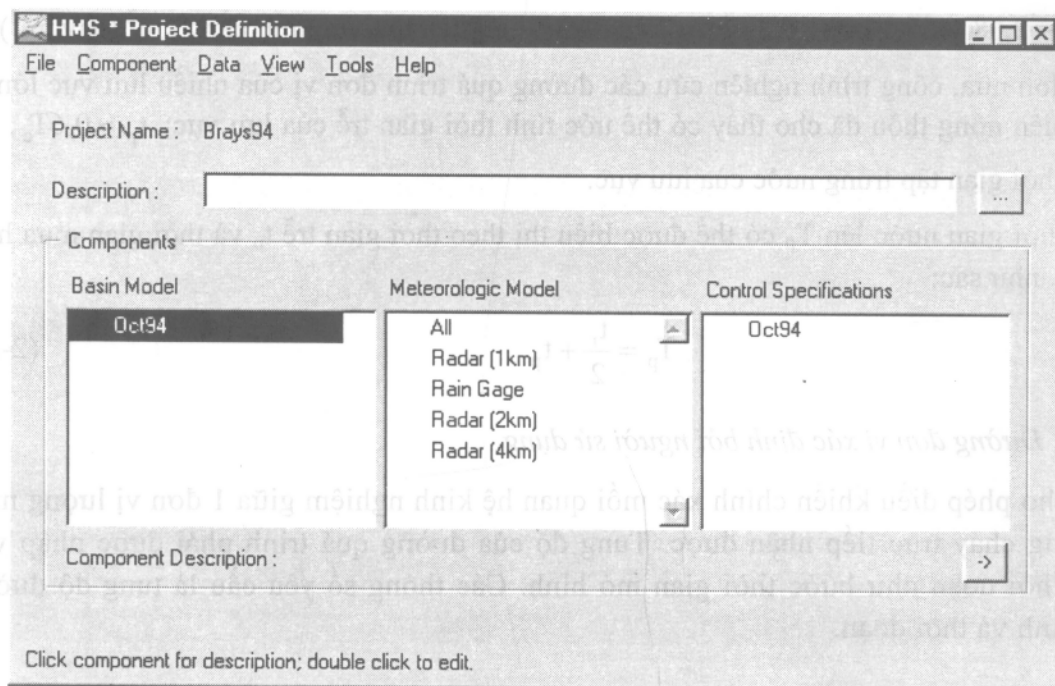
## GIỚI THIỆU MÔ HÌNH HEC-HMS

### 1. Giới thiệu

Mô hình HEC là sản phẩm của tập thể các kỹ sư thủy văn thuộc quân đội Hoa Kỳ. HEC-1 đã góp phần quan trọng trong việc tính toán dòng chảy lũ tại những con sông nhỏ không có trạm đo lưu lượng. Tính cho đến thời điểm này, đã có không ít đề tài nghiên cứu khả năng ứng dụng thực tế. Tuy nhiên, HEC-1 được viết từ những năm 1968- chạy trong môi trường DOS, số liệu nhập không thuận tiện, kết quả in ra khó theo dõi. Hơn nữa, đối với những người không hiểu sâu về chương trình kiểu Format thường rất lúng túng trong việc truy xuất kết quả mô hình nếu không muốn làm thủ công. Do vậy, HEC-HMS là một giải pháp, nó được viết để “chạy” trong môi trường Windows- hệ điều hành rất quen thuộc với mọi người. Phiên bản đầu tiên của HEC- HMS là version 2.0, hiện nay phiên bản mới nhất của HEC- HMS là version 2.2.2 (Scharffenberg, [23]).

Phần mềm bao gồm : giao diện đồ họa, các thành phần phân tích thủy văn, lưu trữ số liệu, các công cụ quản lý và các bản ghi. Chương trình đã kết hợp các ngôn ngữ lập trình C, C++ và Fortran. Phương tiện tính toán và giao diện đồ họa được lập trình theo hướng đối

tượng C<sup>++</sup>. Các thuật toán thủy văn được viết bằng Fortran và được tổ chức trong một thư viện Lib Hydro. Quản lý số liệu được trình bày dùng thư viện HEC- Lib. Mặc dù đã được kết hợp trong một chương trình nhưng vẫn có sự tách biệt rõ ràng giữa giao diện, công cụ tính toán và lưu trữ số liệu.



Hình 2.5: Cửa sổ chính của một dự án

## 2. Mô phỏng các thành phần lưu vực

Các đặc trưng vật lý của khu vực và của các sông được miêu tả trong mô hình lưu vực. Các yếu tố thủy văn như: lưu vực con, đoạn sông, hợp lưu, phân lưu, hồ chứa, nguồn, hồ, đầm được gắn kết trong một hệ thống mạng lưới để tính toán quá trình dòng chảy. Các quá trình tính toán được bắt đầu từ thượng lưu đến hạ lưu.

- |                                                                                     |                                                                                                              |                                                                                     |                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <b>subbasins</b> - Chứa dữ liệu về lưu vực con (tổn thất, Phương pháp chuyển đổi lũ đơn vị, dòng chảy ngầm). |  | <b>sinks</b> - có dòng chảy vào nhưng không có dòng chảy ra                                                    |
|  | <b>reaches</b> - kết nối những yếu tố cùng với dữ liệu diễn toán dòng chảy.                                  |  | <b>sources</b> - có dòng chảy ra nhưng không có dòng chảy vào                                                  |
|  | <b>junctions</b> - điểm kết nối giữa các yếu tố.                                                             |  | <b>diversions</b> - chuyển nước với một lượng nhất định tới một yếu tố khác - sử dụng trong trường hợp chậm lũ |
|  | <b>reservoirs</b> - tích và xả nước ở một mức ấn định trước (quan hệ dung tích và lưu lượng xả)              |                                                                                     |                                                                                                                |

Hình 2.6: Các yếu tố thủy văn được xây dựng trong mô hình

như trước, khi đó áp dụng mô hình nhận thức thường cho kết quả tốt hơn mô hình hộp đen, vì thế các mô hình nhận thức phát triển hơn mô hình hộp đen.

Các mô hình nhận thức thường có dạng bể chứa, ví dụ như mô hình NASH, TANK, NAM, ...vv. Trong đó mô hình TANK và mô hình NAM hiện nay được dùng rất nhiều ở nước ta. Mô hình TANK (cả TANK đơn và TANK kép đã được giới thiệu rất chi tiết trong cuốn Bài giảng Mô hình toán thủy văn [13] giảng dạy cho sinh viên Đại học Thủy lợi. Trong khi TANK là một mô hình được phát triển đơn lẻ thì mô hình NAM đã được Viện Thủy lực Đan mạch (DHI) tích hợp vào một bộ chương trình thương mại MIKE 11 rất mạnh. Dưới đây là lý thuyết cơ bản của mô hình NAM.

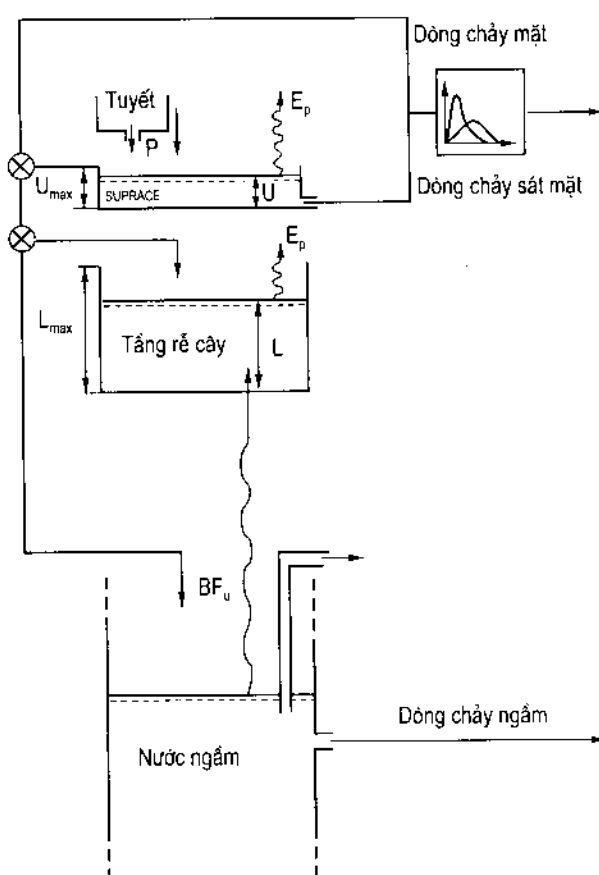
## GIỚI THIỆU MÔ HÌNH NAM

### 1. Giới thiệu

Mô hình NAM là mô hình thủy văn mô phỏng quá trình mưa – dòng chảy diễn ra trên lưu vực (DHI, [27]). Là một mô hình toán thủy văn, mô hình NAM bao gồm một tập hợp các biểu thức toán học đơn giản để mô phỏng các quá trình trong chu trình thủy văn. Mô hình NAM là mô hình nhận thức, tắt định, thông số tập trung. Đây là một mô đun tính dòng chảy từ mưa trong bộ phần mềm thương mại MIKE 11 do Viện Thủy lực Đan Mạch xây dựng và phát triển.

Mô hình NAM mô phỏng quá trình mưa – dòng chảy một cách liên tục thông qua việc tính toán cân bằng nước ở bốn bể chứa thẳng đứng, có tác dụng qua lại lẫn nhau để diễn tả các tính chất vật lý của lưu vực. Các bể chứa đó gồm:

- Bể tuyết (chỉ áp dụng cho vùng có tuyết)
- Bể mặt
- Bể sát mặt hay bể tầng rễ cây
- Bể ngầm



**Hình 2.11:** Sơ đồ mô phỏng của mô hình NAM

Dữ liệu đầu vào của mô hình là mưa, bốc hơi tiềm năng, và nhiệt độ (chỉ áp dụng cho vùng có tuyết). Kết quả đầu ra của mô hình là dòng chảy trên lưu vực, mực nước ngầm, và các thông tin khác trong chu trình thủy văn, như sự thay đổi tạm thời của độ ẩm của đất và khả năng bổ sung nước ngầm. Dòng chảy lưu vực được phân một cách gần đúng thành dòng chảy mặt, dòng chảy sát mặt, dòng chảy ngầm.

## 2. Cấu trúc của mô hình

### a. Bể tuyết

Giáng thủy sẽ được giữ lại trong bể tuyết khi nhiệt độ dưới  $0^{\circ}\text{C}$ , còn nếu nhiệt độ lớn hơn  $0^{\circ}\text{C}$  thì nó sẽ chuyển xuống bể chứa mặt:

$$Q_{\text{melt}} = \begin{cases} \text{CSNOW TEMP khi TEMP} > 0 \\ 0 & \text{khi TEMP} \leq 0 \end{cases} \quad (2-38)$$

Trong đó: CSNOW = 2 mm/ngày/K là hệ số tuyết tan trong ngày.

### b. Bể chứa mặt

Lượng ẩm trữ trên bề mặt của thực vật, cũng như lượng nước diên trùng trên bề mặt lưu vực được đặc trưng bởi lượng trữ bề mặt.  $U_{\text{max}}$  đặc trưng cho giới hạn trữ nước tối đa của bề mặt này.

Lượng nước,  $U$ , trong bể chứa mặt sẽ giảm dần do bốc hơi, do thất thoát theo phương nằm ngang (dòng chảy sát mặt). Khi lượng nước này vượt quá ngưỡng  $U_{\text{max}}$ , thì một phần của lượng nước vượt ngưỡng,  $P_N$  này sẽ chảy vào suối dưới dạng dòng chảy tràn bề mặt, phần còn lại sẽ thấm xuống bề mặt đất và bể ngầm.

### c. Bể sát mặt hoặc bể tầng rễ cây

Bể này thuộc tầng rễ cây, là lớp đất mà thực vật có thể hút nước để thoát ẩm.  $L_{\text{max}}$  đặc trưng cho lượng ẩm tối đa mà bể này có thể chứa.

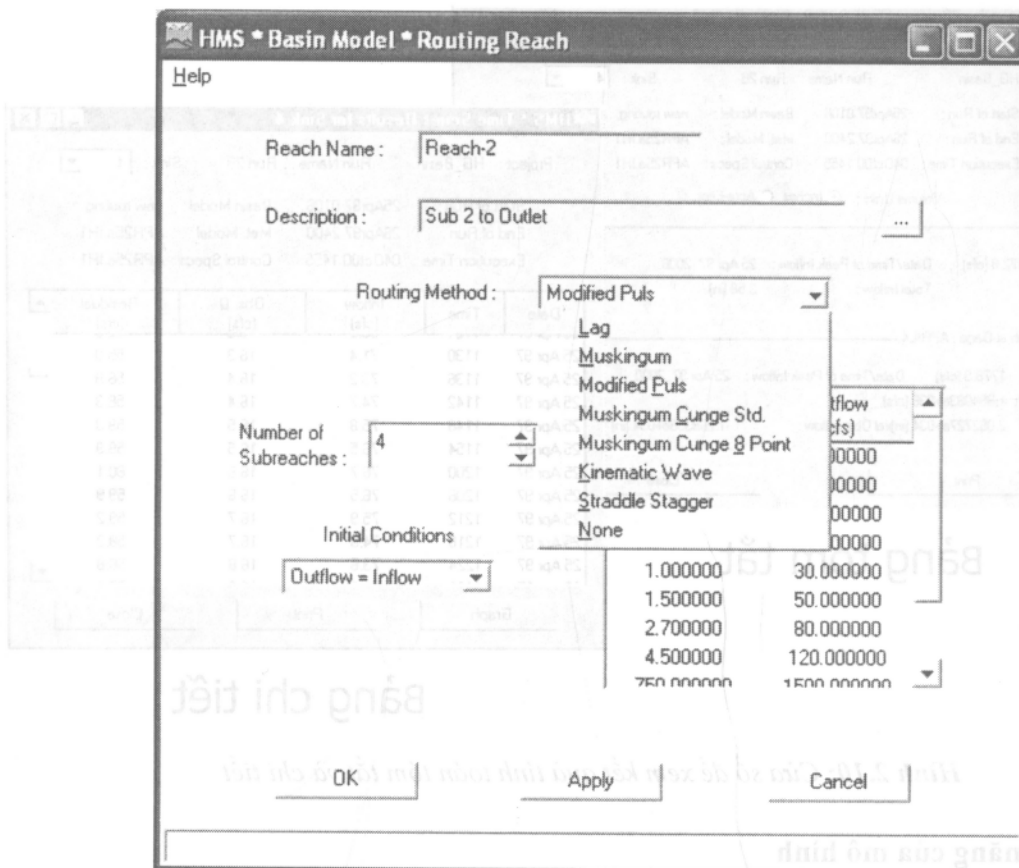
Lượng ẩm của bể chứa này được đặc trưng bằng đại lượng  $L$ .  $L$  phụ thuộc vào lượng tồn thất thoát hơi của thực vật. Lượng ẩm này cũng ảnh hưởng đến lượng nước sẽ đi xuống bể chứa ngầm để bổ sung nước ngầm.

### d. Bốc thoát hơi

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

$$E_a = E_p L / L_{\text{max}} \quad (2-39)$$





**Hình 2.9:** Cửa sổ lựa chọn phương pháp diễn toán dòng chảy trên sông hay kênh hở

#### + Tính toán mưa - dòng chảy

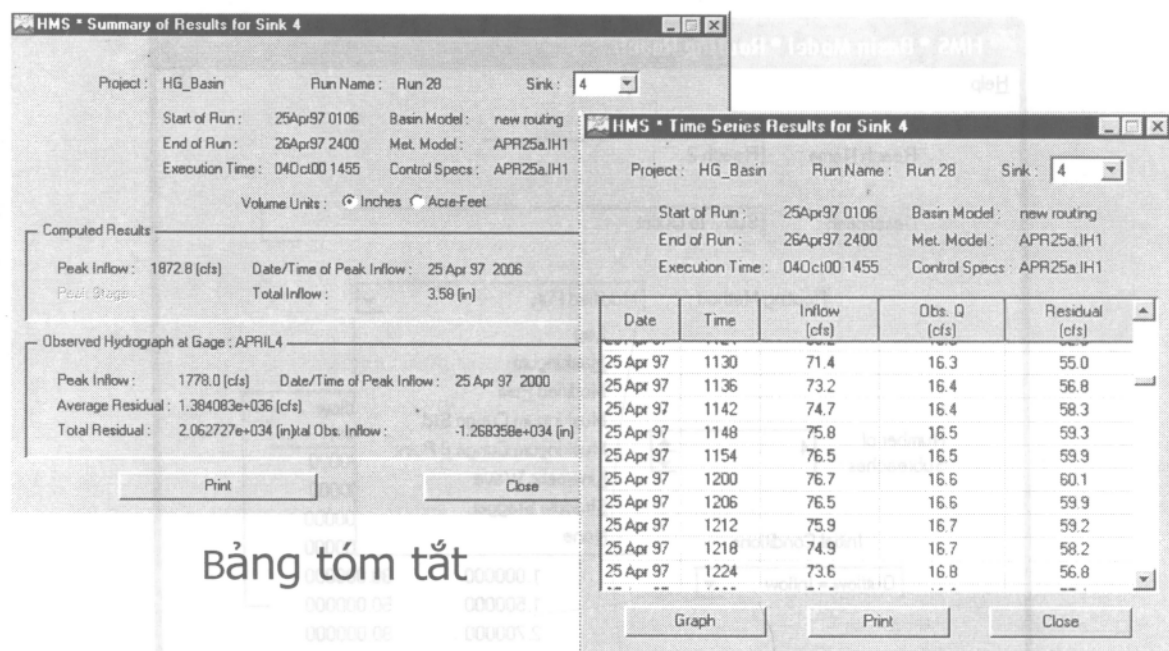
Chương trình tính toán được tạo bằng cách kết hợp mô hình lưu vực, mô hình khí tượng - thủy văn và mô hình điều khiển chương trình.

Các kết quả tính toán được xem từ lược đồ mô hình lưu vực. Bảng tổng kết chung và bảng tổng kết từng phần chứa các thông tin về lưu lượng đỉnh lũ và tổng lượng. Mỗi một yếu tố đều có các bảng tổng kết và đồ thị.

#### + Hiệu chỉnh thông số

Hầu hết thông số của các phương pháp có trong mô hình lưu vực và trong yếu tố đoạn sông đều có thể ước tính bằng phương pháp dò tìm tối ưu. Mô hình gồm có 4 hàm mục tiêu để dò tìm thông số. Việc dò tìm thông số tối ưu nhằm mục đích tìm ra bộ thông số thích hợp nhất để cho kết quả tính toán phù hợp với kết quả thực đo.

Số liệu đầu vào và kết quả tính ra có thể biểu thị dưới hệ đơn vị mét hay đơn vị của Anh và được tự động chuyển khi cần thiết.



Bảng tóm tắt

Bảng chi tiết

Hình 2.10: Cửa sổ để xem kết quả tính toán tóm tắt và chi tiết

### 3. Khả năng của mô hình

Về lý thuyết, HEC- HMS cũng dựa trên cơ sở lý luận của mô hình HEC-1: nhằm mô phỏng quá trình mưa- dòng chảy. Mô hình bao gồm hầu hết các phương pháp tính dòng chảy lưu vực và diễn toán, phân tích đường tần suất lưu lượng, công trình xả của hồ chứa và vỡ đập của mô hình HEC-1. Chức năng phân tích thiệt hại lũ không được xây dựng trong mô hình HEC-HMS mà được trình bày trong phần mềm HEC-FDA.

Những phương pháp tính toán mới được đề cập trong mô hình HEC-HMS : tính toán đường quá trình liên tục trong thời đoạn dài và tính toán dòng chảy phân bố trên cơ sở các ô lưới của lưu vực. Việc tính toán liên tục có thể dùng một bể chứa đơn giản biểu thị độ ẩm của đất hay phức tạp hơn là mô hình 5 bể chứa bao gồm sự trữ nước tầng trên cùng, sự trữ nước trên bề mặt, trong lớp đất và trong hai tầng ngầm. Dòng chảy phân bố theo không gian có thể được tính toán theo sự chuyển đổi phân bố phi tuyến (Mod Clak) của mưa và thảm cơ bản.

#### 2.2.5. Mô hình nhận thức

Mô hình nhận thức (Conceptual model) hay còn gọi là mô hình hộp xám (Grey-box model) là loại mô hình được tạo ra từ sự phân tích từng thành phần của hệ thống thủy văn và cố gắng mô tả chúng bằng các biểu thức toán học càng gần đúng càng tốt. Trong trường hợp lưu vực có thay đổi do sự can thiệp của con người hoặc thay đổi do thiên nhiên tạo ra (làm hồ chứa, tháo cạn đầm lầy,...động đất, lở đất, cháy rừng...) làm cho lưu vực không còn

*e. Dòng chảy mặt*

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

$$QOF = \begin{cases} CQOF \frac{L/L_{\max} - TOF}{1 - TOF} P_N & \text{khi } L/L_{\max} > TOF \\ 0 & \text{khi } L/L_{\max} \leq TOF \end{cases} \quad (2-40)$$

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

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

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

*f. Dòng chảy sát mặt*

Dòng chảy sát mặt, QIF, được giả thiết tỉ lệ thuận với U và biến đổi tuyến tính với độ ẩm tương đối của bể chứa tầng rễ cây

$$QIF = \begin{cases} (CKIF)^{-1} \frac{L/L_{\max} - TIF}{1 - TIF} U & \text{khi } L/L_{\max} > TIF \\ 0 & \text{khi } L/L_{\max} \leq TIF \end{cases} \quad (2-41)$$

Trong đó: CKIF - hằng số thời gian của dòng chảy sát mặt;

TIF - giá trị ngưỡng của dòng chảy sát mặt ( $0 \leq TIF \leq 1$ ).

*g. Bổ sung dòng chảy ngầm*

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

$$G = \begin{cases} (P_N - QOF) \frac{L/L_{\max} - TG}{1 - TG} & \text{khi } L/L_{\max} > TG \\ 0 & \text{khi } L/L_{\max} \leq TG \end{cases} \quad (2-42)$$

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

*h. Lượng ẩm của đất*

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

$$DL = P_N - QOF - G \quad (2-43)$$

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

Dòng chảy mặt và dòng chảy sát mặt sẽ được diễn toán thông qua 2 bể chứa tuyến tính theo chuỗi thời gian với hằng số thời gian CK1 và CK2.

$$Q_{OF}^t = Q_{OF}(1 - e^{-\frac{24}{CK1}}) + Q_{OF}^{t-1} e^{-\frac{24}{CK1}} \quad (2-44)$$

$$Q_{IF}^t = Q_{IF}(1 - e^{-\frac{24}{CK2}}) + Q_{IF}^{t-1} e^{-\frac{24}{CK2}} \quad (2-45)$$

*k. Diễn toán dòng chảy ngầm*

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

$$BF^t = G(1 - e^{-\frac{24}{CKBF}}) + BF^{t-1} e^{-\frac{24}{CKBF}} \quad (2-46)$$

### 3. Hiệu chỉnh các thông số của mô hình

Mô hình NAM đơn bao gồm 9 thông số cần được hiệu chỉnh (xem bảng 2.3).

**Bảng 2.3. Các thông số hiệu chỉnh của mô hình NAM**

| Thông số mô hình | Mô tả                                                                                                                                                                                         |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                | 2                                                                                                                                                                                             |
| $L_{max}$        | Lượng nước tối đa trong bể chứa tầng rễ cây. $L_{max}$ có thể gọi là lượng ẩm tối đa của tầng rễ cây để thực vật có thể hút để thoát hơi nước.                                                |
| $U_{max}$        | Lượng nước tối đa trong bể chứa mặt. Lượng trữ này có thể gọi là lượng nước để điền trũng, rơi trên mặt thực vật, và chứa trong vải $C_m$ của bề mặt của đất.                                 |
| CQOF             | Hệ số dòng chảy mặt ( $0 \leq CQOF \leq 1$ ). CQOF quyết định sự phân phối của mưa hiệu quả cho dòng chảy ngầm và thấm.                                                                       |
| TOF              | Giá trị ngưỡng của dòng chảy mặt ( $0 \leq TOF \leq 1$ ). Dòng chảy mặt chỉ hình thành khi lượng ẩm tương đối của đất ở tầng rễ cây lớn hơn TOF.                                              |
| TIF              | Giá trị ngưỡng của dòng chảy sát mặt ( $0 \leq TOF \leq 1$ ). Dòng chảy sát mặt chỉ được hình thành khi chỉ số ẩm tương đối của tầng rễ cây lớn hơn TIF.                                      |
| TG               | Giá trị ngưỡng của lượng nước bổ sung cho dòng chảy ngầm ( $0 \leq TOF \leq 1$ ). Lượng nước bổ sung cho bể chứa ngầm chỉ được hình thành khi chỉ số ẩm tương đối của tầng rễ cây lớn hơn TG. |
| CKIF             | Hằng số thời gian của dòng chảy sát mặt. CKIF cùng với $U_{max}$ quyết định dòng chảy sát mặt. Nó chi phối thông số diễn toán dòng chảy sát mặt $CKIF \gg CK12$ .                             |

| <i>1</i> | <i>2</i>                                                                                                                                                                                |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CK12     | Hằng số thời gian cho diễn toán dòng chảy mặt và sát mặt. Dòng chảy mặt và dòng chảy sát mặt được diễn toán theo các bể chứa tuyến tính theo chuỗi với cùng một hằng số thời gian CK12. |
| CKBF     | Hằng số thời gian dòng chảy ngầm. Dòng chảy ngầm từ bể chứa ngầm được diễn toán bằng mô hình bể chứa tuyến tính với hằng số thời gian CKBF.                                             |

#### 4. Những điều kiện ban đầu

Những điều kiện ban đầu theo yêu cầu của mô hình NAM bao gồm lượng nước trong bể tuyết, bể mặt, bể chứa tầng rễ cây, cùng với những giá trị ban đầu của dòng chảy từ 2 bể chứa tuyến tính cho dòng chảy mặt và sát mặt và dòng chảy ngầm.

Thông thường tất cả các giá trị ban đầu có thể lấy bằng 0 trừ lượng nước ở tầng rễ cây và tầng ngầm. ước tính những điều kiện ban đầu này có thể lấy từ lần mô phỏng trước đó, ở những năm trước đây, nhưng cần đúng với thời gian bắt đầu mô phỏng mới. Trong việc hiệu chỉnh mô hình, thông thường nên bỏ qua kết quả mô phỏng của nửa năm đầu tiên để loại bỏ những ảnh hưởng sai số của những điều kiện ban đầu.

#### 5. Những ứng dụng của mô hình NAM

Mô hình NAM thuộc loại mô hình tắt định, thông số tập trung, và là mô hình mô phỏng liên tục. Mô hình NAM hiện nay được sử dụng rất nhiều nơi trên thế giới và gần đây cũng hay được sử dụng ở Việt Nam. Những ứng dụng chủ yếu của mô hình NAM bao gồm:

##### *a. Phân tích thủy văn*

- Phân phối dòng chảy
- Ước tính thấm và bốc hơi

##### *b. Dự báo lũ*

- Dòng chảy lưu vực nhỏ đổ vào mô hình sông
- Liên kết với các mô hình khí tượng.

##### *c. Kéo dài số liệu dòng chảy*

- Phục hồi những số liệu bị thiếu
- Cơ sở xác định các giá trị cực đoan.

##### *d. Dự báo dòng chảy kiệt*

- Phục vụ tưới
- Quản lý chất lượng nước

### Chương 3

## MÔ HÌNH NGẪU NHIÊN

### 3.1. TÍNH NGẪU NHIÊN TRONG THỦY VĂN

Trong nhiều lĩnh vực của cuộc sống như môi trường, thủy văn, y tế, sinh học, kinh tế ...luôn tồn tại những hiện tượng có mối quan hệ lẫn nhau. Phân tích chúng bằng công cụ toán học thống kê ta thấy quan hệ giữa các hiện tượng rất đa dạng, có những quan hệ cơ bản và có những quan hệ không cơ bản. Hình thức đặc trưng của quan hệ cơ bản là sự liên hệ nhân quả, trong quan hệ này một hiện tượng biểu hiện sự tồn tại (xuất hiện, biến đổi, biến mất,...) phụ thuộc vào hiện tượng khác (có mưa sẽ sinh ra dòng chảy), bên cạnh đó một hiện tượng là nguyên nhân tác động đến hiện tượng khác (là hậu quả, kết quả). Như vậy trong quan hệ nhân quả này mỗi hiện tượng vừa là nguyên nhân đồng thời vừa là kết quả của một hiện tượng khác.

Để có thể nghiên cứu những hiện tượng nói trên cần phải phân lập chúng, nhưng mặt khác phải hiểu mỗi hiện tượng như là một bộ phận của cả hệ thống cũng như tính chất quan hệ tương hỗ giữa các hiện tượng.

Mô tả và nghiên cứu các tập hợp nhiều yếu tố về thực chất là nghiên cứu mối liên hệ giữa hai hay nhiều yếu tố có tính thống kê và phản ánh những đặc trưng của tập hợp. Chúng ta cần phân tích sự liên hệ giữa các yếu tố mà các tính chất của tập hợp chưa được làm rõ. Cần nhấn mạnh sự liên hệ nào có ý nghĩa, liên hệ nào không có ý nghĩa.

Tuỳ theo mức độ liên hệ giữa một hiện tượng này với hiện tượng khác, chúng ta phân biệt hai kiểu liên hệ cơ bản: Liên hệ tất yếu và liên hệ mờ.

1) Liên hệ mờ là đối tượng của nghiên cứu thống kê nên gọi là liên hệ thống kê. Nghiên cứu liên hệ thống kê giữa hai hay nhiều yếu tố là nghiên cứu ảnh hưởng giữa mức độ thay đổi của biến độc lập đến mức độ thay đổi của các biến phụ thuộc. Mỗi liên hệ đó gọi là liên hệ hồi quy – tương quan. Nội dung nghiên cứu liên hệ thống kê bao gồm việc thực hiện hai nhiệm vụ cơ bản :

- Nghiên cứu hồi quy;
- Nghiên cứu tương quan.

## 2) Các kiểu liên hệ tương quan

Tuỳ theo quan điểm khác nhau chúng ta có thể phân biệt :

+ Theo số lượng yếu tố :

- Tương quan đơn: phân tích liên hệ giữa hai yếu tố

- Tương quan bội hay đa biến : nghiên cứu liên hệ giữa nhiều yếu tố định lượng

+ Theo kiểu hàm hồi quy :

- Hồi quy tuyến tính

- Hồi quy phi tuyến tính

+ Theo chiều hướng thay đổi của các yếu tố tham gia liên hệ :

- Liên hệ tương quan dương (thuận) : sự thay đổi của yếu tố theo cùng một chiều hướng tăng hoặc giảm.

- Liên hệ tương quan âm (nghịch) : sự thay đổi trị của các yếu tố không theo cùng một chiều hướng, một yếu tố tăng thì yếu tố kia giảm hoặc ngược lại.

Chương này sẽ giới thiệu một số mô hình ngẫu nhiên thường dùng như mô hình ARIMA (p,q) và một số phương pháp tổng hợp và phân tích chuỗi dữ liệu như phân tích hồi quy nhiều biến và mô hình ANN (là một dạng mô hình vừa mang tính ngẫu nhiên vừa mang tính tất định tùy theo cách nhìn dưới những góc độ khác nhau). Các mô hình ngẫu nhiên khác như mô hình Monte-Carlo, mô hình Thomas-Feering đã được giới thiệu trong "Giáo trình Thủy văn Công trình và Bài giảng Mô hình toán Thủy văn" [23] cho sinh viên Đại học Thủy lợi nên không được đưa vào chương này nữa.

## 3.2. TỔNG HỢP VÀ PHÂN TÍCH CHUỖI DỮ LIỆU

### 3.2.1. Phân tích hồi quy nhiều biến

Phương trình tuyến tính biểu hiện mối liên hệ giữa nhiều biến có dạng tổng quát như sau (Holder , 1990, [19]):

$$\overline{y_{x_1, x_2, \dots, x_n}} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \quad (3-1)$$

Trong đó:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  - các tiêu thức nguyên nhân;

$a_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ ) - các thông số.

Các giả thiết của phương trình hồi qui nhiều biến gồm:

- Mối quan hệ giữa đại lượng (biến) phụ thuộc và đại lượng (biến) độc lập là mối quan hệ đường thẳng.

- Các đại lượng độc lập có thể là các đại lượng liên tục hoặc rời rạc.
- Sai số tính toán giữa giá trị thực đo và tính toán tuân theo luật phân bố chuẩn với giá trị trung bình là 0.

Các hệ số  $a_i$  được xác định bằng phương pháp bình phương nhỏ nhất và  $a_i$  phải thỏa mãn hệ phương trình sau:

$$\begin{cases} \sum y = n.a_0 + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 + \dots + a_n \sum x_n \\ \sum x_1 y = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 + \dots + a_n \sum x_1 x_n \\ \sum x_2 y = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_2 x_1 + a_2 \sum x_2^2 + \dots + a_n \sum x_2 x_n \\ \dots\dots\dots \\ \sum x_n y = a_0 \sum x_n + a_1 \sum x_n x_1 + a_2 \sum x_n x_2 + \dots + a_n \sum x_n^2 \end{cases} \quad (3-2)$$

Để đánh giá mức độ chặt chẽ mối liên hệ tương quan tuyến tính giữa nhiều tiêu thức người ta thường dùng hai loại hệ số tương quan là: hệ số tương quan bội và hệ số tương quan riêng.

#### *Hệ số tương quan bội*

Hệ số tương quan bội (ký hiệu là R) dùng để đánh giá mức độ chặt chẽ biến phụ thuộc và các biến độc lập.

Hệ số tương quan bội được tính theo công thức:

$$R_{y.x_1.x_2\dots x_n} = \sqrt{1 - \frac{\sum (y - y_{x_1 x_2 \dots x_n})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}} \quad (3-3)$$

Hệ số tương quan bội bao giờ cũng dương và nằm trong phạm vi từ 0 đến 1. Tùy theo trị số R lớn hay nhỏ mà kết luận mức độ chặt chẽ của mối liên hệ.

Các tính chất của hệ số tương quan bội R:

- + Nếu  $R = 0$  thì không có tương quan tuyến tính.
- + Nếu R càng gần đến 1 thì tương quan càng chặt chẽ
- + Nếu  $R = 1$  thì tương quan là hàm số.

#### *Ma trận tương quan:*

Ma trận tương quan là ma trận có các trị số trên đường chéo chính bằng 1. Các phần tử của ma trận đối xứng qua đường chéo chính. Các phần tử của ma trận chính là các hệ số tương quan của các biến ngẫu nhiên độc lập và tương quan các biến này với biến phụ thuộc.



Mục đích của việc xây dựng ma trận tương quan để nhằm loại bỏ tính đa tuyến làm méo hệ số quan hệ, đồng thời lựa chọn một cách tốt nhất các biến độc lập đưa vào phân tích tương quan, làm giảm thời gian tính toán. Điều này có thể giải thích vắn tắt như sau: khi hai biến độc lập đều có tương quan chặt chẽ với biến phụ thuộc, nhưng giữa chúng cũng có một tương quan rất chặt chẽ với nhau (hệ số tương quan  $> 0,85$ ), như vậy chúng ta có thể loại bỏ một biến độc lập khi phân tích hồi quy nhiều biến, vì sự tham gia của biến kia có thể bóp méo, hoặc làm giảm hệ số tương quan bội. Tuy nhiên trong trường hợp hệ số tương quan bội lớn hơn hệ số tương quan của 2 biến kia, thì ta vẫn có thể giữ biến kia trong phương trình tương quan, vì nó vẫn đóng góp vào tính chặt chẽ của hệ số tương quan bội.

#### *Phép thử toàn cục (Ftest)*

Phép thử toàn cục dùng để kiểm tra sự tồn tại của hệ số tương quan bội (Chao, 1981 [18]).

Giả thiết  $H_0: R^2 = 0$

Kết luận biến lượng :

$$F = \frac{SSR / k}{SSE / (n - k - 1)} \quad (3-4)$$

Trong đó:  $n$  - độ dài của chuỗi sử dụng trong phân tích;

$k$  - số biến độc lập sử dụng trong phân tích;

SSR - tổng bình phương (sum of square for regression);

SSE - tổng bình phương sai số (sum of square for error).

- Nếu  $F_{\text{tính}} < F_{\text{bảng}}$  (Bảng tra được đưa ra trong Phụ lục 1) ở độ tự do  $k$  và  $(n-k-1)$ : chấp nhận giả thiết  $H_0: R^2 = 0$ , biến thiên do sai lệch chiếm tỷ trọng lớn hơn so với biến thiên tương quan,  $R^2$  của hồi quy không thật sự tồn tại ở mức ý nghĩa  $\alpha = 0,05$  hoặc  $0,01$ .

- Nếu  $F_{\text{tính}} > F_{\text{bảng}}$  ở độ tự do  $k$  và  $(n-k-1)$ : bác bỏ giả thiết  $H_0$ , chấp nhận giả thiết  $H_0: R^2 \neq 0$ , biến thiên do sai lệch chiếm tỷ trọng nhỏ hơn so với biến thiên do tương quan.  $R^2$  của hồi quy thật sự tồn tại với xác suất  $1 - \alpha$  chứng tỏ tổ hợp tuyến tính của  $k$  gộp phần có ý nghĩa vào sự biến thiên của biến phụ thuộc  $Y$ .

#### *Phép thử riêng biệt (T test)*

Nhằm đánh giá từng đại lượng ngẫu nhiên liệu có ảnh hưởng đến biến phụ thuộc không (Chao, 1981 [18]). Phép thử này đưa ra 2 giả thiết sau:

Giả thiết  $H_0: R^2 = 0$

Giả thiết  $H_1: R^2 \neq 0$

Trong quá trình kiểm tra ta sử dụng hàm phân bố  $t$  với bậc tự do là  $n - (k+1)$ . Giá trị  $t$  giới hạn được tra bảng với độ tin cậy là 95%.

$$\text{Với} \quad t_{tt} = \frac{\left( \bar{X} - \mu \right)}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (3-5)$$

$\bar{X}$  - giá trị trung bình;

$\mu$  - giá trị kì vọng;

$s$  - sai số quân phương;

$n$  - số phần tử.

Khi giá trị  $t_{tt}$  nằm ngoài khoảng giới hạn của  $t_{\alpha k}$  thì giả thiết  $H_1$  được chấp nhận. Điều này chứng tỏ đại lượng ngẫu nhiên có ảnh hưởng đến biến phụ thuộc. Ngược lại khi giả thiết  $H_0$  được chấp nhận ta phải loại bỏ đại lượng ngẫu nhiên đó ra khỏi phương trình hồi quy. Bởi đại lượng này không có ảnh hưởng đến đại lượng phụ thuộc. Ta phải xây dựng lại phương trình hồi quy với các biến còn lại. Sau đó lại tiến hành các phép thử như đã trình bày ở trên.

*Chú ý:* Nếu từ 2 biến độc lập trở lên tìm thấy chấp nhận giả thiết  $H_0$  thì ta loại bỏ biến nào có giá trị  $t$  nhỏ nhất. Tiến hành phân tích hồi quy và xem xét  $R^2$  của lần tính toán mới này với giá trị  $R^2$  của lần tính toán trước. Giá trị  $R^2$  của lần tính toán sau cho thấy các biến độc lập có ảnh hưởng bao nhiêu đến sự thay đổi của biến phụ thuộc (đại lượng cần dự báo). Ta cũng có thể so sánh giá trị  $R^2$  hiệu chỉnh vì nó loại bỏ bậc tự do.

### 3.2.2. Mô hình tự hồi quy bậc p AR(p)

Mô hình tự hồi quy bậc p viết tắt là: AR(p) (Auto Regressive model) (Bảng, 2000 [13]). Cho chuỗi số  $Z(t)$  có giá trị trung bình của chuỗi số bằng không:  $\bar{Z} = 0$ . Dạng tổng quát của mô hình tự hồi quy bậc p viết cho chuỗi số  $Z$  kể trên là:

$$\hat{Z}_t = a_1 Z_{t-1} + a_2 Z_{t-2} + \dots + a_p Z_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3-6)$$

$$\text{Hoặc:} \quad \hat{Z}_t = \sum_{i=1}^p a_i Z_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3-7)$$

Trong đó:  $\hat{Z}_t$  - giá trị tính toán của chuỗi số  $Z$  tại các thời điểm  $t$ ;

$p$  - số nguyên dương, gọi là bậc của mô hình;

$a_1, a_2, \dots, a_p$ : các hệ số hằng số;

$Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots$ : các giá trị thực đo của chuỗi số  $Z$  tại các thời điểm tương ứng  $t-1, t-2, \dots$ ;

$\varepsilon_t$  - thành phần ngẫu nhiên.

*Tìm các thông số  $a_i$  của mô hình tự hồi quy bậc  $p$*

Nhân hai vế phương trình (3-1) với thành phần  $Z_{t-k}$  của chuỗi số  $Z$ :

$$Z_t Z_{t-k} = a_1 Z_{t-1} Z_{t-k} + a_2 Z_{t-2} Z_{t-k} + \dots + a_p Z_{t-p} Z_{t-k} + \varepsilon_t Z_{t-k} \quad (3-8)$$

Theo định nghĩa Covarian bậc  $k$  của dãy số  $Z$  là:

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t-k} - \bar{Z}) \quad (3-9)$$

Vì chuỗi số  $Z(t)$  có giá trị trung bình bằng không:  $\bar{Z} = 0$ , nên Covarian bậc  $k$  của chuỗi số  $Z(t)$  là:

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} Z_t Z_{t-k} \quad (3-10)$$

Lấy tổng từ  $t = 1$  đến  $t = n - k$  của phương trình (3-8) ta suy ra:

$$C_k = a_1 C_{k-1} + a_2 C_{k-2} + \dots + a_p C_{k-p} + 0 \quad (3-11)$$

Chia hai vế phương trình (3-4) cho  $C_0$  với chú ý hệ số tương quan bậc  $k$  là:

$$r_k = \frac{C_k}{C_0}$$

ta có:

$$r_k = a_1 r_{k-1} + a_2 r_{k-2} + \dots + a_p r_{k-p} \quad (3-12)$$

Chú ý rằng:  $r_{k-1} = r_{1-k}$  và  $r_0 = 1$

Với:  $k = 1$   $r_1 = a_1 + a_2 r_1 + \dots + a_p r_{1-p}$

Với:  $k = 2$   $r_2 = a_1 r_1 + a_2 r_0 + \dots + a_p r_{2-p}$

.....

Với:  $k = p$   $r_p = a_1 r_{p-1} + a_2 r_{p-2} + \dots + a_p r_{p-p}$

Các phương trình ứng với  $k = 1, 2, 3, \dots, p$  tạo thành *hệ phương trình Yule-Walker*.

Với chuỗi số  $Z$  xác định, các hệ số tự tương quan  $r_1, r_2, \dots, r_p$  luôn luôn tìm được và có giá trị xác định. Hệ phương trình đại số tuyến tính Yule-Walker, có  $p$  phương trình với  $p$  ẩn số là  $a_1, a_2, \dots, a_p$  nên lời giải là nghiệm duy nhất.

Viết hệ phương trình Yule-Walker dưới dạng ma trận:

$$R = A.P \rightarrow A = P^{-1}R \quad (3-13)$$

Với:  $A, R, P$  là các ma trận

$$A = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{bmatrix}; R = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_p \end{bmatrix}; P = \begin{bmatrix} 1 & r_1 & r_2 & \dots & r_{p-1} \\ a_2 & 1 & r_2 & \dots & r_{p-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{p-1} & a_{p-2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3-14)$$

Nghiệm tổng quát của hệ phương trình Yule-Walker là công thức truy trướng *Durbin's*:

$$a_{k+1,k+1} = \frac{\rho_{k+1} - \sum_{j=1}^k a_{k,j} \rho_{k+1-j}}{1 - \sum_{j=1}^k a_{k,j} \rho_j} \quad (3-15)$$

$$a_{k+1,j} = a_{kj} - a_{k+1,k+1} \cdot a_{k,k+1-j}$$

Trong đó: chỉ số thứ nhất chỉ bậc  $p$  của mô hình, chỉ số thứ hai chỉ thứ tự của thông số:  $(k+1) = p; j = 1, 2, \dots, k+1$ .

Dùng công thức truy trướng *Durbin's* có thể tính được tất cả các hệ số  $a_1, a_2, \dots, a_p$  của mô hình  $AR(p)$ .

*Tính ổn định của mô hình tự hồi quy bậc  $p$*

Người ta đã chứng minh rằng: mô hình tự hồi quy bậc  $p : AR(p)$  chỉ ổn định khi các hệ số ai của mô hình phải đảm bảo cho nghiệm x của đa thức đặc trưng nhỏ hơn 1. Đa thức đặc trưng của mô hình tự hồi quy bậc  $p$  là:

$$X^p - a_1 X^{p-1} - a_2 X^{p-2} - \dots - a_p X = 0 \quad (3-16)$$

*Phương sai và cách tính thành phần ngẫu nhiên  $\varepsilon_t$  trong mô hình tự hồi quy bậc  $p$*

Nhân hai vế của phương trình (3-6) với  $Z_t$  ta có:

$$Z_t \cdot Z_t = a_1 Z_t \cdot Z_{t-1} + a_2 Z_t \cdot Z_{t-2} + \dots + a_p Z_t \cdot Z_{t-p} + Z_t \cdot \varepsilon_t \quad (3-17)$$

Lấy tổng từ 1 đến  $n$  của phương trình (3-17), ta có:

$$\sum_{i=1}^n Z_t \cdot Z_t = a_1 \sum_{i=1}^{n-1} Z_t \cdot Z_{t-1} + a_2 \sum_{i=1}^{n-2} Z_t \cdot Z_{t-2} + \dots + a_p \sum_{i=1}^{n-p} Z_t \cdot Z_{t-p} + \sum_{i=1}^n Z_t \cdot \varepsilon_t$$

Theo định nghĩa phương sai (varian):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2$$

Và định nghĩa Covarian bậc  $k$ :

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} (Q_i - \bar{Q}) \cdot (Q_{i+k} - \bar{Q})$$

Vì chuỗi số  $Z$  có giá trị trung bình bằng 0, nên suy ra:

$$\sigma_z^2 = a_1.C_{-1} + a_2.C_{-2} + \dots + a_p.C_{-p} + \sum_{i=1}^n Z_t \cdot \varepsilon_t$$

Vì  $C_{-n} = C_n$ , nên:

$$\sigma_z^2 = a_1.C_1 + a_2.C_2 + \dots + a_p.C_p + \sum_{i=1}^n Z_t \cdot \varepsilon_t$$

Tính riêng thành phần  $\sum_{i=1}^n Z_t \cdot \varepsilon_t$ , ta có:

$$\sum_{i=1}^n Z_t \cdot \varepsilon_t = a_1 \sum_{i=1}^{n-1} \varepsilon_t \cdot Z_{t-1} + a_2 \sum_{i=1}^{n-2} \varepsilon_t \cdot Z_{t-2} + \dots + a_p \sum_{i=1}^{n-p} \varepsilon_t \cdot Z_{t-p} + \sum_{i=1}^n \varepsilon_t \cdot \varepsilon_t \quad (3-18)$$

Vì chuỗi số  $Z$  đã có giá trị trung bình bằng 0, nên thành phần ngẫu nhiên cũng có giá trị trung bình bằng 0:  $\bar{\varepsilon} = 0$  thì:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_t \cdot Z_{t-1} = \sum_{i=1}^n (\varepsilon_t \cdot \bar{\varepsilon}) \cdot (Z_{t-1} - \bar{Z}) = C_{\varepsilon \sim Z}$$

Vì thành phần ngẫu nhiên  $\varepsilon_t$  không có quan hệ tương quan với dãy số  $Z$  nên hệ số tương quan  $r$  giữa chúng bằng 0.

$$r = \frac{C_k}{C_0} = 0,$$

Vậy:  $C_{\varepsilon \sim Z} = 0,$

còn:  $\sum_{i=1}^n \varepsilon_t \cdot \varepsilon_t = \sigma_\varepsilon^2$

Thay cả vào phương trình (3-7), ta có:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_t \cdot Z_t = \sigma_\varepsilon^2.$$

Thay kết quả này vào phương trình (3-6), ta có:

$$\sigma_z^2 = a_1.C_{-1} + a_2.C_{-2} + \dots + a_p.C_{-p} + \sigma_\varepsilon^2$$

Chia hai vế cho  $\sigma_z^2$  và chú ý rằng  $\sigma_z^2 = C_0$  và  $r = \frac{C_k}{C_0}$ , nên:

$$1 = a_1.r_{-1} + a_2.r_{-2} + \dots + a_p.r_{-p} + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{\sigma_z^2}$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_z^2 (1 - a_1.r_{-1} - a_2.r_{-2} - \dots - a_p.r_{-p}) \quad (3-19)$$

Các số hạng của phương trình (3-19) đều đã biết, do đó tính được phương sai của thành phần ngẫu nhiên  $\sigma_\varepsilon^2$ .

Tóm lại, để các thông số thống kê (số trung bình, số phương sai) của chuỗi số  $Z$  không thay đổi khi kéo dài chuỗi số bằng mô hình  $AR(p)$ , thành phần ngẫu nhiên  $\varepsilon_t$  phải thỏa mãn tính chất:

- Có số trung bình bằng 0

- Có số phương sai của dãy số ngẫu nhiên  $\varepsilon_t$  phụ thuộc vào phương sai của dãy số  $Z$  theo công thức (3-19).

Muốn thế, dãy số ngẫu nhiên  $\varepsilon_t$  không thể chọn tùy ý mà phải chọn theo *dãy số ngẫu nhiên đơn vị*  $\xi_t$  theo quan hệ sau:

$$\varepsilon_t = \sigma_\varepsilon \cdot \xi_t$$

Với:  $\sigma_\varepsilon = \sigma_z \sqrt{1 - a_1 r_1 - a_2 r_2 - \dots - a_p r_p}$

$\xi_t$  - dãy số ngẫu nhiên đơn vị có phân bố chuẩn, có số trung bình bằng 0, và phương sai bằng 1:  $\bar{\xi} = 0$ ;  $\sigma_\xi = 1$ .

### 3.2.3. Mô hình trung bình trượt bậc $q$ $MA(q)$

Mô hình trung bình trượt bậc  $q$   $MA(q)$  có dạng tổng quát là :

$$Z_t = \varepsilon_t - b_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - b_q \varepsilon_{t-q} \quad (3-20)$$

Tính các hệ số  $b_i$  của mô hình trung bình trượt bậc  $q$ :  $MA(q)$

Dãy số  $Z_i$  có số trung bình bằng không  $\bar{Z} = 0 \rightarrow$  ta có:

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} (Z_i) \cdot (Z_{i+k})$$

Lại thay  $Z_t$  bằng (3-20), ta có:

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} (\varepsilon_i - b_1 \varepsilon_{i-1} - \dots - b_q \varepsilon_{i-q}) \cdot (\varepsilon_{i+k} - b_1 \varepsilon_{i+k-1} - \dots - b_q \varepsilon_{i+k-q}) \quad (3-21)$$

Với  $k = 0, 1, 2, \dots, q, q+1, \dots, n$ .

Ta có:

$$C_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (\varepsilon_t - b_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - b_q \varepsilon_{t-q}) \cdot (\varepsilon_t - b_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - b_q \varepsilon_{t-q}) \quad (a)$$

Vì dãy số ngẫu nhiên có số trung bình bằng không  $\bar{\varepsilon} = 0$ ; nên:

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} \varepsilon_t \varepsilon_t = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (\varepsilon_t - \bar{\varepsilon}) \cdot (\varepsilon_t - \bar{\varepsilon}) = \sigma_{\varepsilon}^2 = C_0 \quad (b)$$

Vì dãy số ngẫu nhiên không có quan hệ tương quan nên

$$\frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} \varepsilon_t \varepsilon_{t+k} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (\varepsilon_t - \bar{\varepsilon}) \cdot (\varepsilon_{t+k} - \bar{\varepsilon}) = 0. \quad (c)$$

Thay (b), (c) vào (a), ta có:

$$C_0 = (1 + b_1^2 + b_2^2 + \dots + b_q^2) \cdot \sigma_{\varepsilon}^2 \quad (3-22)$$

*Covarian bậc k (k ≠ 0)*

Xét hai chuỗi số  $Z_t$  và  $Z_{t+k}$  tính theo mô hình trung bình trượt MA(q)

$$\text{Chuỗi thứ nhất } Z_t: \quad Z_t = \varepsilon_t - b_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - b_q \varepsilon_{t-q} \text{ với } t = 1, 2, \dots, n \quad (3-23)$$

$$\text{Chuỗi thứ hai } Z_{t+k}: \quad Z_{t+k} = \varepsilon_{t+k} - b_1 \varepsilon_{t+k-1} - \dots - b_q \varepsilon_{t+k-q} \text{ với } t = 1, n; k \neq 0$$

Vậy các thành phần có trong cả hai chuỗi là:  $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t+k-q}$

Những thành phần chỉ có ở một trong hai chuỗi thì Covarian của chúng bằng 0 theo tính chất của dãy số ngẫu nhiên do đó chỉ chú ý tới các thành phần có trong cả hai chuỗi là:  $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-1}, \dots, \varepsilon_{t+k-q}$ . Dùng lại hai công thức (b) và (c) đã tìm ra trong mục trên ta có:

$$C_k = (-b_k + b_1 b_{k+1} + \dots + b_q b_{q-k}) \sigma_{\varepsilon}^2 \quad (3-24)$$

Nếu  $k > q$  thì  $t + k - q > t$ , hai chuỗi không có phần nào chung, do đó  $C_k = 0$ .

$$\text{Tóm lại:} \quad r_k = \frac{C_k}{C_0} = \frac{-b_k + b_1 b_{k+1} + \dots + b_q b_{q-k}}{1 + b_1^2 + \dots + b_q^2} \quad \text{khi } k < q$$

$$r_0 = 0 \quad \text{khi } k > q$$

Cho  $k = 1, 2, 3, \dots, q$  ta cũng lập được một hệ phương trình dạng (3-24) tương tự như hệ phương trình Yue-Waller (3-13) của mô hình AR(p), chỉ khác là hệ phương trình Yue-Waller là hệ tuyến tính còn hệ phương trình dạng (3-24) là hệ phi tuyến nên tìm lời giải tổng quát khó khăn hơn.

Ngoài ra để đảm bảo cho phương sai của chuỗi số tạo ra không thay đổi cần chọn thành phần ngẫu nhiên theo dãy số ngẫu nhiên đơn vị  $\varepsilon_t = \sigma_{\varepsilon} \cdot \xi_t$

Từ phương trình (3-24):





(3-28) là hệ phương trình bậc nhất hệ số hằng số, gồm có  $p$  phương trình với  $p$  ẩn số:  $a_1, a_2, \dots, a_p$  nên bài toán luôn có nghiệm duy nhất. So với hệ phương trình Yule-Walker trong mô hình AR( $p$ ) có bậc  $k$  từ 1 đến  $p$ , hệ phương trình (3-28) có bậc  $k$  từ  $q+1$  đến  $p+q$  nên các hệ số  $a_1, a_2, \dots, a_p$  của mô hình ARMA( $p, q$ ) cũng khác các hệ số  $a_1, a_2, \dots, a_p$  của mô hình AR( $p$ ), mặc dù về hình thức hai hệ phương trình đều có dạng giống nhau, nhưng để tính các hệ số  $a_1, a_2, \dots, a_p$  của mô hình AR( $p$ ) cần sử dụng  $p$  hệ số tự tương quan của chuỗi  $Z_t$  là  $r_1, r_2, \dots, r_p$ ; còn để tính các hệ số  $a_1, a_2, \dots, a_p$  của mô hình ARMA( $p, q$ ) cần sử dụng  $p$  hệ số tự tương quan của chuỗi  $Z_t$  từ  $q+1$  đến  $p+q$  là  $r_{q+1}, r_{q+2}, \dots, r_{q+p}$ .

*Tính hệ số  $b_i$*

Thực hiện các biến đổi tương tự như với mô hình MA( $q$ ), ta có công thức tương tự như (3-20):

$$\begin{aligned} C_0 &= (1 + b_1^2 + b_2^2 + \dots + b_q^2) \cdot \sigma_\varepsilon^2 \\ C_k &= (-b_k + b_1 b_{k+1} + \dots + b_q b_{q-k}) \sigma_\varepsilon^2 \end{aligned} \quad (*)$$

Điểm khác giữa mô hình trung bình trượt MA( $q$ ) và mô hình ARMA( $p, q$ ) là: mô hình ARMA( $p, q$ ) có dạng:

$$Z_t = a_1 Z_{t-1} + a_2 Z_{t-2} + \dots + a_p Z_{t-p} + \varepsilon_t - b_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - b_q \varepsilon_{t-q}$$

Còn mô hình MA( $q$ ) có dạng:

$$Z_t = \varepsilon_t - b_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - b_q \varepsilon_{t-q}$$

Do đó công thức (\*) dùng trong mô hình MA( $q$ ) thì  $C_k$  là Covarian bậc  $k$  của dãy số  $Z$ , tạm ký hiệu là  $C_{kZ}$ , còn trong mô hình ARMA( $p, q$ ) thì  $C_k$  chỉ là Covarian bậc  $k$  của dãy số ngẫu nhiên  $\varepsilon$ , ký hiệu là  $C_{k\varepsilon}$  vì dãy số  $Z$  là tổng của phần tự hồi quy chứa hệ số  $a_i$  và phần ngẫu nhiên chứa hệ số  $b_j$ . Liên hệ giữa  $C_{kZ}$  và  $C_{k\varepsilon}$  là:

$$C_{k\varepsilon} = \sum_{i=0}^p a_i^2 C_{kZ} + \sum_{i=1}^p \sum_{h=0}^{p-1} a_h a_i d_k \quad (3-29)$$

Với:  $d_k = C_{k+1} + C_{k-1}$  và  $a_0 = -1$

$$C_{k\varepsilon} = (-b_k + b_1 b_{k+1} + \dots + b_q b_{q-k}) \cdot \sigma_\varepsilon^2 \quad (3-30)$$

$$C_{0\varepsilon} = (1 + b_1^2 + b_2^2 + \dots + b_q^2) \cdot \sigma_\varepsilon^2$$

Như vậy, về nguyên tắc các hệ số  $b_i$  có thể tính được bằng cách:

- Tính Covarian bậc  $k$  của chuỗi số  $Z$ :  $C_{kZ}$ .
- Dùng (3-29) để lập hệ phương trình dạng (3-30)
- Giải hệ phương trình dạng (3-30) để tính các hệ số  $b_i$ .

Khi chọn bậc  $q > 1$  sẽ tạo ra hệ phương trình bậc cao mà việc tìm nghiệm giải tích không phải đơn giản.

Trong thực tế tính toán các hệ số này được dò tìm theo thuật toán tối ưu và đã có rất nhiều phần mềm phân tích thống kê có tích hợp ARMA (p, q) vào nhưng theo hướng dò tìm tối ưu như phần mềm SPSS.

### 3.3. MẠNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO (ANN)

#### 3.3.1. Giới thiệu chung

Mạng trí tuệ nhân tạo (Artificial Neural Networks - ANN) được xây dựng từ những năm 1940 và nó được phát triển theo 3 hướng chính đó là theo hướng phát triển sử dụng hàm Fuzzy Logic, theo hướng phát triển của thuật toán giải đoán gen (Genetic Algorithm), và theo hướng phát triển của thuật toán lan truyền ngược (Back Propagation Algorithm).

Từ khi ứng dụng thuật toán lan truyền ngược năm 1988, ANN đã trở nên quen thuộc trong nhiều lĩnh vực như kỹ thuật xử lý ảnh, kỹ thuật và khoa học chăn nuôi..vv. Và từ đầu năm 1990 đến nay, ANN đã được ứng dụng thành công vào ngành tài nguyên nước, đặc biệt trong dự báo và vận hành tối ưu hồ chứa,..(Ranjithan et al., 1993[29]; Y Shen and Y. Nakatsuji, 1999 [30], etc.).

#### 3.3.2. So sánh mô hình ANN với ARMA

Được xem như một công cụ dự báo, ANN được xếp cùng loại với mô hình ARMA (autoregressive-moving average) (Abraham, R.J. and See, L. (2000 [28])). Mô hình ARMA là mô hình thống kê truyền thống, được sử dụng rộng rãi trong kỹ thuật tài nguyên nước.

##### *a. Những ưu điểm của mô hình ANN*

- Để áp dụng mô hình ARMA, các chuỗi dữ liệu phải tuân theo phân bố chuẩn, có tổng bằng 0. Nếu không đáp ứng được yêu cầu này, thì người ta phải sử dụng một vài kỹ thuật hay phép biến đổi để thỏa mãn điều kiện trên. Còn mô hình ANN thì không đòi hỏi yêu cầu này.

- Mô hình ANN cho kết quả tốt hơn ARMA trong trường hợp chuỗi dữ liệu ngắn và trong các trường hợp phức tạp, khi mối quan hệ giữa các biến trong mô hình không được rõ ràng và tường minh.

- ANN có thể được đào tạo (training) để tạo ra dự báo trước nhiều bước thời gian một cách trực tiếp, mà không phải dựa vào quá trình đệ quy như ARMA.

- ANN rất phù hợp với việc xử lý các dữ liệu thực chứa nhiễu, hay bị bóp méo hoặc không đầy đủ hay nói cách khác, mô hình ANN có thể xem xét tất cả các yếu tố có ảnh hưởng đến biến cần dự báo, điều mà ARMA không làm được.

### b. Những nhược điểm của mô hình ANN

Maier and Dandy (1996) đã liệt kê ra một số nhược điểm của mô hình ANN:

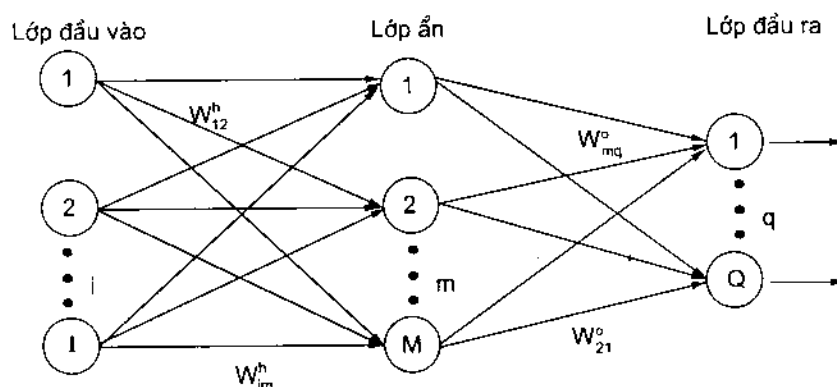
- Các thông số tối ưu của mô hình như tốc độ học (learning rate), mô men (momentum), và cấu trúc mạng đều rất khó tìm. Với mô hình ARMA thì ngược lại, các phương trình toán học thể hiện mối quan hệ giữa các biến đều rõ ràng và tùy theo bậc của mô hình mà chúng ta có thể giải và tìm ra các hệ số của phương trình dự báo.

- ANN không thể xử lý được những thay đổi lớn trong hệ thống bởi vì nó đã được đào tạo với những dữ liệu lịch sử. Chính vì vậy trong dự báo, ANN không thể dự báo được những trị số cao hơn những trị số được dùng để xây dựng mô hình; hay nói cách khác nếu trong chuỗi dữ liệu mà chúng ta chọn để xây dựng mô hình mà không có các trận lũ đặc biệt lớn hay lũ lịch sử thì mô hình sẽ không đủ độ tin cậy trong dự báo khi lũ lớn xảy ra.

### 3.3.3. Cấu trúc mạng ANN

#### a. Cấu trúc mạng ANN

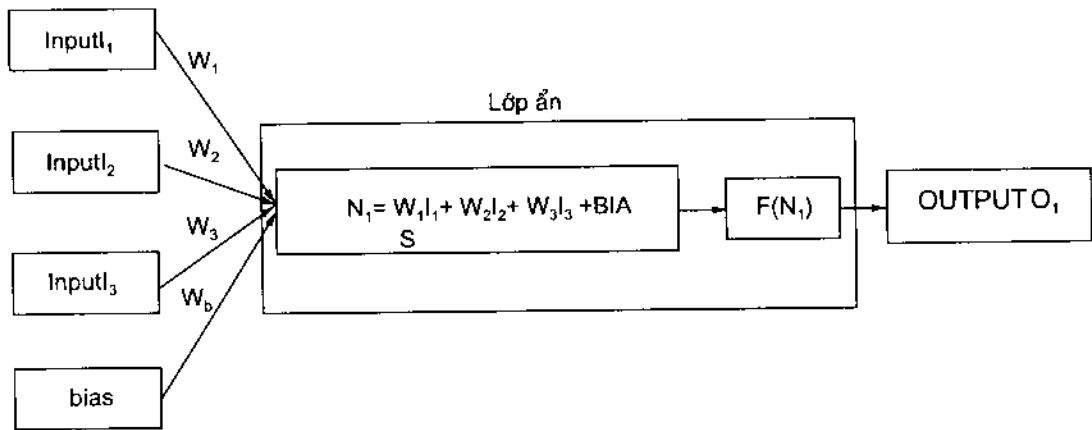
Mạng nơron thần kinh – ANN dựa vào đặc điểm của các hệ thống não bộ động vật, và thường là các hệ thống song song bao gồm nhiều phần tử (processing element – PE) được liên kết với nhau bằng các trọng số của các biến. Những PE này được xếp trong các lớp (xem hình 3.1): một lớp đầu vào, một lớp đầu ra, và từ một đến nhiều lớp nằm ở giữa gọi là các lớp ẩn (hidden layers). Các PE trong các lớp khác nhau này hoặc là được liên kết tuyệt đối hoặc là được liên kết bán tuyệt đối. Những liên kết giữa các PE này đều có trọng số. Sức mạnh của mỗi liên kết có thể được điều chỉnh. Trọng số bằng không cho thấy không có liên kết nào, và trọng số có giá trị âm cho thấy giữa 2 PE này có quan hệ rất lỏng lẻo.



Hình 3.1: Mạng nơron thần kinh 3 lớp

*b. Quá trình quét xuôi (General Feed Forward Process)*

Khối cơ bản của một mạng nơ-ron thần kinh trong hình 3.2 gọi là một nơ-ron thần kinh. Trong nơ-ron này, các giá trị đầu vào lần lượt được nhân với các trọng số, sau đó được cộng với nhau. Tổng được tạo ra này gọi là NET N và nó được tính toán cho tất cả các nơ-ron thần kinh của mạng. Sau khi NET N được tính toán, nó được chuyển thành tín hiệu đầu ra  $O_1$  bằng việc áp dụng một hàm kích hoạt  $f$ .



**Hình 3.2:** Một nơ-ron thần kinh với hàm kích hoạt  $f$

Công thức chung chuyển đổi giữa 2 lớp trong một mạng thần kinh là:

$$N_M = \sum_{i=1}^I W_{i,m} I_i + \theta_m \text{ khi } \theta_m \text{ là bias} \quad (3-31)$$

$$O_m = f(N_m)$$

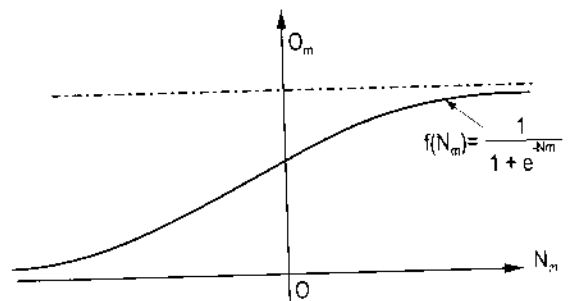
Trong đó,  $I$  là đầu vào từ lớp  $M$  và  $O$  là đầu ra từ lớp  $M$  ( $i$  và  $m$  là phần tử thứ  $I$  và  $m$  của lớp  $I$  và lớp  $M$ ).

*Hàm kích hoạt*

Trong phần quét xuôi, Rumelhart et al. (1986) đã đưa ra các hàm phi tuyến kích hoạt gọi là hàm bán tuyến. Hầu hết các mạng nơ-ron thần kinh đều sử dụng hàm kích hoạt Logistic (hình 3.3)

$$O_m = f(N_m) = \frac{1}{1 + e^{-N_{j,m}}} \quad (3-32)$$

Giá trị đầu ra của hàm kích hoạt Logistic nằm trong khoảng  $[0, 1]$ . Vì vậy



**Hình 3.3:** Hàm kích hoạt Logistic

các phần mềm ANN thường đòi hỏi dữ liệu gốc phải được chuyển đổi một cách tuyến tính về khoảng  $[0.05, 0.95]$  trước khi tham gia vào mạng thần kinh. Khoảng  $[0.05, 0.95]$  được lựa chọn thay vì khoảng  $[0, 1]$  vì hàm kích hoạt Logistic là một hàm tiệm cận, do đó nó không bao giờ đạt được giá trị 0 hay 1.

#### *Chuẩn hoá (Normalization)*

Vì trong hầu hết các trường hợp đầu vào thường bao gồm rất nhiều loại biến với các giải khác nhau, do đó mỗi một giá trị đầu vào và đầu ra cần phải được chuẩn hoá với các đặc trưng chuẩn hoá cụ thể của chúng.

#### *Tiền xử lý (Pre-processing)*

Giả sử  $a$  và  $A$  là các giá trị cực tiểu và cực đại của một chuỗi dữ liệu, thì giá trị thực  $X_t$  sẽ được chuyển đổi để nằm trong khoảng  $[0.05, 0.95]$  theo công thức sau:

$$X_t' = \frac{0.9(X_t - a)}{A - a} + 0.05 \quad (3-33)$$

Trong đó:  $X_t$  - giá trị thực;

$a$  - giá trị cực tiểu của  $X_t$ ;

$A$  - giá trị cực đại của  $X_t$ ;

$X_t'$  - giá trị được chuyển đổi.

#### *Hậu xử lý (Post-processing)*

Khi đã tìm được một mạng nơron thần kinh tốt nhất, thì tất cả các dữ liệu đã được chuyển đổi trước đây sẽ được trả lại những giá trị ban đầu của chúng bằng phương trình:

$$X_t = \frac{(A - a)(X_t' - 0.05)}{0.9} + a \quad (3-34)$$

#### *c. Phương pháp lan truyền ngược (Back Propagation Method)*

Phương pháp lan truyền ngược sử dụng một tập hợp các giá trị đầu vào và đầu ra. Một tập hợp đầu vào được sử dụng bởi hệ thống để tính ra giá trị đầu ra  $O$ , sau đó giá trị đầu ra  $O$  này được so sánh với giá trị đầu ra mục tiêu  $Y$  (trị số thực đo). Nếu không có sự khác biệt nào, thì không cần thực hiện một quá trình đào tạo nào. Ngược lại, các trọng số liên kết các nơron thần kinh sẽ được thay đổi trong quá trình lan truyền ngược để giảm sự khác biệt giữa trị số tính toán từ mô hình và trị số thực đo.

Sau khi vượt qua lớp cuối cùng, giá trị đầu ra thực của mạng được so sánh với giá trị mong muốn (giá trị đo đạc). Mục tiêu là phải tối thiểu hoá sai số tổng của mạng cho tất cả các tập hợp theo thời gian của các giá trị đầu vào (input pattern). Sai số của pattern  $p$  của một mạng chỉ có một biến đầu ra được tính như sau:

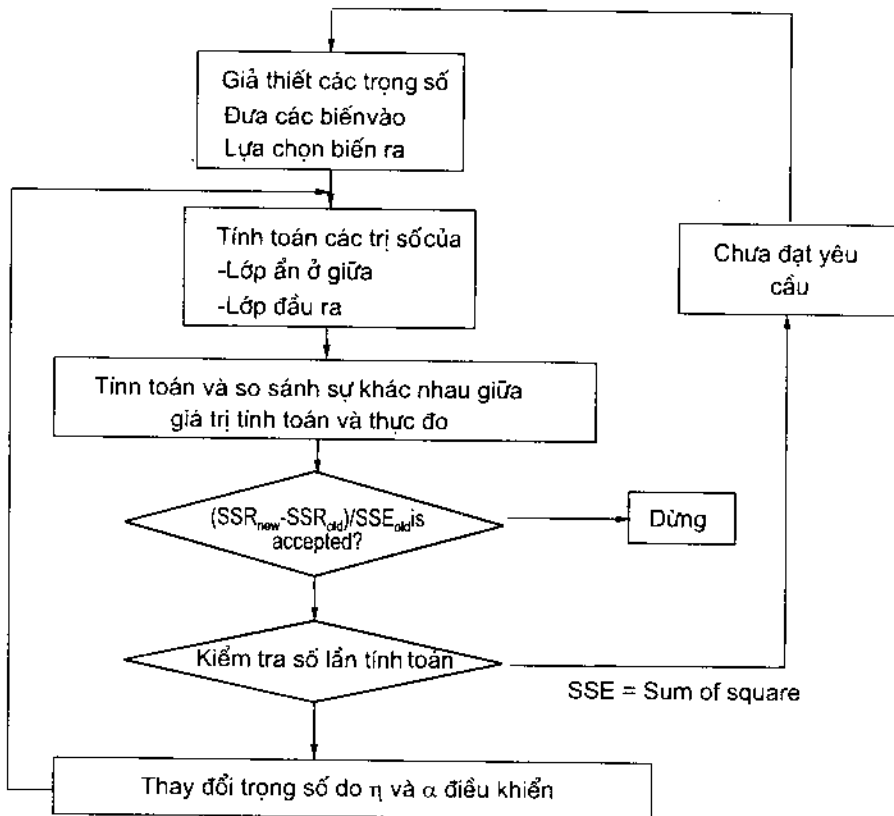
$$E_p = \frac{1}{2} \sum (Y_t - O_t)^2 \quad (3-35)$$

Trong đó: sai số tổng của mạng phải được tính cho tất cả các partern.

Phương pháp lan truyền ngược cố gắng tối thiểu hoá sai số này bằng cách điều chỉnh các trọng số trong mỗi quá trình tính toán.

$\eta$  là hằng số đại diện cho tốc độ học (learning rate), nó điều khiển tốc độ mà quá trình lan truyền ngược điều khiển các trọng số trong mỗi lần tính toán. Nếu thay đổi trọng số càng nhanh, thì càng chóng đạt được trọng số mong muốn. Nhưng nếu  $\eta$  quá lớn, nó có thể gây ra sự dao động của đầu ra. Để giải quyết vấn đề này, một hệ số khác gọi là hệ số mômen  $\alpha$  được đưa vào; hệ số này có tác dụng làm tăng tốc độ học mà không gây ra sự dao động. Về cơ bản mà nói thì  $\alpha$  là một hằng số xác định sự ảnh hưởng của các trọng số của bước thời gian trước đến sự thay đổi của trọng số ở bước thời gian này.

Sơ đồ khối của thuật toán lan truyền ngược và quá trình tính toán được minh hoạ ở hình 3.4 dưới đây:



Hình 3.4: Sơ đồ khối của thuật toán lan truyền ngược

*d. Lựa chọn sơ đồ mạng nơron thần kinh ban đầu*

Việc lựa chọn một mạng nơron thần kinh ban đầu cho phù hợp là một vấn đề khó, bởi vì không có một quy tắc nào quy định số lượng tối ưu các PE trong một lớp hay số lớp các lớp ẩn (Abrahart et al., 2000). Số lượng các đơn vị đầu vào và đầu ra là không đổi theo số lượng của các biến đầu vào và đầu ra. Tuy vậy việc lựa chọn số lượng các nút trong lớp ẩn là một vấn đề rất khó.

Một vài nhà nghiên cứu thì gợi ý rằng ‘càng nhiều càng tốt’ nhưng:

- Số lượng các nút trong lớp ẩn và số lớp ẩn sẽ điều khiển sức mạnh của mô hình. Tuy nhiên nếu nhiều quá mô hình sẽ rất phức tạp và thời gian chạy mô hình sẽ rất lâu mà chưa chắc đã có kết quả.

- Sử dụng số lượng lớn các lớp ẩn và số nút trong từng lớp nhiều cũng có thể tạo ra sản phẩm không tốt vì mô hình sẽ được đào tạo quá mức, do đó sẽ có nhiều trường hợp tạo ra các giá trị dự báo sai lệch lớn.

Một số nhà nghiên cứu khuyến nghị sử dụng một lớp ẩn bởi vì nếu sử dụng nhiều hơn sẽ làm tăng số lượng các thông số, và vì vậy sẽ làm cho chậm quá trình hiệu chỉnh mà vẫn không cải thiện được mạng.

Một số điểm cần chú ý khi sử dụng mô hình ANN:

- Lựa chọn số lớp ẩn và số lượng các nút (PE): việc xác định số lượng các lớp ẩn và số lượng các nút là một nhiệm vụ rất khó trong mô hình ANN, và việc làm này được thực hiện bằng quá trình thử sai. Một hệ thần kinh gồm 1 lớp ẩn thông thường được những người sử dụng ANN chọn với  $m$  nút trong lớp ẩn nằm trong khoảng từ  $i$  đến  $2i + 1$ , trong đó  $i$  là số các nút trong lớp đầu vào.

- Thông số tốc độ học tập  $\eta$  và tốc độ mô men  $\alpha$

- Chức năng của các thông số này là để đẩy nhanh quá trình đào tạo trong khi hạn chế sai số. Không có một quy tắc cụ thể nào cho việc lựa chọn các giá trị của những thông số này. Tuy nhiên thông thường người ta hay chọn  $\eta = 0,2$  và  $\alpha = 0,5$  là cặp thông số khởi đầu cho quá trình đào tạo.

- Giá trị các trọng số ban đầu, các hàm mục tiêu hay sai số: nếu mạng thần kinh dừng lại trước khi đạt đến một kết quả có thể chấp nhận được bởi vì nó tìm được giá trị cực trị địa phương, thì thông thường ta chỉ cần thay đổi số lượng các nút ẩn hoặc thông số tốc độ học tập  $\eta$  là có thể giải quyết được vấn đề này; hoặc chúng ta có thể đơn giản làm lại và thay đổi các giá trị trọng số ban đầu. Tuy nhiên khi mạng thần kinh đạt được một kết quả mong muốn, cũng không thể đảm bảo rằng nó đã tìm được giá trị cực trị toàn cục.

- Chỉ tiêu dừng tính: một giá trị sai số mục đích cần được gán cho tất cả các bước tính (parten). Quá trình mô phỏng chỉ dừng lại khi trong tất cả các bước tính, sai số bằng hoặc

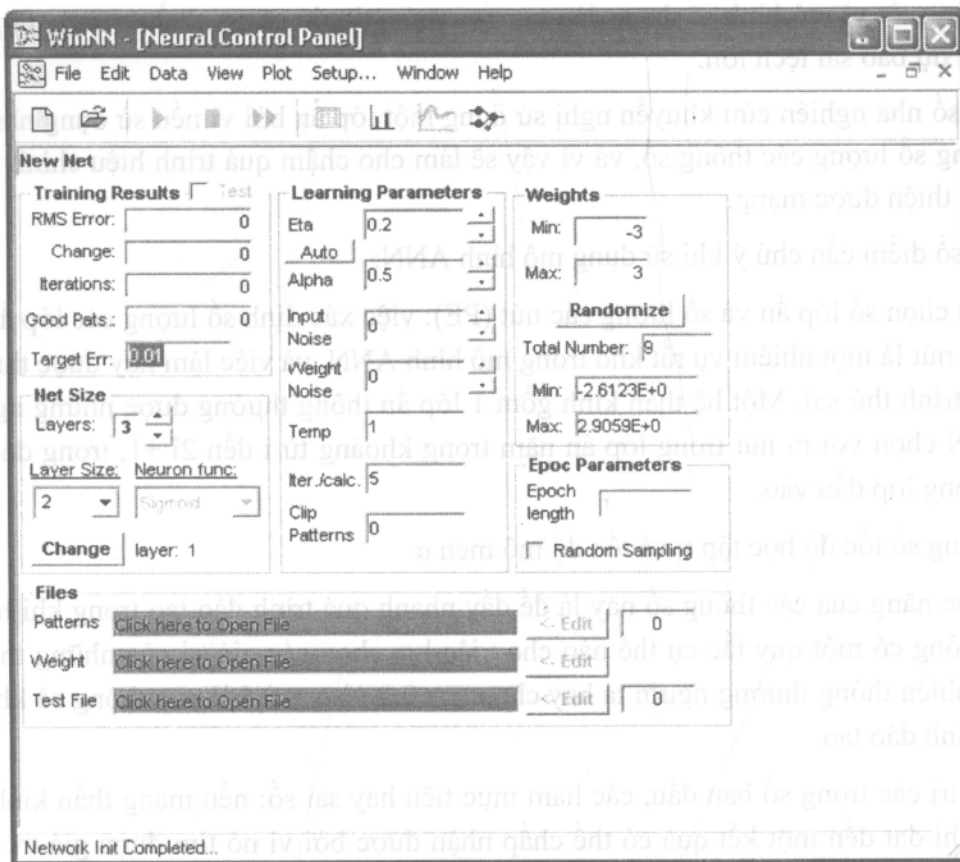
nhỏ hơn giá trị sai số mục đích đã gán trước. Trên thực tế, giá trị sai số mục tiêu là một biến độc lập, tuy nhiên, vì xem xét thời gian tính toán, chúng ta cũng có thể đặt điều kiện dừng là số lần tính tối đa nào đó chẳng hạn như 10.000 lần tính, v.v.

### 3.3.4. Giới thiệu phần mềm WinNN32

Để mô tả cách tính toán của thuật toán lan truyền ngược và khả năng của mạng nơron thần kinh trong dự báo, phần này sẽ giới thiệu một phần mềm có tên WinNN32 và một số ví dụ (Mark Ole., David Luketina, 2003 [25]).

#### a) Giới thiệu chung

WinNN32 là một phần mềm mạng thần kinh sử dụng thuật toán lan truyền ngược. Phần mềm này có giao diện rất dễ sử dụng (xem hình 3.5)



Hình 3.5: Giao diện của WinNN32

#### b) Một vài khái niệm

- Iterations: cho biết mạng sẽ thực hiện tính toán bao nhiêu lần.
- Good Pats: phần trăm các pattern có sai số nhỏ hơn hoặc bằng sai số mục tiêu.



- Target Error: đặt chỉ tiêu dừng đào tạo. Quá trình đào tạo sẽ dừng lại khi tất cả các pattern có sai số nhỏ hơn hoặc bằng sai số mục tiêu.
- Eta ( $\eta$ ): thông số học tập (the learning parameter).
- Alpha ( $\alpha$ ): thông số momen (the momentum).
- Input Noise: sẽ tạo ra một chỉ số nhiễu ngẫu nhiên cho mỗi node đầu vào (a random input noise of {the value} to each input node). Quá trình đào tạo với các giá trị nhiễu thêm vào này sẽ làm cho mạng được đào tạo ít nhạy hơn so với thay đổi của các giá trị đầu vào và vì thế có thể tránh được cực trị địa phương.
- Weight Noise: sẽ tạo ra một giá trị nhiễu ngẫu nhiên vào mỗi trọng số. Mục đích của giá trị nhiễu này giúp mạng nhảy ra khỏi các cực trị địa phương
- Temp: thay đổi nhiệt độ của hàm nơron (changes the temperature of the neuron function).  $O_m = f(N_m, T) = \frac{1}{1 + e^{-N_m T}}$

Thay đổi nhiệt độ đôi khi cũng làm cho quá trình học tập nhanh hơn, trong hầu hết các trường hợp, kết quả tốt nhất thu được với giá trị mặc định bằng 1.

### c) Các chỉ tiêu đánh giá

WinNN32 có một vài chỉ tiêu đánh giá sự hoạt động của mạng đối với từng tập dữ liệu.

- SSE là tổng bình phương sai số (Sum of Square Errors)

$$SSE = \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2 \quad (3-36)$$

Trong đó:  $Q_i$  - giá trị thực đo tại thời điểm  $i$ ;

$F_i$  - giá trị tính toán tại thời điểm  $i$ ;

$N$  - độ dài của chuỗi thực đo.

- RMSE là sai số quân phương (Root Mean Squared Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - F_i)^2} \quad (3-37)$$

### d) Các ví dụ về mô hình ANN

#### 1. Mô phỏng Mưa rào – dòng chảy với WinNN32

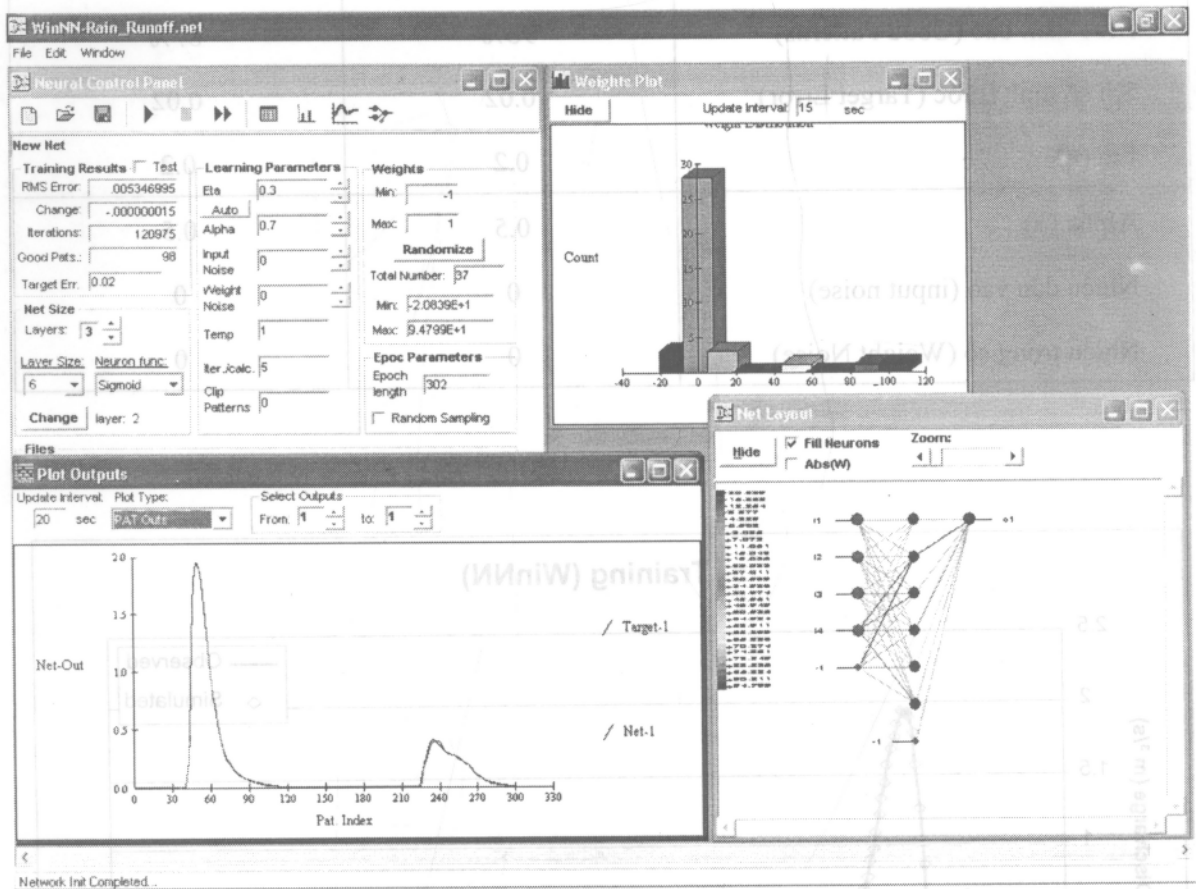


**Bảng 3.1. Các đầu vào và đầu ra của mô hình WinNN32**

| Biến    | Mô tả                                               |
|---------|-----------------------------------------------------|
| Đầu vào | Rainfall (t-2), Rainfall (t-1), Rainfall (t), Q (t) |
| Đầu ra  | Q (t+1)                                             |

Cấu trúc và hoạt động của mạng

Trong WinNN32 có một vài chức năng như trong hình 3.8. Ví dụ người sử dụng có thể kiểm tra phân bố của các trọng số, hình vẽ về cấu trúc mạng, kết quả training, kết quả testing và các chỉ số thông kê để đánh giá như (RMSE).



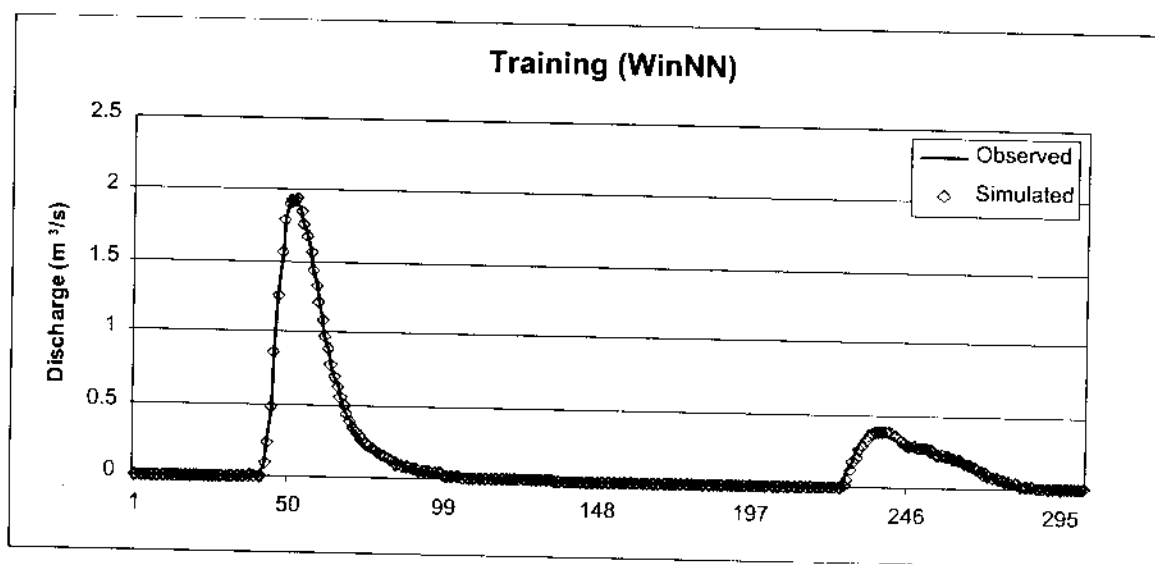
**Hình 3.8: Chạy mô hình WinNN32**

Trong hình 8, cấu trúc mô hình nằm ở cửa sổ có tên là “Net Layout”. Trong mô hình này, có 4 đầu vào và 1 đầu ra, và có một lớp ẩn với 6 nút. Người dùng có thể theo dõi và so sánh đường quá trình giữa tính toán và thực đo, và các giá trị trọng số trong khi hiệu chỉnh (training) mô hình. Hình vẽ giữa tính toán và thực đo cho thấy kết quả mô phỏng tốt.

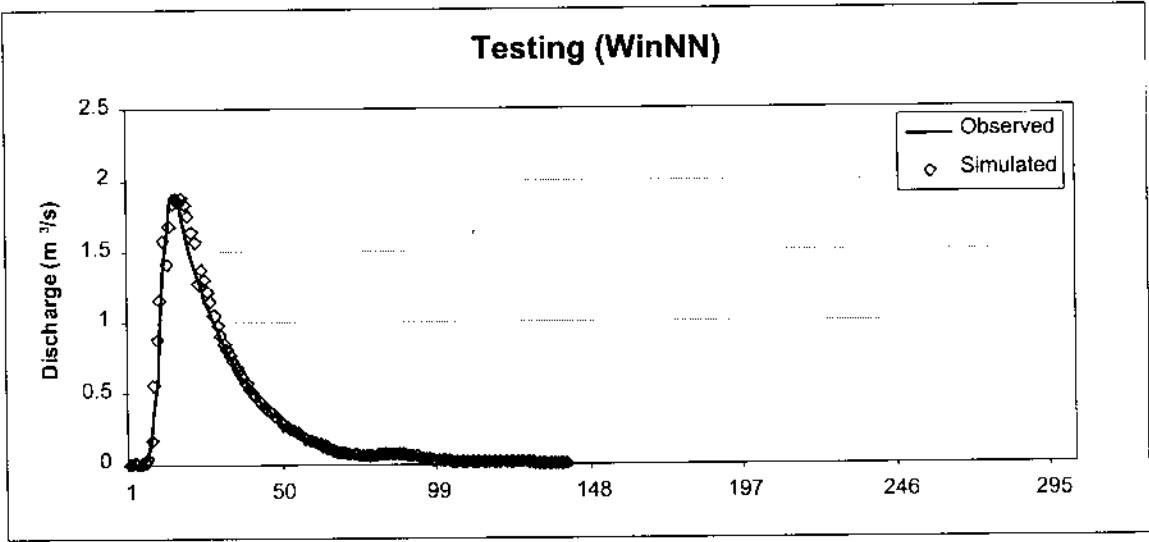
Các dữ liệu đầu vào và đầu ra trước khi đưa vào training đều được chuẩn hoá về giải từ -1 đến 1 bằng việc sử dụng menu Options trong WinNN. Mô hình tự mặc định một số thông số như Eta ( $\eta$ ), Alpha ( $\alpha$ ), input noise, weight noise, and temperature. Hàm sigmoid (thường là hàm logistic) được sử dụng để chuyển đổi.

**Bảng 3.2: Thiết lập mô hình WinNN  
và đánh giá hoạt động của mô hình**

| Nội dung                         | Hiệu chỉnh | Kiểm định |
|----------------------------------|------------|-----------|
| Cấu trúc mạng                    | 4 – 6 – 1  |           |
| Sai số quân phương (RMSE)        | 0.005      | 0.033     |
| Mức đảm bảo (Good Patterns)      | 98%        | 87%       |
| Sai số định trước (Target Error) | 0.02       | 0.02      |
| Eta ( $\eta$ )                   | 0.2        | 0.2       |
| Alpha ( $\alpha$ )               | 0.5        | 0.5       |
| Nhiều đầu vào (input noise)      | 0          | 0         |
| Nhiều trọng số (Weight Noise)    | 0          | 0         |



**Hình 3.9: So sánh quá trình thực đo và tính toán (Training - hiệu chỉnh)**



Hình 3.10: So sánh quá trình thực đo và tính toán (Testing - Kiểm định)

Phân tích độ nhạy

Các dữ liệu đầu vào trong mô hình vừa rồi là lượng mưa hiện tại và lượng mưa của một số bước thời gian trước và lưu lượng hiện tại. Kết quả tốt như vậy là không đáng ngạc nhiên; tuy nhiên mô hình chẳng có ý nghĩa gì cả vì bước thời gian ở đây là 1 phút do đó dự báo sẽ không có ý nghĩa. Mô hình chỉ có ý nghĩa khi chúng ta dự báo dòng chảy chỉ bằng dữ liệu mưa.

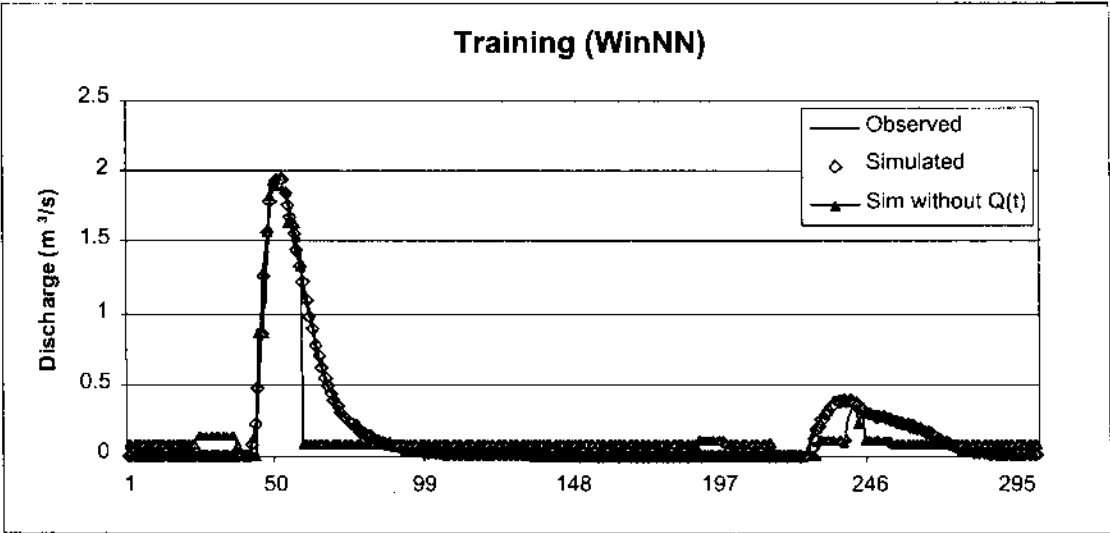
Mô phỏng mô hình mà dữ liệu đầu vào không có lưu lượng thời điểm hiện tại.

Bảng 3.3. Dữ liệu đầu vào và đầu ra của mô hình và phân tích nhạy

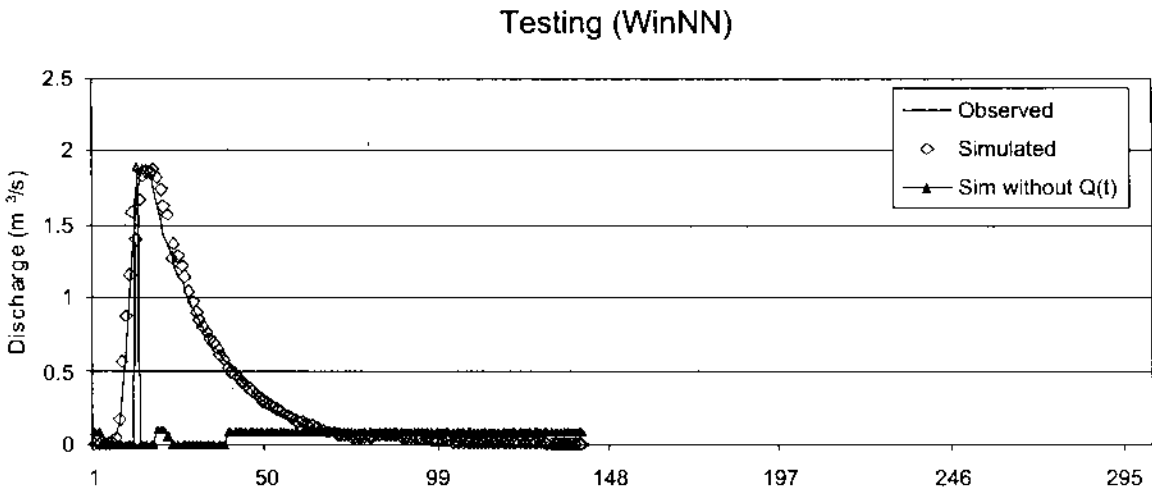
| Biến    | Mô tả                                        |
|---------|----------------------------------------------|
| Đầu vào | Rainfall (t-2), Rainfall (t-1), Rainfall (t) |
| Đầu ra  | Q (t+1)                                      |

Bảng 3.4. Thiết lập mô hình và kết quả tính và phân tích độ nhạy

| Nội dung                         | Hiệu chỉnh | Kiểm định |
|----------------------------------|------------|-----------|
| Cấu trúc mạng                    | 3 – 5 – 1  |           |
| Sai số quân phương (RMSE)        | 0,102      | 0,274     |
| Mức đảm bảo (Good Patterns)      | 57,3%      | 50,0%     |
| Sai số định trước (Target Error) | 0,02       | 0,02      |
| Eta ( $\eta$ )                   | 0,2        | 0,2       |
| Alpha ( $\alpha$ )               | 0,5        | 0,5       |
| Nhiều đầu vào (input noise)      | 0          | 0         |
| Nhiều trọng số (Weight Noise)    | 0          | 0         |



Hình 3.11: So sánh đường quá trình tính toán và thực đo (training - hiệu chỉnh)



Hình 3.12: So sánh đường quá trình tính toán và thực đo (testing - kiểm định)

Cải thiện kết quả mô phỏng

Việc mô phỏng mô hình có thể được cải thiện nếu chúng ta hiểu tương quan bên trong hay ý nghĩa vật lý giữa mưa và dòng chảy để đưa vào mô hình.

Thông thường đỉnh lũ thường xuất hiện hiện sau mưa một thời khoảng nào đó. Và trước khi đưa vào mô hình chúng ta nên xem xét vấn đề này để có thể đưa vào các biến đầu vào cho phù hợp. Vì nếu chúng ta đưa vào quá nhiều biến thì sẽ cho kết quả không tốt mà thời gian chạy mô hình lại rất lâu (Có thể phân tích ma trận tương quan để lựa chọn các biến thích hợp cho mô hình).

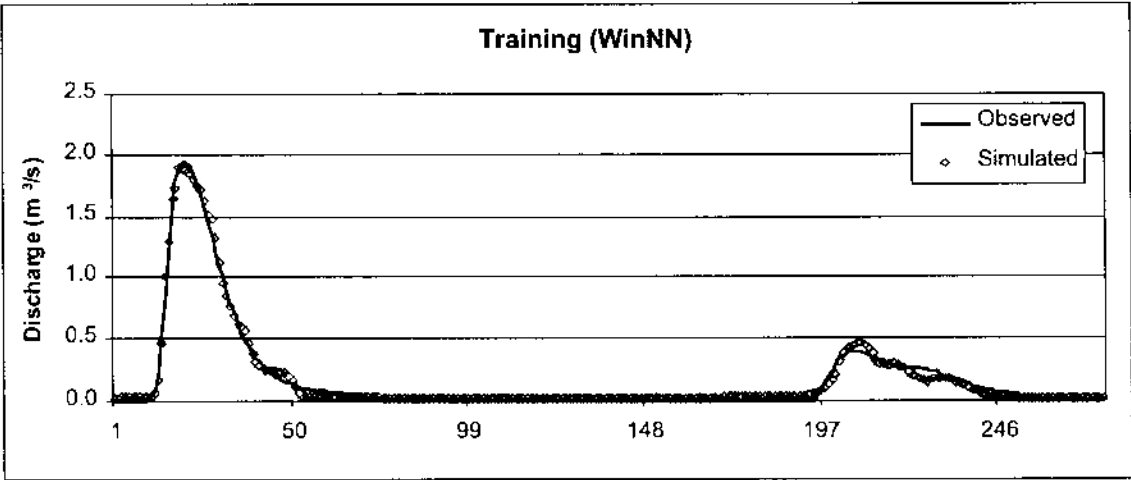
Chúng ta cần luôn luôn ghi nhớ rằng, việc hiểu được các quá trình vật lý và mối quan hệ giữa các biến đầu vào và đầu ra là rất quan trọng, mặc dù mô hình ANN không phải hoàn toàn là mô hình nhận thức.

**Bảng 3.5: Các biến đầu vào và đầu ra của mô hình**

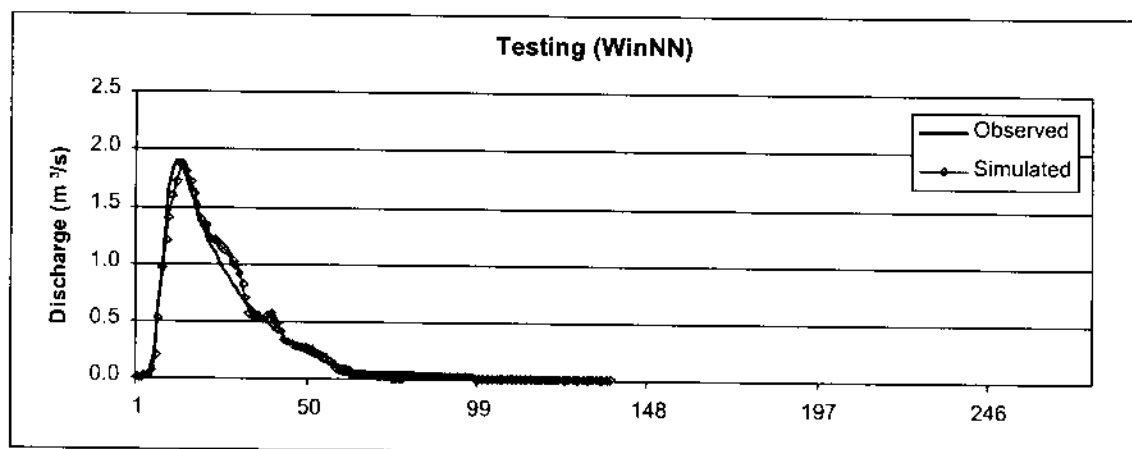
| Biến    | Mô tả                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Đầu vào | Average Rainfall (t-4, t-5), Ave Rainfall (t-6, t-7), Ave Rainfall (t-8, t-9), Ave Rainfall (t-10, ..., t-13), Ave Rainfall (t-14, ..., t-18), Ave Rainfall (t-19, ..., t-24), Ave Rainfall (t-25, ..., t-31) |
| Đầu ra  | Q (t+1)                                                                                                                                                                                                       |

**Bảng 3.6: Kết quả mô hình**

| Nội dung                         | Hiệu chỉnh | Kiểm định |
|----------------------------------|------------|-----------|
| Cấu trúc mạng                    | 7 – 5 – 1  |           |
| Sai số quân phương (RMSE)        | 0,0299     | 0,0349    |
| Mức đảm bảo (Good Patterns)      | 91,0%      | 89,1%     |
| Sai số định trước (Target Error) | 0,05       | 0,05      |
| Eta ( $\eta$ )                   | 0,2        | 0,2       |
| Alpha ( $\alpha$ )               | 0,5        | 0,5       |
| Nhiều đầu vào (input noise)      | 0,2        | 0,2       |
| Nhiều trọng số (Weight Noise)    | 0          | 0         |



**Hình 3.13:** Đường quá trình lưu lượng thực đo và tính toán trong giai đoạn hiệu chỉnh mô hình (training)

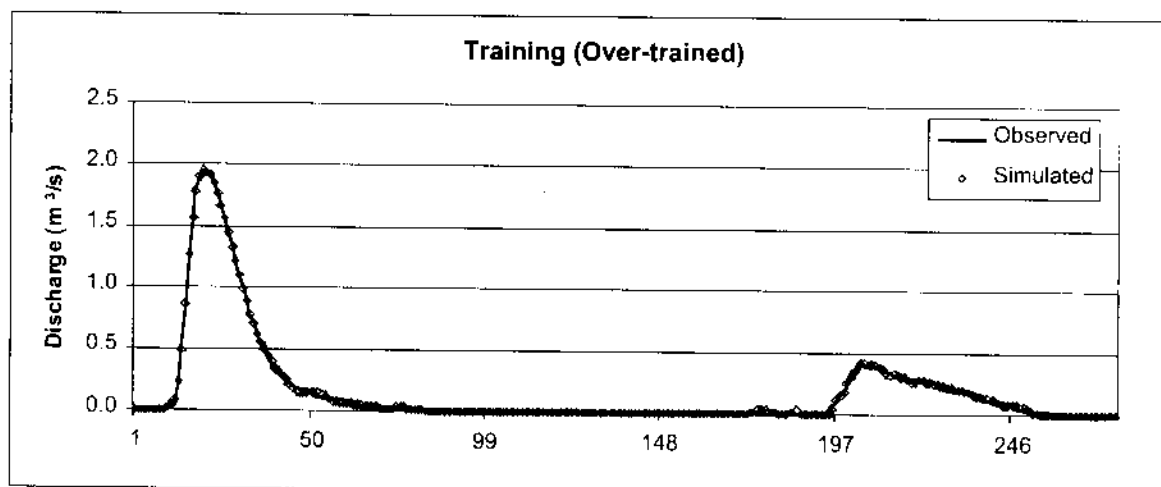


*Hình 3.14: Đường quá trình lưu lượng thực đo và tính toán trong giai đoạn kiểm định mô hình (testing)*

#### *Mạng bị đào tạo quá mức (The Over Trained Network)*

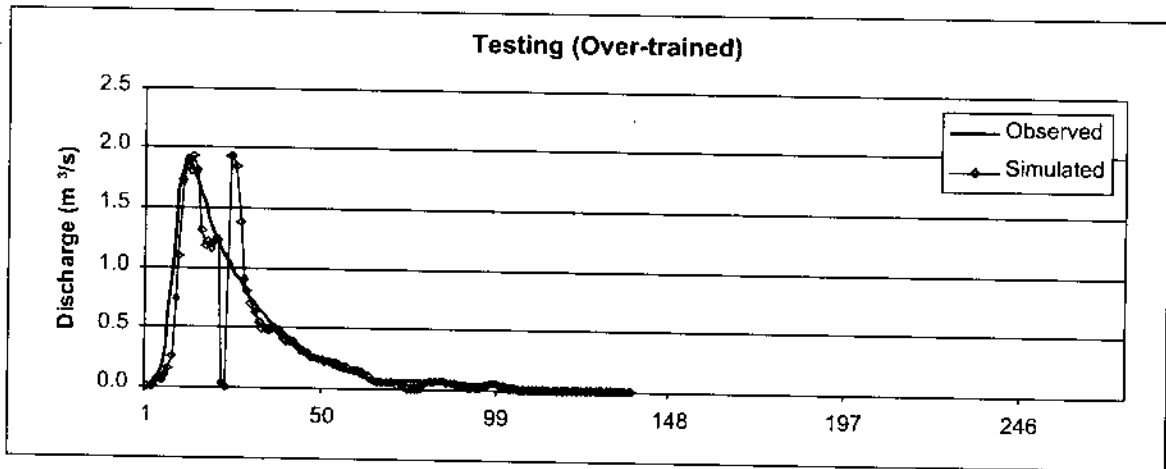
Không phải lúc nào có sai số mục tiêu nhỏ hơn trong quá trình hiệu chỉnh cũng cho mô hình ANN tốt hơn. Vì có nhiều trường hợp như vậy nhưng kết quả lại không tốt vì mạng ANN bị đào tạo quá mức. Mạng bị coi là đào tạo quá mức khi sai số trong hiệu chỉnh cứ tiếp tục giảm nhưng sai số trong kiểm định lại bắt đầu tăng nhanh (xem hình 15 và 16).

Vì vậy, chúng ta nên theo dõi các chỉ tiêu thống kê đồng thời với xem xét các đường quá trình ở cả giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định mô hình để tránh trường hợp đào tạo quá mức.



*Hình 3.15: Đường quá trình lưu lượng thực đo và tính toán trong giai đoạn hiệu chỉnh mô hình (mô hình bị đào tạo quá mức – over trained)*





**Hình 3.16:** Đường quá trình lưu lượng thực đo và tính toán trong giai đoạn kiểm định mô hình (mô hình bị đào tạo quá mức – over trained)

### 3.3.5. Hướng dẫn thực hành

Các bước thực hiện:

#### 1. Chạy WinNN32.exe

Click "Start" → "Programs" → "WinNN32" → "WinNN32.exe"

#### 2. Thay đổi "Layer Size" theo số lượng dữ liệu đầu ra và đầu vào của mô hình bạn

- Click the check box below "Layer Size";
- Lựa chọn input layer (the first layer, default is 2);
- Gõ số biến đầu vào và click "Change";
- Làm lại các bước trên để lựa chọn số lượng nút đầu ra và nút ở lớp ẩn (the last layer, default is 1).

#### 3. Đưa dữ liệu để hiệu chỉnh và kiểm định vào

- "Click here to open file" in Patterns → insert training data (.pat file)
- "Data" in the main menu → "Normalize..." → give the normalized data range → "Normalize" → "Quit"
- "Click here to open file" in Test Files → insert testing data (.tst file)

#### 4. Bắt đầu training:

Click "Train Net" in the toolbar

5. Kiểm tra kết quả training và testing:

*Click "plot" in the toolbar*

6. Lưu network và file trọng số (weight file):

*"File" → "Save Weight as" and "Save Net"*

Xuất kết quả training và testing:

*"Edit" → "Copy pat Outputs" and "Copy tst Outputs"*

7. Dán kết quả (train) result và tst (test) vào các ứng dụng khác (i.e. Excel).

## Chương 4

# MÔ HÌNH THỦY LỰC MẠNG SÔNG

### 4.1. MỞ ĐẦU

Bài toán thủy lực mạng lưới sông là bài toán hay gặp trong tính toán, quy hoạch, thiết kế các công trình thủy lợi bảo vệ môi trường phòng chống thiên tai. Hiện nay có nhiều phần mềm tính toán thủy lực được dùng ở nước ta, nhưng người sử dụng phần mềm có tác dụng quyết định tới độ chính xác của kết quả tính toán. Thông thường cùng một bài toán, cùng một phần mềm nhưng người tính khác nhau sẽ cho kết quả khác nhau. Muốn cho kết quả tính toán gần đúng nhất với thực tế, khi các điều kiện giả thiết đặt ra đã được đáp ứng, người tính toán phải làm đúng các giai đoạn sau:

- Xây dựng bài toán hợp lý bao gồm việc chọn sơ đồ tính toán, tính đúng các điều kiện biên và điều kiện đầu. Người tính toán thủy lực phải hiểu biết rất rõ địa hình khu vực tính toán, độ chính xác của số liệu được cấp và nhiệm vụ của bài toán.
  - Chọn mô hình toán và phương pháp giải hợp lý phù hợp với số liệu có thể có được, chọn phần mềm ứng dụng phù hợp.
  - Thực hành tính toán trên máy tính thành thạo trong việc hiệu chỉnh thông số, phân tích tính hợp lý của kết quả tính toán, tìm nguyên nhân gây ra sai lệch, nếu cần thiết phải đi kiểm tra thực địa để có những hiệu chỉnh, sửa chữa cần thiết.
- Để nắm bắt được mô hình thủy lực mạng lưới sông trước hết ta phải hiểu bản chất vật lý của quá trình chuyển động truyền sóng lũ trong sông, phương trình cơ bản và các giải pháp toán học giải các phương trình đó.

### 4.2. DÒNG CHẢY ỔN ĐỊNH VÀ KHÔNG ỔN ĐỊNH TRONG SÔNG

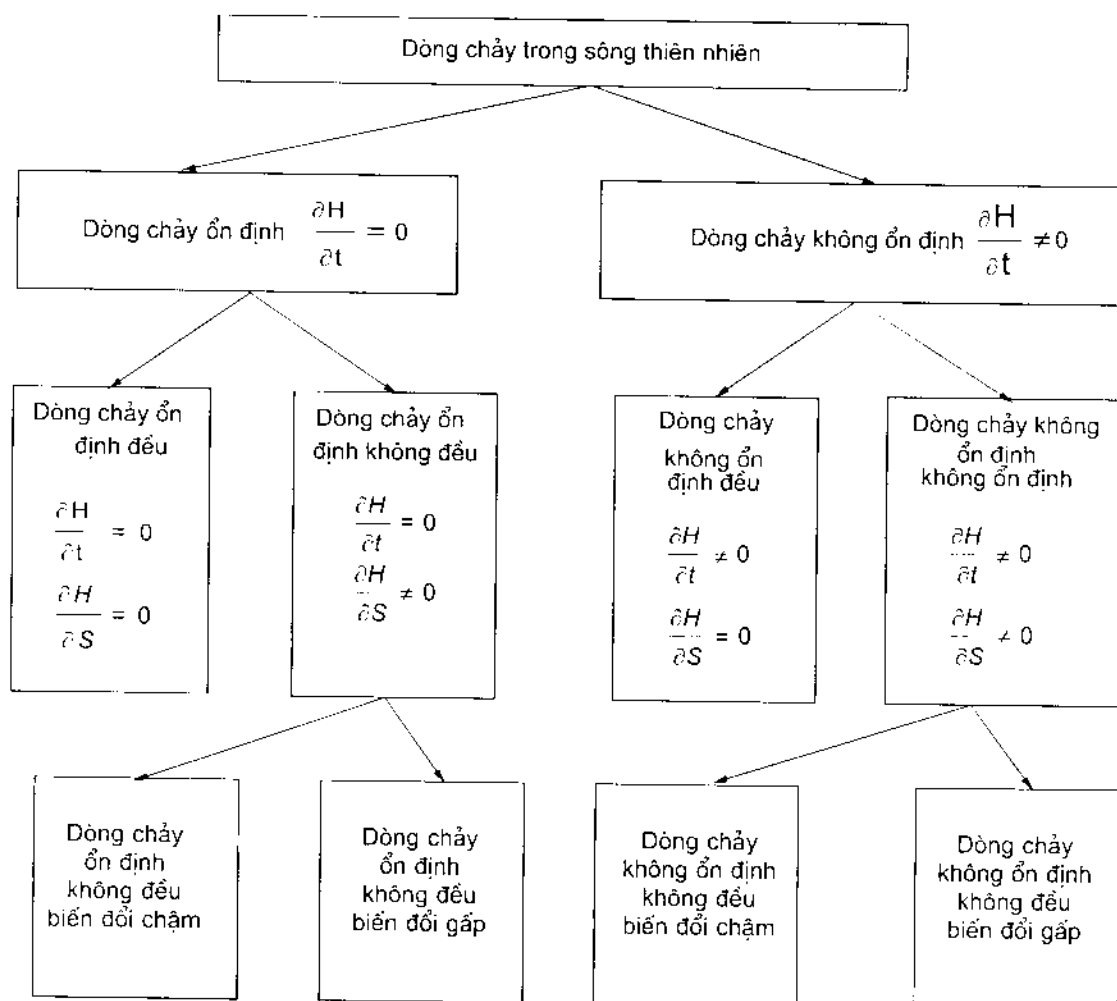
Chuyển động của nước trong mạng lưới sông thiên nhiên là một quá trình xảy ra khá phức tạp và đa dạng. Chuyển động đều của nước trong sông thiên nhiên chỉ có thể tồn tại khi công của lực kháng đối với sự chuyển động của khối nước từ vị trí này sang vị trí khác mà trọng lực của khối đó sản ra khi nó hạ xuống một độ cao nào đó.

Trong những thời kỳ nước cung cấp cho sông điều hoà, lưu lượng nước tại hai mặt cắt cách nhau không xa lắm (trên đoạn sông không có phụ lưu) phải gần bằng nhau. Trên một đoạn dài lưu lượng có thể thay đổi dần dần theo dòng (thường là tăng). Song

trong những điều kiện chế độ cấp nước cho sông ổn định, ở mỗi mặt cắt cho biết lưu lượng có thể thay đổi rất chậm và điều hoà theo thời gian. Chuyển động ổn định trong sông như vậy thường bị phá vỡ bởi sự chuyển động của sóng lũ. Khi sóng lũ chuyển động, lưu lượng thay đổi theo mặt cắt theo thời gian cũng như theo dọc sông trong mỗi thời điểm thời gian.

Ngoài chuyển động trong lòng sông, trong nhiều trường hợp lũ lớn thường xảy ra hiện tượng tràn bờ và có khi còn tràn cả qua vùng đồng bằng châu thổ, lúc đó nước không những chảy trong lòng sông chính mà còn chảy tràn trên bãi. Trong các trường hợp đó chế độ thủy lực trong sông lại càng phức tạp hơn.

Từ những đặc điểm đó dòng chảy trong sông thiên nhiên được chia thành hai loại: dòng chảy ổn định và dòng chảy không ổn định.



Hình 4.1: Sơ đồ phân chia dòng chảy trong sông thiên nhiên

Dòng chảy trong sông thiên nhiên tuân theo quy luật *dòng chảy ổn định*, nếu các đặc trưng thủy lực (như độ sâu dòng chảy, diện tích mặt cắt ướt, tốc độ nước chảy, lưu lượng dòng chảy...) không thay đổi theo thời gian.

Nếu các đặc trưng thủy lực trong sông thiên nhiên không thay đổi theo thời gian và không gian lúc đó dòng chảy trong sông được gọi là *dòng chảy ổn định đều*.

Ngược lại nếu các đặc trưng thủy lực không thay đổi theo thời gian nhưng có thay đổi theo không gian lúc đó dòng chảy trong sông được gọi là *dòng chảy ổn định không đều*. Trong dòng chảy ổn định không đều lại chia ra hai loại: *dòng chảy ổn định không đều biến đổi chậm* và *dòng chảy ổn định không đều biến đổi gấp*.

Dòng chảy trong sông thiên nhiên tuân theo quy luật *dòng chảy không ổn định*, nếu các đặc trưng thủy lực thay đổi theo thời gian.

Cũng giống như dòng chảy ổn định, dòng chảy không ổn định cũng chia ra: dòng chảy không ổn định đều và dòng chảy không ổn định không đều. Trong dòng chảy không ổn định không đều lại chia ra hai loại: dòng chảy không ổn định không đều biến đổi chậm và dòng chảy không ổn định không đều biến đổi gấp (hình 4.1).

#### 4.3. HỆ PHƯƠNG TRÌNH SAINT VERNANT

##### 4.3.1 Hệ phương trình chuyển động trong sông.

Dòng chảy trong sông thiên nhiên thường gặp là *dòng chảy không ổn định không đều biến đổi chậm* được mô tả bằng hệ phương trình Saint Venant.

Năm 1871 người ta đã công bố hệ phương trình vi phân mô tả chế độ dòng chảy trong sông thiên nhiên thường gặp là *dòng chảy không ổn định không đều biến đổi chậm*. Hệ phương trình vi phân này gọi là hệ phương trình Saint Venant. Hệ gồm 2 phương trình: phương trình liên tục và phương trình động lực.

*Phương trình liên tục:*

$$\frac{\partial Q}{\partial S} + \frac{\partial W}{\partial t} = q \quad (4-1)$$

Trong đó:

$\frac{\partial Q}{\partial S}$  - đạo hàm riêng phần của lưu lượng dòng chảy  $Q$  theo chiều dài sông  $S$ ;

$q$  - lưu lượng gia nhập vào đoạn sông từ hai bên bờ gọi là lượng nhập khu giữa;

$\frac{\partial W}{\partial t}$  - đạo hàm riêng phần của diện tích mặt cắt ướt trung bình đoạn sông ( $W$ ) theo thời gian  $t$ .

Vì  $\frac{\partial W}{\partial t} = B \cdot \frac{\partial Z}{\partial t}$  nên phương trình (4-1) có thể viết dưới dạng:

$$\frac{\partial Q}{\partial S} + B \cdot \frac{\partial Z}{\partial t} = q \quad (4-1^*)$$

Với: B - chiều rộng trung bình của đoạn sông tương ứng với mực nước Z.

## 2- Phương trình động lực

$$\frac{\partial Z}{\partial S} = \frac{V \cdot |V|}{C^2 \cdot R} + \frac{\alpha_o}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g} \right) \quad (4-2)$$

Trong đó:  $\frac{\partial Z}{\partial S}$  - đạo hàm riêng phần của mực nước (Z) theo chiều dài sông S;

$\alpha_o, \alpha$  - các hệ số hiệu chỉnh do sự phân bố không đều của tốc độ nước chảy theo thời gian và theo không gian;

R - bán kính thủy lực, C là hệ số Chezy.

Hệ phương trình Saint Venant là hệ phương trình vi phân phi tuyến, hệ số biến đổi. Cho tới nay các nhà toán học chưa tìm được nghiệm giải tích của hệ phương trình trên mà chỉ tìm được nghiệm gần đúng. Có hai cách tìm nghiệm gần đúng:

- Cách thứ nhất là chuyển các phương trình vi phân thành hệ phương trình sai phân rồi giải bằng phương pháp số. Tùy theo loại sông cụ thể mà có thể bỏ qua một số thành phần để bài toán đơn giản hơn mà kết quả vẫn đủ chính xác cần thiết. Các phương pháp này gọi chung là phương pháp thủy lực, chúng có chung nhược điểm là cần tài liệu chi tiết về địa hình lòng sông thiên nhiên mà thực tế các tài liệu này không đủ chính xác, do đó mặc dù khối lượng tính toán rất lớn kết quả tính vẫn có sai số.

- Cách thứ hai là tìm cách giản hoá các phương trình trên, ví dụ chuyển phương trình động lực (4-2) thành phương trình lượng trữ, phương trình liên tục (4-1) thành phương trình cân bằng nước. Những biến đổi này làm cách giải đơn giản đi nhiều, kết quả tính toán có gặp sai số do phương trình đã giản hoá nhưng ít mắc sai số do thiếu số liệu đưa vào, những sai số cũng không bị tích lũy lại do không cần tính lặp. Những cách giải kiểu này gọi chung là phương pháp thủy văn.

Hiện nay cả hai phương pháp này vẫn song song tồn tại và bổ sung cho nhau. Các mô hình diễn toán dòng chảy trên sông theo phương pháp thủy văn như: phương pháp Muskingum, và các phương pháp lượng trữ (như diễn toán trong mô hình SSARR) đã được giới thiệu chi tiết trong "Bài giảng Mô hình toán Thủy văn: do cố PGS. TS. Đặng Văn Bảng biên soạn dành cho sinh viên đại học.

Với các mô hình diễn toán dòng chảy trên sông theo phương pháp thủy lực khi chưa có máy tính điện tử, người ta giải hệ phương trình Saint Venant bằng phương pháp lưới (đồ thị), hiện nay thường tìm nghiệm của hệ phương trình Saint Venant bằng phương pháp số. Phương pháp số phổ biến nhất là chuyển phương trình vi phân thành phương trình sai phân sau đó tìm nghiệm gần đúng theo phương pháp sai phân, hoặc tìm nghiệm của hệ phương trình theo phương pháp phần tử hữu hạn. Đã có những bài toán mẫu về phương pháp phần tử hữu hạn như tính toán sự lan truyền nhiệt hoặc truyền điện trong thanh kim loại với các điều kiện đầu và điều kiện biên xác định. Sự truyền năng lượng (thế năng và động năng) trong nước sông cũng có thể mô phỏng như sự truyền thế hiệu và cường độ dòng điện trong thanh kim loại, tuy nhiên với mỗi bài toán cụ thể phương trình chỉ có nghiệm xác định khi thỏa mãn điều kiện biên xác định của bài toán. Cho tới nay mới có những ứng dụng của phương pháp phần tử hữu hạn trong tính toán truyền nước ngầm trong đất theo mô hình hai chiều hay ba chiều hoặc tính toán phân bố tốc độ vùng cửa sông theo mô hình hai chiều hay ba chiều.

Trong phần này chúng tôi không trình bày cách tìm nghiệm theo phương pháp phần tử hữu hạn, cũng không đi quá sâu vào các biến đổi toán học khi tìm nghiệm theo phương pháp sai phân, mà chỉ trình bày tóm tắt nguyên lý để người đọc có thể hiểu được nguyên tắc lập trình, để khi sử dụng các phần mềm thủy lực tính dòng chảy trong kênh hở, có thể nạp số liệu đầu vào chính xác đồng thời sử lý tốt các điều kiện biên để kết quả tính toán chính xác nhất.

#### 4.3.2 Chuyển phương trình vi phân thành phương trình sai phân

Ta xem xét hệ phương trình Saint Venant trên, gồm:

$$\frac{\partial Q}{\partial S} + B \cdot \frac{\partial Z}{\partial t} = q \quad (4-1^*)$$

$$- \frac{\partial Z}{\partial S} = \frac{V \cdot |V|}{C^2 \cdot R} + \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g} \right) \quad (4-2)$$

Để tìm nghiệm của hệ phương trình Saint Venant bằng phương pháp số, người ta cần chuyển phương trình vi phân thành phương trình sai phân theo các lược đồ sai phân sau :

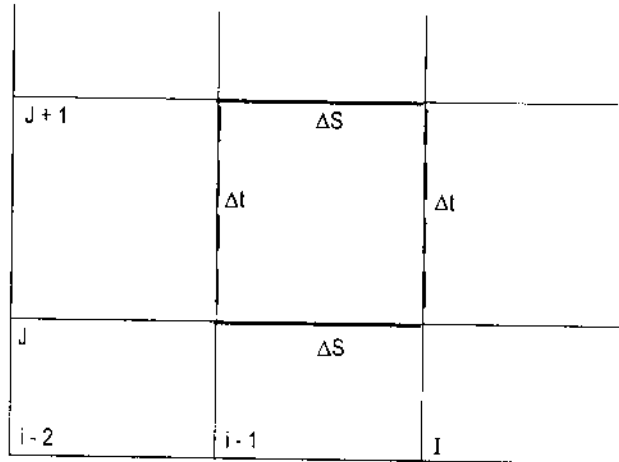
*Lược đồ sai phân bốn điểm hình chữ nhật (sai phân ẩn)*

Vì phân theo thời gian ta có:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = (1-\alpha) \cdot \frac{F_{i-1,j+1} - F_{i-1,j}}{\Delta t} + \alpha \cdot \frac{F_{i,j+1} - F_{i,j}}{\Delta t} \quad (4-3)$$

Vì phân theo không gian ta có:

$$\frac{\partial F}{\partial S} = (1-\theta) \cdot \frac{F_{i,j} - F_{i-1,j}}{\Delta S} + \theta \cdot \frac{F_{i,j+1} - F_{i-1,j+1}}{\Delta S} \quad (4-4)$$



**Hình 4.2:** Sơ đồ sai phân bốn điểm hình chữ nhật

Tại lớp thời gian thứ  $j : t = j$ , các giá trị của hàm  $F$  coi như đã biết (khi  $t = 0$ , giá trị đã biết của hàm  $F$  chính là điều kiện đầu). Tại lớp thời gian thứ  $j + 1, t = j + 1$  là các giá trị của hàm  $F$  cần tính toán.

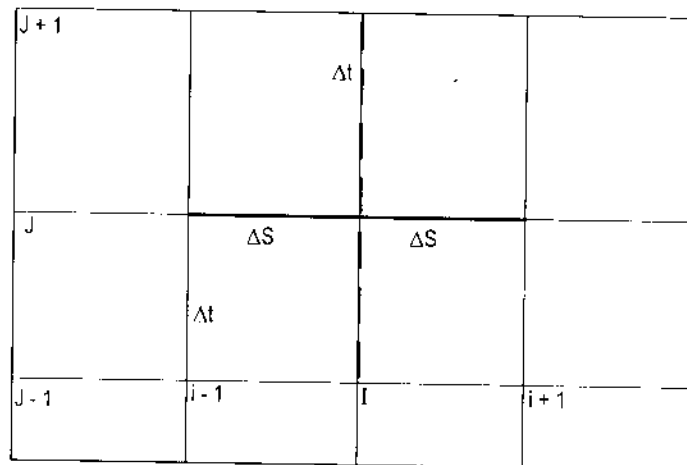
*Lược đồ sai phân bốn điểm hình thoi (sai phân hiện)*

Vi phân theo thời gian ta có:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{F_{i,j+1} - F_{i,j-1}}{2 \cdot \Delta t} \quad (4-5)$$

Vi phân theo không gian ta có:

$$\frac{\partial F}{\partial S} = \frac{F_{i+1,j} - F_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta S} \quad (4-6)$$



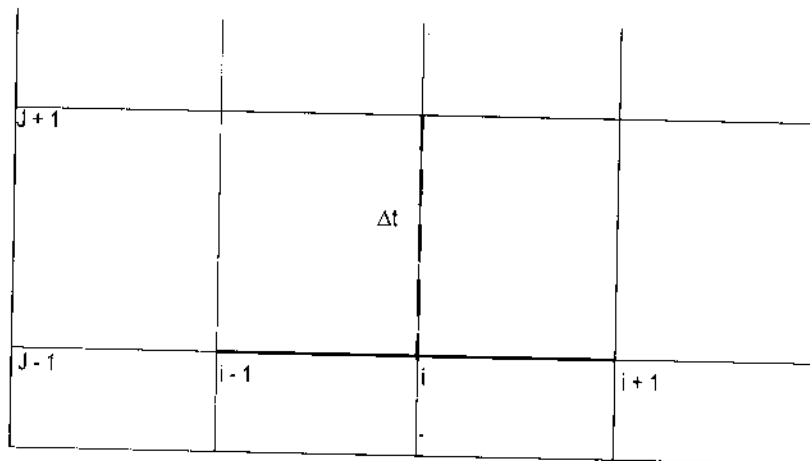
**Hình 4.3:** Sơ đồ sai phân bốn điểm hình thoi



*Lược đồ sai phân bốn điểm hình tam giác (sai phân hiện)*

Vì phân theo thời gian ta có: 
$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{F_{i,j+1} - F_{i,j}}{\Delta t} \quad (4-7)$$

Vì phân theo không gian ta có: 
$$\frac{\partial F}{\partial S} = \frac{F_{i+1,j} - F_{i-1,j}}{2.\Delta S} \quad (4-8)$$



**Hình 4.4:** Sơ đồ sai phân bốn điểm hình tam giác

Ngoài lược đồ sai phân bốn điểm, người ta còn dùng các loại lược đồ sai phân 6 điểm hoặc 8 điểm, trong phần này chỉ chú ý đến lược đồ sai phân bốn điểm hình chữ nhật và lược đồ sai phân bốn điểm hình tam giác.

#### 4.3.3 Chuyển hệ phương trình Saint Venant thành hệ phương trình đại số

Chuyển hệ phương trình vi phân (4-1\*) thành phương trình đại số bằng cách dùng lược đồ sai phân bốn điểm hình chữ nhật ( sai phân ẩn) ta có:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = (1-\alpha) \cdot \frac{F_{i-1,j+1} - F_{i-1,j}}{\Delta t} + \alpha \cdot \frac{F_{i,j+1} - F_{i,j}}{\Delta t} \quad (4-9)$$

$$\frac{\partial F}{\partial S} = (1-\theta) \cdot \frac{F_{i,j} - F_{i-1,j}}{\Delta S} + \theta \cdot \frac{F_{i,j+1} - F_{i-1,j+1}}{\Delta S} \quad (4-10)$$

chọn  $\alpha = 1/2$  và  $\theta = 1$  thay vào phương trình liên tục, ta có:

$$\frac{Q_{i-1,j+1} - Q_{i,j+1}}{\Delta S} + \bar{B} \cdot \left( \frac{Z_{i,j+1} - Z_{i,j}}{2.\Delta t} + \frac{Z_{i-1,j+1} - Z_{i-1,j}}{2.\Delta t} \right) = -\bar{q}$$

$\bar{B}$ : là chiều rộng trung bình của cả đoạn sông bao gồm lòng sông và khu chứa ven sông, phụ thuộc vào độ rộng trung bình của đoạn sông  $\bar{B}_s$  diện tích khu chứa ven sông  $\Omega$  và chiều dài đoạn sông  $\Delta S$  theo công thức:  $\bar{B} = \bar{B}_s + \frac{\Omega}{\Delta S}$  Vì:  $\bar{B}, \Omega$  đều phụ thuộc mực

nước  $Z$  nên có 4 giá trị mực nước  $Z_{i-1,j}$ ,  $Z_{i,j}$ ,  $Z_{i-1,j+1}$ ,  $Z_{i-1,j}$ . Ta tìm được 4 giá trị  $\Omega$  và 4 giá trị  $\bar{B}$ . Để đơn giản, trong một số sơ đồ ẩn giá trị  $\bar{B}$  được tính theo mực nước trung bình  $\bar{Z}$  như sau:

$$\bar{Z} = \frac{1}{4} (Z_{i-1,j} + Z_{i,j} + Z_{i-1,j+1} + Z_{i-1,j}) \quad (4-11)$$

Thay vào phương trình (4-10), ta có:

$$Q_{i-1,j+1} - Q_{i,j+1} + \frac{\bar{B} \cdot \Delta S}{2 \cdot \Delta t} (Z_{i,j+1} - Z_{i,j} + Z_{i-1,j+1} - Z_{i-1,j}) = \bar{q} \Delta S \quad (4-12)$$

Chuyển các thành phần ở lớp thời gian  $t = j$  đã biết sang vế phải ta có:

$$Q_{i-1,j+1} + \frac{\bar{B} \cdot \Delta S}{2 \cdot \Delta t} Z_{i,j+1} - Q_{i,j+1} + \frac{\bar{B} \cdot \Delta S}{2 \cdot \Delta t} Z_{i-1,j+1} = \bar{q} \Delta S + \frac{\bar{B} \cdot \Delta S}{2 \cdot \Delta t} Z_{i,j} + \frac{\bar{B} \cdot \Delta S}{2 \cdot \Delta t} Z_{i-1,j} \quad (4-13)$$

hay:

$$-Q_{i-1,j+1} + A_{i,j+1} \cdot Z_{i,j+1} + Q_{i,j+1} + A_{i,j+1} \cdot Z_{i-1,j+1} = M_{i,j} \quad (4-14)$$

Vậy phương trình liên tục, dạng vi phân (4-1\*) đã được chuyển sang phương trình đại số tuyến tính dạng (4-14) nhờ sử dụng sơ đồ sai phân 4 điểm chữ nhật

Từ phương trình động lực (4-2):

$$-\frac{\partial Z}{\partial S} = \frac{V \cdot |V|}{C^2 \cdot R} + \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g} \right)$$

Thay  $V = \frac{Q}{\omega}$ , ta có:

$$-\frac{\partial Z}{\partial S} = \frac{Q \cdot |Q|}{C^2 \cdot \omega^2 \cdot R} + \frac{\alpha_0}{g \cdot \omega} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot \omega^2} \right) \quad (4-15)$$

Chọn  $\alpha = 1/2$  và  $\theta = 0$  thay vào phương trình (4-15) ta có:

$$-\frac{Z_{i,j} - Z_{i-1,j}}{\Delta S} = \frac{Q \cdot |Q|}{C^2 \cdot \omega^2 \cdot R} + \frac{\alpha_0 \omega}{g \cdot \omega^2} \left( \frac{Q_{i-1,j+1} - Q_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta t} + \frac{Q_{i,j+1} - Q_{i,j}}{2 \cdot \Delta t} \right) + \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot \omega^2} \right) \quad (4-16)$$

$$-\frac{Z_{i,j} - Z_{i-1,j}}{\Delta S} = \frac{Q \cdot |Q|}{C^2 \cdot \omega^2 \cdot R} + \frac{\alpha_0 \omega}{2 \cdot g \cdot \omega^2 \cdot \Delta t} (Q_{i-1,j+1} - Q_{i-1,j} + Q_{i,j+1} - Q_{i,j}) + \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot \omega^2} \right) \quad (4-16*)$$

Từ phương trình liên tục (4-1\*) ta có:

$$\frac{\partial Q}{\partial S} = q - B \cdot \frac{\partial Z}{\partial t}$$

nên: 
$$\frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot \omega^2} \right) = \left( \frac{2 \cdot \alpha \cdot Q}{2 \cdot g \cdot \omega^2} \right) \frac{\partial Q}{\partial S} = \left( \frac{\alpha \cdot Q}{g \cdot \omega^2} \right) (q - B \cdot \frac{\partial Z}{\partial t}) \quad (4-17)$$

Thay (4-17) vào phương trình (4-16) ta có:

$$\begin{aligned} -\frac{Z_{i,j} - Z_{i-1,j}}{\Delta S} = & \frac{Q|Q|}{C^2 \cdot \omega^2 \cdot R} + \frac{\alpha_0 \omega}{2g \cdot \omega^2 \cdot \Delta t} (Q_{i-1,j+1} - Q_{i-1,j} + Q_{i,j+1} - Q_{i,j}) + \left( \frac{\alpha \cdot Q}{g \cdot \omega^2} \right) \cdot q - \\ & - \left( \frac{\alpha \cdot B \cdot Q}{g \cdot \omega^2} \right) \frac{1}{2 \cdot \Delta t} (Z_{i-1,j+1} - Z_{i-1,j} + Z_{i,j+1} - Z_{i,j}) \end{aligned} \quad (4-18)$$

hoặc:

$$\begin{aligned} \left( \frac{\alpha \cdot Q}{g \cdot \omega^2} \right) \cdot q = & -\frac{Q|Q|}{C^2 \cdot \omega^2 \cdot R} - \frac{\alpha_0 \omega}{2g \cdot \omega^2 \cdot \Delta t} (Q_{i-1,j+1} - Q_{i-1,j} + Q_{i,j+1} - Q_{i,j}) - \frac{Z_{i,j} - Z_{i-1,j}}{\Delta S} \\ & + \left( \frac{\alpha \cdot B \cdot Q}{g \cdot \omega^2} \right) \frac{1}{2 \cdot \Delta t} (Z_{i-1,j+1} - Z_{i-1,j} + Z_{i,j+1} - Z_{i,j}) \end{aligned} \quad (4-19)$$

Các thành phần:  $\left( \frac{\alpha \cdot Q}{g \cdot \omega^2} \right) \cdot q$ ;  $\frac{Q|Q|}{C^2 \cdot \omega^2 \cdot R}$ ; và  $\frac{\alpha_0 \omega}{2g \cdot \omega^2 \cdot \Delta t}$  lấy trung bình theo 2 điểm (i,j) và (i,j + 1). Thành phần:  $\left( \frac{\alpha \cdot B \cdot Q}{g \cdot \omega^2} \right)$  lấy trung bình theo 4 điểm: (i-1,j), (i,j), (i-1, j + 1) và (i,j + 1).

Thành phần lưu lượng ở lớp thời gian (J + 1) chưa biết nên chuyển sang về trái, chuyển các thành phần đã biết ở lớp thời gian (t = J) sang về phải, sau một vài biến đổi thông thường ta có:

$$Q_{i-1,j+1} + C_{i,j+1} \cdot Z_{i-1,j+1} + Q_{i,j+1} + D_{i,j+1} \cdot Z_{i,j+1} = N_{i,j} \quad (4-20)$$

Phương trình (4-20) là dạng phương trình đại số tuyến tính của phương trình động lực. Như vậy ta đã chuyển hệ phương trình Saint Venant dạng vi phân (4-1\*) và (4-2) thành hệ phương trình đại số tuyến tính dạng (4-14) và (4-20) nhờ sử dụng lược đồ sai phân bốn điểm hình chữ nhật (sai phân ẩn):

$$-Q_{i-1,j+1} + A_{i,j+1} \cdot Z_{i,j+1} + Q_{i,j+1} + A_{i,j+1} \cdot Z_{i-1,j+1} = M_{i,j}$$

$$Q_{i-1,j+1} + C_{i,j+1} \cdot Z_{i-1,j+1} + Q_{i,j+1} + D_{i,j+1} \cdot Z_{i,j+1} = N_{i,j}$$

Các hệ số  $M_{i,j}$ ,  $N_{i,j}$  có các giá trị xác định tại thời điểm ( $t = j$ ) đã biết, các hệ số  $A_{i,j+1}$ ,  $C_{i,j+1}$ ,  $D_{i,j+1}$  là các giá trị trung bình theo 2 điểm sau, nên phụ thuộc vào kết quả tính toán mực nước và lưu lượng tại mức thời gian ( $t = j + 1$ ); vì vậy phải tính lặp. Quá trình tính lặp dừng lại khi chênh lệch kết quả tính toán  $Q_{i-1,j+1}$ ,  $Z_{i-1,j+1}$ ,  $Q_{i,j+1}$ ,  $Z_{i,j+1}$  tại hai lần tính lặp liên tiếp nhỏ hơn mức sai số cho phép đã ấn định trước.

#### 4.3.4. Tính toán thủy lực cho mạng lưới sông theo sơ đồ ẩn

Khi tính toán thủy lực cho mạng lưới sông người ta phải lập sơ đồ tính toán. Một mạng lưới sông dù phức tạp đến đâu cũng bao gồm các đoạn sông được sắp xếp theo kiểu nào đó. Thông thường sơ đồ tính toán thủy lực hay dùng các khái niệm sau: nhánh sông, đoạn sông, nút.

*Mặt cắt ngang*: là ranh giới phân chia hai đoạn sông.

*Đoạn sông* là phần không gian lòng sông và bãi sông giới hạn bởi hai mặt cắt ngang sông hoặc hai nút, hay 1 nút và 1 mặt cắt ngang.

*Nút* là nơi gặp nhau của 3 đoạn sông trở lên. Tại các nút có thể có công trình đưa nước vào hay ra khỏi nút.

*Nhánh sông* là tập hợp của một hay nhiều đoạn sông xếp liên tiếp nhau.

Hai đoạn sông gặp nhau xếp thành nhánh sông, từ ba đoạn sông trở lên gặp nhau tại một điểm tạo thành nút. Nhánh sông là các đoạn sông nằm giữa hai nút. Tùy theo loại sơ đồ tính toán Thủy lực, có loại chỉ nhận công trình tại nút, có loại chấp nhận công trình cả tại nút và cả tại đoạn sông. Một mạng lưới sông dù phức tạp đến mấy cũng chỉ bao gồm các đoạn sông và các nút. Mỗi đoạn sông viết được hệ phương trình Saint Venant dưới dạng hệ phương trình đại số tuyến tính dạng (4-14) và (4-20) ở trên.

Xét mạng sông đơn giản nhất chỉ bao gồm 1 nhánh sông có biên lưu lượng tại mặt cắt trên và biên mực nước tại mặt cắt dưới. Chia nhánh sông thành  $n$  đoạn sông, nên có tất cả  $n + 1$  mặt cắt ngang đánh số thứ tự  $i = 1, 2, \dots, n, n + 1$ .

##### 1- Thiết lập hệ phương trình đại số tuyến tính cho mạng sông

Với đoạn sông thứ nhất giới hạn bằng hai mặt cắt  $i = 1$  và  $i = 2$ ; hệ phương trình Saint Venant viết cho đoạn này là phương trình (4-14) và (4-20).

$$-Q_{0,j+1} + A_{1,j+1} \cdot Z_{1,j+1} + Q_{1,j+1} + A_{1,j+1} \cdot Z_{0,j+1} = M_{1,j}$$

$$Q_{0,j+1} + C_{1,j+1} \cdot Z_{0,j+1} + Q_{1,j+1} + D_{1,j+1} \cdot Z_{1,j+1} = N_{1,j}$$

Các thành phần bên vế trái của phương trình đều tại lớp thời gian ( $t = j + 1$ ). còn bên vế trái của phương trình đều tại lớp thời gian ( $t = j$ ) nên để đơn giản ta không ghi chỉ số chỉ lớp thời gian. Đoạn sông từ mặt cắt 1 ÷ 2.

$$-Q_0 + A_1 \cdot Z_0 + Q_1 + A_1 \cdot Z_1 = M_1$$

$$Q_0 + C_1 \cdot Z_0 + Q_1 + D_1 \cdot Z_1 = N_1$$

Đoạn sông từ mặt cắt 2 ÷ 3:

$$-Q_1 + A_2 \cdot Z_1 + Q_2 + A_2 \cdot Z_2 = M_2$$

$$Q_1 + C_2 \cdot Z_1 + Q_2 + D_2 \cdot Z_2 = N_2 .$$

.....

Đoạn sông từ mặt cắt  $n \div (n + 1)$

$$-Q_{n-1} + A_n \cdot Z_{n-1} + Q_n + A_n \cdot Z_n = M_n$$

$$Q_{n-1} + C_n \cdot Z_{n-1} + Q_n + D_n \cdot Z_n = N_n .$$

Điều kiện biên trên là:  $Q_0 = Q_0(t)$

Điều kiện biên dưới là:  $Z_n = Z_n(t)$

Mỗi đoạn sông giới hạn bởi hai mặt cắt ngang, nên có tất cả  $(n + 1)$  mặt cắt ngang. Mỗi mặt cắt cần tính hai ẩn số là mực nước và lưu lượng tại mặt cắt, như vậy tổng số ẩn số cần tìm trong nhánh sông là  $2(n + 1)$ . Mỗi đoạn sông viết được 2 phương trình đại số tuyến tính dạng (4-14) và (4-20), kết hợp với 2 phương trình mô tả điều kiện biên ở hai đầu nhánh sông ta có  $2(n + 1)$  phương trình bậc nhất. Số phương trình bậc nhất đúng bằng số ẩn số nên luôn tìm được nghiệm duy nhất.

Có nhiều phương pháp giải hệ phương trình bậc nhất này nhưng tiện lợi hơn cả là dùng phương pháp khử đuôi. Nhiều phần mềm tính thủy lực sơ đồ ẩn được lập trình theo phương pháp này.

## 2- Giải hệ phương trình đại số tuyến tính bằng phương pháp khử đuôi

Mỗi đoạn sông có 1 hệ phương trình đại số tuyến tính dạng (4-14) và (4-20) nay ta tìm nghiệm dưới dạng :

$$Q_i = p_i \cdot Z_i + q_i \quad (4-21)$$

$$Z_i = \xi_i \cdot Q_{i+1} + \eta_i \quad (4-22)$$

$p_i$ ,  $q_i$ ,  $\xi_i$  và  $\eta_i$  gọi là các hệ số khử đuôi tại mặt cắt thứ  $i$ .

Khử thành phần  $Z_i$  trong hệ phương trình đại số (4-14) và (4-20) bằng cách nhân phương trình (4-14) với  $-D_i$  và nhân phương trình (20) với  $A_i$  sau đó cộng lại ta có:

$$D_i \cdot Q_{i-1} - D_i \cdot A_i \cdot Z_{i-1} - D_i \cdot Q_i - D_i \cdot A_i \cdot Z_i = -D_i \cdot M_i$$

$$A_i \cdot Q_{i-1} + A_i \cdot C_i \cdot Z_{i-1} + A_i \cdot Q_i + A_i \cdot D_i \cdot Z_i = A_i \cdot N_i$$

Tổng cộng:

$$(D_i + A_i)Q_{i-1} + A_i(C_i - D_i)Z_{i-1} + (A_i - D_i)Q_i = A_i \cdot N_i - D_i \cdot M_i \quad (4-23)$$

Khử thành phần  $Q_{i-1}$  bằng cách theo (22):  $Q_i = p_i \cdot Z_i + q_i$

nên thay  $Q_{i-1} = p_{i-1} Z_{i-1} + q_{i-1}$  vào phương trình (4-23) ta có:

$$(D_i + A_i)(p_{i-1} Z_{i-1} + q_{i-1}) + A_i(C_i - D_i)Z_{i-1} + (A_i - D_i)Q_i = A_i \cdot N_i - D_i \cdot M_i$$

$$p_{i-1} Z_{i-1} + q_{i-1} + A_i \frac{C_i - D_i}{D_i + A_i} \cdot Z_{i-1} = \frac{A_i N_i - D_i M_i}{D_i + A_i} - \frac{A_i - D_i}{D_i + A_i} Q_i$$

$$A_i \left( p_{i-1} + A_i \frac{C_i - D_i}{D_i + A_i} \right) Z_{i-1} + q_{i-1} = \frac{A_i N_i - D_i M_i}{D_i + A_i} - \frac{A_i - D_i}{D_i + A_i} Q_i$$

$$Z_{i-1} \frac{1}{p_{i-1} + \frac{A_i(C_i - D_i)}{D_i + A_i}} =$$

$$= \frac{A_i N_i - D_i M_i}{D_i + A_i} - \frac{A_i - D_i}{A_i + D_i} Q_i - q_{i-1} \frac{p_{i-1}(A_i + D_i) + A_i(C_i - D_i)}{D_i + A_i} \cdot Z_{i-1}$$

$$= \frac{A_i N_i - D_i M_i}{D_i + A_i} - \frac{A_i - D_i}{A_i + D_i} Q_i - \frac{A_i + D_i}{A_i + D_i} q_{i-1} Z_{i-1}$$

$$= \frac{A_i - D_i}{p_{i-1}(A_i + D_i) + A_i(C_i - D_i)} Q_i + \frac{A_i N_i - D_i M_i - (A_i + D_i)q_{i-1}}{p_{i-1}(A_i + D_i) + A_i(C_i - D_i)}$$

Đồng nhất hệ số với phương trình (4-22):  $Z_i = \xi_i \cdot Q_{i+1} + \eta_i$  ta có:

$$\xi_{i-1} = \frac{A_i - D_i}{p_{i-1}(A_i + D_i) + A_i(C_i - D_i)} \quad (4-24)$$

$$\eta_{i-1} = \frac{A_i N_i - D_i M_i - (A_i + D_i)q_{i-1}}{p_{i-1}(A_i + D_i) + A_i(C_i - D_i)} \quad (4-25)$$

Tiếp tục khử thành phần  $Z_{i-1}$  trong hệ phương trình đại số (4-14) và (4-20) bằng cách cộng hai phương trình này ta có:

$$-Q_{i-1} + A_i \cdot Z_{i-1} + Q_i + A_i \cdot Z_i = M_i$$

$$Q_{i-1} + C_i \cdot Z_{i-1} + Q_i + D_i \cdot Z_i = N_i$$

$$\text{Tổng cộng:} \quad (A_i + C_i) \cdot Z_{i-1} + 2 \cdot Q_i + (A_i + D_i) \cdot Z_i = M_i + N_i \quad (4-26)$$

khử thành phần  $Z_{i-1}$  bằng cách theo phương trình (4-22):  $Z_i = \xi_i \cdot Q_{i+1} + \eta_i$  nên thay  $Z_{i-1} = \xi_{i-1} Q_i + \eta_{i-1}$  vào phương trình (4-26) ta có:

$$(A_i + C_i)(\xi_{i-1} Q_i + \eta_{i-1}) + 2 \cdot Q_i + (A_i + D_i) \cdot Z_i = M_i + N_i$$

$$(2 + \xi_{i-1}(A_i + C_i))Q_i = -(A_i + D_i) \cdot Z_i + M_i + N_i - (A_i + C_i)\eta_{i-1}$$

$$Q_i = -\frac{A_i + D_i}{2 + (A_i + C_i)\xi_{i-1}} Z_i + \frac{M_i + N_i - (A_i + C_i)\eta_{i-1}}{2 + (A_i + C_i)\xi_{i-1}}$$

đồng nhất hệ số với phương trình (4-21)  $Q_i = p_i \cdot Z_i + q_i$  ta có:

$$p_i = \frac{-(A_i + D_i)}{\xi_{i-1}(A_i + C_i) + 2} \quad (4-27)$$

$$q_i = \frac{M_i + N_i - (A_i + C_i)\eta_{i-1}}{2 + (A_i + C_i)\xi_{i-1}} \quad (4-28)$$

Xét nhánh sông gồm n đoạn sông giới hạn bằng (n + 1) mặt cắt

| Đoạn sông | ① | ② | ..... | ④ |   |
|-----------|---|---|-------|---|---|
| Mặt cắt   | 1 | 2 | 3     | 4 | 5 |

Mỗi mặt cắt có 2 phương trình (4-21) và (4-22) vậy n mặt cắt có 2(n + 1) phương trình.

Mặt cắt số 1: i = 1 biên Q:

$$Q_1 = p_1 \cdot Z_1 + q_1 = Q_0(t)$$

$$Z_1 = \xi_1 \cdot Q_2 + \eta_1$$

Mặt cắt số 2:

$$i = 2 \quad Q_2 = p_2 \cdot Z_2 + q_2$$

$$Z_2 = \xi_2 \cdot Q_3 + \eta_2$$

.....

Mặt cắt thứ n :

$$i = n \quad Q_n = p_n \cdot Z_n + q_n$$

$$Z_n = \xi_n \cdot Q_{n+1} + \eta_n$$

Mặt cắt thứ n + 1: i = n + 1 biên Z

$$Q_{n+1} = p_{n+1} \cdot Z_{n+1} + q_{n+1}$$

$$Z_{n+1} = \xi_{n+1} \cdot Q_{n+2} + \eta_{n+1} = Z_{n+1}(t)$$

Ta có  $(n + 1)$  mặt cắt viết được  $2(n + 1)$  phương trình, dạng (4-21) và (4-22) nhưng tại mặt cắt  $i = 1$  là mặt cắt biên lưu lượng nên thay phương trình  $Q_1 = p_1 \cdot Z_1 + q_1$  bằng điều kiện biên trên  $Q_1 = Q_0(t)$ . Mặt cắt  $i = n + 1$  là biên mực nước nên thay phương trình  $Z_{n+1} = \xi_{n+1} \cdot Q_{n+2} + \eta_{n+1}$  bằng điều kiện biên dưới:  $Z_{n+1} = Z_{n+1}(t)$ . Giải hệ  $2(n + 1)$  phương trình này tìm được  $2(n + 1)$  nghiệm là  $Q$  và  $Z$  tại  $n$  mặt cắt.

Mặt cắt số 1:  $i = 1$  ta có  $Q_1 = p_1 \cdot Z_1 + q_1 = Q_0(t)$  vậy  $p_1 = 0$  và  $q_1 = Q_0(t)$  thay  $p_1 = 0$  và  $q_1 = Q_0(t)$  vào phương trình (4-24) và (4-25) tìm được  $\xi_1, \eta_1$ . Lại thay  $\xi_1, \eta_1$  vào phương trình (4-12) và (4-13) tìm được  $p_2, q_2, \dots$  cứ như vậy, biết  $p_i, q_i$  theo phương trình (4-9) và (4-10) tìm ra  $\xi_i, \eta_i$ . Sau đó lại từ  $\xi_i, \eta_i$  theo phương trình (4-27) và (4-28) tìm ra  $p_{i+1}, q_{i+1}$ . Quá trình thực hiện cho tới  $i = n + 1$ .

Các giá trị tính toán:  $Q_i = p_i \cdot Z_i + q_i$  và  $Z_i = \xi_i \cdot Q_{i+1} + \eta_i$  đều ở lớp thời gian  $(t = j + 1)$ . Nếu các giá trị  $Q_i, Z_i$  này không phù hợp với các giá trị giả định để tính các hệ số  $A_{i,j+1}, C_{i,j+1}, D_{i,j+1}$  thì phải tính lặp. Tại mặt cắt  $i = n + 1$  giá trị tính toán  $Z_{n+1} = \xi_{n+1} \cdot Q_{n+2} + \eta_{n+1}$  phải bằng điều kiện biên dưới:  $Z_{n+1} = Z_{n+1}(t)$ , nếu sai cũng phải tính lặp.

### 3- Cách mô phỏng công trình thủy lực

Trên hệ thống sông, trong thực tế thường gặp các công trình thủy lực như cống, đập tràn... được mô tả như một đoạn sông. Lưu lượng được tính như sau:

- Lưu lượng qua đập tràn chảy tự do tính theo công thức:

$$Q = m \sqrt{2g} \cdot b(h)^{\frac{3}{2}} = m \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot (Z_d - Z_{dd}) \sqrt{Z_d - Z_{dd}} \quad (4-29)$$

$Z_d$  - cao độ mực nước thượng lưu đập;

$Z_{dd}$  - cao độ đỉnh đập tràn. (cho trước);

$b$  - chiều rộng đập tràn. (cho trước);

$m$  - hệ số tổn thất cục bộ, chọn theo hình dạng đập  $m = 0,30 \div 0,38$  (chọn trước).

- Lưu lượng qua đập tràn chảy ngập tính theo công thức:

$$Q = \varphi \sqrt{2g} \cdot \Delta h \cdot b \cdot h_n = \varphi \sqrt{2g} \cdot b \cdot (Z_d - Z_c) \sqrt{Z_c - Z_{dd}} \quad (4-30)$$

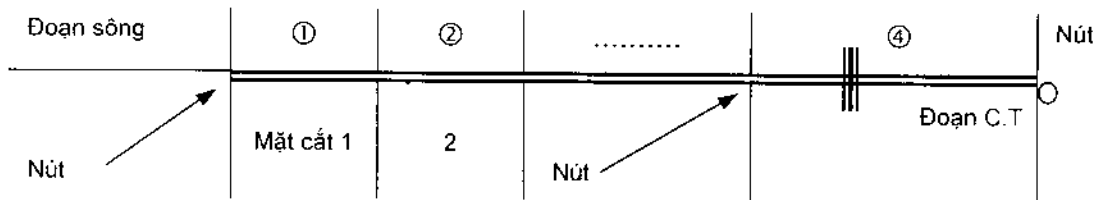
$Z_c$  - cao độ mực nước hạ lưu đập.

$\varphi$  - hệ số ngập, phụ thuộc hình dạng đập  $\varphi = 0,77 \div 1,0$  (chọn trước)

Trường hợp tổng quát lưu lượng qua công trình phụ thuộc vào kích thước hình dạng công trình và mực nước thượng lưu, hạ lưu công trình, cũng giống như lưu lượng qua 1 đoạn sông phụ thuộc kích thước hình dạng đoạn sông và mực nước mặt cắt đầu đoạn và



mức nước mặt cắt cuối đoạn. Sơ đồ sai phân ẩn coi mỗi công trình như một đoạn sông (đoạn công trình) nút đầu đoạn là mặt cắt thượng lưu, nút cuối là mặt cắt hạ lưu.



#### 4- Cách mô phỏng vùng ngập lũ (ô ruộng)

Trong thực tế khi xảy ra lũ lớn, lũ cực lớn thường xảy ra hiện tượng lũ tràn vào đồng ruộng. Mỗi vùng ngập lũ coi như một ô ruộng. Tùy theo địa hình mà chia ra loại ô ruộng kín và ô ruộng hở.

Ô ruộng hở là vùng ngập thông với đoạn sông một cách tự do. Nói cách khác trong ô ruộng hở mực nước luôn lên xuống tự do theo mực nước đoạn sông. Mực nước ô ruộng hở luôn luôn bằng mực nước trung bình đoạn sông. Diện tích ô ruộng hở ứng với mực nước  $Z$  sẽ làm thay đổi độ rộng trung bình đoạn sông ứng với mực nước  $Z$ .

Ô ruộng kín là vùng ngập thông với đoạn sông qua công trình thủy lực. Nói cách khác mực nước trong ô ruộng kín không lên xuống tự do theo mực nước đoạn sông, mà lên, xuống theo lưu lượng vào và ra khỏi ô ruộng. Lưu lượng vào ô ruộng kín là do mưa trên phần diện tích ngập và không ngập nước của ô ruộng kín. Lưu lượng ra khỏi ô ruộng là lưu lượng qua công trình thủy lực (mang dấu âm hay dương tùy theo hướng chảy).

Chẳng hạn gọi mực nước ô ruộng đầu thời đoạn là  $Z_{trước}$  ứng với diện tích ngập nước là  $F_{ngập}$  và diện tích không ngập là  $F_{kh.ngập} = F_{max} - F_{ngập}$

Lưu lượng do nước mưa  $Q_{mưa1}$  vào phần ô ruộng ngập là:

$$Q_{mưa1} = 10 \cdot F_{ngập} \cdot \frac{P}{T_{mưa}} \quad (4-31)$$

Trong đó:  $P$  - lượng mưa hiệu quả (lượng mưa đã khấu trừ tổn thất (mm);

$T_{mưa}$  - thời gian mưa (s);

$F_{ngập}$  - diện tích ngập nước;

$Q_{mưa1}$  - lưu lượng do mưa ( $m^3/s$ ).

Lưu lượng do nước mưa từ phần diện tích không ngập đưa vào ô ruộng là:

$$Q_{mưa2} = q_{tiền} \cdot \frac{F_{kh.ngập}}{1000} \quad (4-32)$$

Với:  $q_{\text{tiêu}}$  - hệ số tiêu (l/s.ha);

$Q_{\text{mưa2}}$  - lưu lượng do mưa từ diện tích không ngập ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

#### 4.3.5 Tính toán thủy lực cho mạng lưới sông theo sơ đồ hiện

Từ hệ phương trình Saint – Venant:

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial S} + B \cdot \frac{\partial Z}{\partial t} &= q \\ -\frac{\partial Z}{\partial S} &= \frac{V \cdot |V|}{C^2 \cdot R} + \frac{\alpha_o}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g} \right)\end{aligned}$$

Khi số Forut  $Fr \ll 1$  có thể bỏ qua thành phần quán tính  $\frac{\partial}{\partial S} \left( \frac{\alpha \cdot V^2}{2 \cdot g} \right) = 0$ . Lúc đó hệ phương trình có dạng:

$$\begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial S} + B \cdot \frac{\partial Z}{\partial t} &= q \\ -\frac{\partial Z}{\partial S} &= \frac{V \cdot |V|}{C^2 \cdot R} + \frac{\alpha_o}{g} \frac{\partial V}{\partial t}\end{aligned}$$

Ứng dụng lược đồ sai phân bốn điểm hình tam giác ( sai phân hiện) ta có:

Vi phân theo thời gian :

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{F_{i,j+1} - F_{i,j}}{\Delta t}$$

Vi phân theo không gian :

$$\frac{\partial F}{\partial S} = \frac{F_{i+1,j} - F_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta S}$$

$$\frac{Q_{i+1,j} - Q_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta S} + B \cdot \frac{Z_{i,j+1} - Z_{i,j}}{\Delta t} = q$$

$$Z_{i,j+1} - Z_{i,j} = \frac{\Delta t}{B} q - \frac{\Delta t}{B} \frac{Q_{i+1,j} - Q_{i-1,j}}{2 \cdot \Delta S}$$

$$Z_{i,j+1} = Z_{i,j} + \frac{\Delta t}{B \cdot 2 \Delta S} q - \frac{\Delta t}{B \cdot 2 \Delta S} (Q_{i+1,j} - Q_{i-1,j})$$

$$Z_{i,j+1} = Z_{i,j} + \frac{\Delta t}{B \cdot 2 \Delta S} (Q_{i-1,j} - Q_{i+1,j} + q) \quad (4-33)$$

phương trình (4-33) mô tả mực nước cuối thời đoạn  $\Delta t$  tại mặt cắt thứ  $i$  là  $Z_{i,j+1}$  bằng mực nước đầu thời đoạn  $\Delta t$  là  $Z_{i,j}$  cộng với phần mực nước gia tăng do tổng lượng nước đi vào đoạn sông lớn hơn tổng lượng nước đi ra. Đoạn sông giới hạn bởi 2 mặt cắt  $(i-1)$  và  $(i+1)$  là mặt cắt  $i$ , mặt cắt giữa của đoạn sông và  $2\Delta S.B$  là diện tích mặt nước của đoạn sông.

Vì  $Z_{i,j+1}$  đã biết theo phương trình (4-33) nên phương trình động lực chuyển thành dạng sai phân theo sơ đồ tam giác ngược, chú ý đến cách lấy giá trị trung bình của thành phần  $\frac{V \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$  ta có:

$$V_{i,j+1} = V_{i,j} + \frac{J_{i,j+1} - \frac{V_{i,j} |V_{i,j}|}{C^2 R}}{\frac{\alpha_0}{g \cdot \Delta t} + \frac{|V_{i,j}|}{(C^2 \cdot R)_{i,j+1}}} \quad (4-34)$$

|       |            |  |            |            |  |
|-------|------------|--|------------|------------|--|
|       |            |  |            |            |  |
| J + 1 | $\Delta t$ |  |            |            |  |
| J     |            |  | $\Delta S$ | $\Delta S$ |  |

Biết mực nước cuối thời đoạn  $\Delta t$  là  $Z_{i,j+1}$ , tính được tốc độ  $V_{i,j+1}$  theo phương trình (4-34), sau đó tính ra lưu lượng cuối thời đoạn  $\Delta t$  theo công thức:

$$Q_{i,j+1} = V_{i,j+1} \omega_{i,j+1}$$

Sơ đồ ổn định khi bước thời gian tính toán  $\Delta t < \Delta t_{gh} = \inf \frac{\Delta S}{|\lambda|}$

$\lambda$  - tốc độ truyền sóng ảnh hưởng.

Nguyên tắc bao trùm toàn bộ chương trình tính thủy lực mạng sông theo sơ đồ sai phân hiện là nội suy bậc nhất. Mỗi đoạn sông giới hạn bằng hai mặt cắt liên tiếp. Các đoạn sông có thể nối với nhau theo kiểu sông:  $Q_{i,j+1} = V_{i,j+1} \omega_{i,j+1}$  hoặc theo kiểu đập tràn, cống...

Các đoạn sông không có lưu lượng chảy vào hoặc có một lưu lượng chảy vào gọi là nút loại một. Các đoạn có từ hai lưu lượng trở lên đổ vào gọi là nút loại hai

Cách tính toán theo sơ đồ này như sau:

- Tại thời điểm  $t = t_0$  đã biết mực nước  $Z$  ở tất cả các mặt cắt chắn và lưu lượng  $Q$  ở tất cả các mặt cắt lẻ (điều kiện đầu).

- Giả sử thời đoạn  $\Delta t$  đủ nhỏ để lưu lượng, vận tốc ở đầu thời đoạn đại diện cho cả thời đoạn  $\Delta t$ .

- Tính tổng lượng nhập vào nút loại hai (mặt cắt chắn), các nút loại một chỉ có một thành phần lượng nhập không cần tính.

- Tính mực nước  $Z$  và lưu lượng  $Q$  ở tất cả các biên mực nước và biên lưu lượng.

- Tính nội suy diện tích mặt thoáng của tất cả các đoạn sông chắn giữa hai mặt cắt lẻ ứng với mực nước  $Z$  tại đầu thời đoạn  $\Delta t$ .

- Tính mực nước ở tất cả các đoạn sông ở cuối thời đoạn  $\Delta t$  theo phương trình (4-33).

$$Z_{i,j+1} = Z_{i,j} + \frac{\Delta t}{B.2\Delta S} (Q_{i-1,j} - Q_{i+1,j} + q)$$

$$Z_{sau} = Z_{đầu} + \Delta Z \text{ với } \Delta Z = \frac{\Delta t.(Q_{vào} + Q_{nhập} - Q_{ra})}{2.B.\Delta S}$$

2.  $B.\Delta S$ : chính là diện tích mặt nước ứng với độ sâu  $Z$ .

Biết  $Z_{sau}$  ở các mặt cắt chắn, nội suy  $Z_{sau}$  ở các mặt cắt lẻ.

- Tính nội suy diện tích mặt cắt ướt và thành phần cân CR ở mỗi mặt cắt lẻ ứng với mực nước tính toán  $Z_{sau}$

- Tính lưu lượng qua các công trình ứng với mực nước cuối thời đoạn tính toán  $\Delta t$ .

- Tính lưu lượng qua tất cả các mặt cắt lẻ ở cuối thời đoạn tính toán  $\Delta t$ .

$$Q_{sau} = \omega_{sau} \times V_{sau}$$

Diện tích mặt cắt ướt  $\omega_{sau}$  đã được nội suy tính theo phương trình (4-34).

$$V_{i,j+1} = V_{i,j} + \frac{J_{i,j+1} - \frac{V_{i,j}|V_{i,j}|}{C^2 R}}{\frac{\alpha_0}{g.\Delta t} + \frac{|V_{i,j}|}{(C^2.R)_{i,j+1}}}$$

$$V_{sau} = V_{trước} + \Delta V.$$

Trong đó:  $\Delta V = f(J_{sau}, V_{trước}, CR)$ .

Quá trình lại được lặp lại để tính cho thời đoạn  $\Delta t$  thứ 2 rồi thứ 3... đến khi đủ 1 giờ hay 2 giờ định trước thì in kết quả và lại tiếp tục tính cho đến khi thời gian vượt quá số ngày cần tính toán định trước.

#### 4.4. TỔNG QUAN VỀ CÁC CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN THUYẾT LỰC

Hiện nay ở Việt Nam đang sử dụng nhiều phần mềm (Software) tính toán thủy lực mạng lưới sông khác nhau.

Trước những năm 1990 chương trình do các chuyên gia Việt Nam viết ra được dùng rộng rãi nhất là: VRSAP (Vietnam River System and Plain) do GS Nguyễn Như Khuê viết, và KOD do GS Nguyễn Ân Niên viết, ngoài ra còn một số chương trình khác nữa tính truyền mặn hoặc tính toán thiết kế kênh.

Chương trình VRSAP giải hệ phương trình Saint – Venant theo sơ đồ sai phân ẩn, chương trình KOD giải hệ phương trình Saint – Venant theo sơ đồ sai phân hiện. Cả hai chương trình này đều liên tục được bổ sung, hoàn thiện để tính toán cho mạng lưới sông, tính truyền lũ, tính truyền mặn và tính toán phục vụ quản lý vận hành hệ thống công trình thủy lợi.

Sau 1990 các phần mềm nhập từ nước ngoài thông qua các dự án tài trợ, hoặc tải miễn phí từ mạng Internet có: dòng mô hình MIKE (11, 21), UNET, CANALMAN, HEC-RAS... các phần mềm này đã thành sản phẩm thương mại nên có chung đặc điểm là giao diện rất đẹp, có nhiều tính năng, nhưng là phần mềm thương mại nên không có chương trình nguồn, chương trình cũng được nâng cấp hàng năm, nên người dùng phải luôn cập nhật thông tin để ứng dụng chương trình.

Trong các phần mềm kể trên thì phần mềm HEC-RAS có thể tải miễn phí từ mạng Internet, rất dễ ứng dụng tính toán cho mạng lưới sông đơn giản (không quá nhiều mặt cắt và cống, đập...). HEC-RAS được thiết kế để thực hiện các tính toán thủy lực một chiều cho toàn bộ một hệ thống sông tự nhiên và hệ thống kênh mương nhân tạo với ba chức năng sau :

- (1) Tính toán mực nước mặt cắt dọc kênh cho dòng ổn định;
- (2) Mô phỏng dòng không ổn định (phát triển mô hình UNET của Dr. Robert L. Barkau (Barkau, 1992 ), giải hệ phương trình Saint – Venant theo sơ đồ sai phân ẩn;
- (3) Tính toán vận chuyển bùn cát.

Điểm ưu việt của các mô hình thủy lực HEC-RAS và MIKE 11 là chúng được quản lý trong một cơ sở dữ liệu (ở HEC-RAS là DSS), cơ sở dữ liệu này có tính liên thông rất cao trong các phần mềm họ HEC trong đó có HEC-HMS là mô hình thủy văn có thể sử dụng để tính biên và nhập lưu khu giữa cho mô hình thủy lực. Trong 3 chức năng kể trên của mô hình HEC-RAS thì chức năng 3 tính toán vận chuyển bùn cát mới chỉ dừng lại ở mức rất đơn giản. Trong tương lai gần, chức năng này sẽ được hoàn thiện hơn.

## Chương 5

# MÔ HÌNH CHẤT LƯỢNG NƯỚC

### 5.1. MỞ ĐẦU

Hiện nay chất lượng nước đang là một vấn đề được đông đảo mọi người trên thế giới quan tâm nghiên cứu. Nước - nguồn tài nguyên trước kia được coi là vô tận, giờ đây đang cạn dần và bị ô nhiễm nặng nề.

Các nước đang phát triển có lượng nước dùng bình quân trên đầu người rất thấp. Theo tài liệu của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) khoảng 30% dân số thế giới còn đang thiếu nước ăn và hơn 35% không có đủ nước sạch. Cũng theo tài liệu của tổ chức này, số người mắc bệnh do chất lượng nước không tốt như sau:

|                  |                                         |
|------------------|-----------------------------------------|
| Bệnh đường ruột: | 400 triệu trường hợp trong một năm      |
| Bệnh giun chỉ:   | 200 triệu trường hợp trong một năm      |
| Bệnh sản mǎng:   | 200 triệu trường hợp trong một năm      |
| Bệnh sốt rét:    | 100 triệu trường hợp trong một năm      |
| Bệnh tả:         | 20 - 40 triệu trường hợp trong một năm. |

Trong các ngành dùng nước, nông nghiệp là ngành dùng nước nhiều nhất (80% lượng nước dùng trên toàn cầu).

Nước là một yêu cầu không thể thiếu đối với nông nghiệp. Muốn trồng một tấn hạt mǎu phải sử dụng 1000 tấn nước và để có được 2 tấn gạo cần phải có 2000 tấn nước.

Theo số liệu của Tổ chức Nông Lương Thế giới (FAO), tổng số diện tích được tưới trên toàn thế giới khoảng 223 triệu ha, trong đó 92 triệu ha ở các nước đang phát triển. Năm 1990 diện tích tưới là 273 triệu ha. Tính ra chỉ khoảng 15% đất canh tác được tưới.

Như vậy, lượng nước thì khan hiếm, chất lượng nước càng ngày càng suy giảm do các hoạt động phát triển của các ngành kinh tế. Do đó vấn đề nghiên cứu chất lượng nước và xử lý nước thải hơn bao giờ hết đã và đang được nhân loại quan tâm. Trong các hội nghị quốc tế, diễn đàn quốc tế và trong đời sống hàng ngày người ta đã phải chú ý đến vấn đề môi trường, đặc biệt là môi trường nước.

Để bảo vệ tài nguyên nước và kiểm soát được ô nhiễm nước, cần phải quản lý tổng hợp chất lượng nước trên cơ sở đánh giá chất lượng, kiểm soát các quá trình gây ô nhiễm, xử lý, cải thiện chất lượng nước. Muốn thực hiện điều này, trước hết cần phải có những hiểu biết thực sự về nguồn nước nói chung và chất lượng nước nói riêng trong đó việc nghiên cứu và ứng dụng các mô hình chất lượng nước có một ý nghĩa quan trọng.

Mô hình chất lượng nước thực chất là một nhánh của mô hình truyền chất (mô hình truyền chất gồm có mô hình chất lượng nước và mô hình vận chuyển bùn cát). Vì mô hình vận chuyển bùn cát đã được giới thiệu trong bài giảng chuyên đề Mô hình diễn biến của sông và bờ biển dành cho các học viên cao học Đại học Thủy lợi, nên chương này chúng tôi chỉ trình bày về mô hình chất lượng nước.

## 5.2. ĐẶC TÍNH CHUNG CỦA THỂ NƯỚC

Nước có thể được đặc trưng bởi ba đặc tính cơ bản: đặc tính thủy động, đặc tính lý hoá và đặc tính sinh học. Để đánh giá chất lượng nước một cách hoàn thiện nhất, chúng ta phải dựa trên kết quả quan trắc tỉ mỉ những đặc tính này.

### *a) Các đặc tính thủy động:*

Nước trên trái đất được liên kết với nhau từ khí quyển tới biển một cách tuần hoàn thông qua chu trình thủy văn. Do có tính luân chuyển như vậy nên các thành phần tính chất của nước biến đổi một cách từ từ khi nước chuyển từ nơi này qua nơi khác. Chúng ta chỉ xét đến thể nước ngọt trong lục địa tồn tại trên mặt (nước trong sông, hồ) và dưới đất. Nước trên lục địa liên kết với nhau một cách chặt chẽ, có thể tác động qua lại một cách trực tiếp hoặc gián tiếp thông qua môi trường trung gian. Nước trong sông, hồ và nước ngầm có những đặc tính thủy động riêng.

Nước sông được đặc trưng bởi hướng chảy của dòng nước và độ sâu tương đối của lớp nước với tốc độ trung bình trong sông tương đối lớn (thay đổi từ 0,1 m/s đến 2 - 3 m/s). Dòng chảy trong sông thay đổi liên tục theo thời gian và không gian. Sự xáo trộn hoàn toàn và liên tục theo chiều thẳng đứng trong sông đạt được nhờ các dòng đối lưu và dòng rối. Sự xáo trộn theo phương ngang thường xảy ra ở những đoạn sông tương đối rộng về phía hạ lưu của những hợp lưu chính.

Nước hồ được đặc trưng bởi tốc độ dòng chảy trung bình tương đối nhỏ từ 0,001 - 0,01 m/s. Do đó thành phần các chất lơ lửng và chất rắn hoà tan có thể tồn tại trong hồ từ vài tháng đến vài trăm năm và vì vậy nó có ảnh hưởng quyết định đến chất lượng nước. Dòng chảy trong hồ theo các hướng khác nhau. Sự phân tầng và xáo trộn theo phương thẳng đứng luân phiên với nhau theo chu kỳ phụ thuộc vào chế độ khí hậu và độ sâu của hồ.

Nước ngầm được đặc trưng bởi dòng chảy tương đối ổn định về cả hướng và tốc độ. Tốc độ trung bình từ  $10^{-10}$  đến  $10^{-3}$  m/s, chịu ảnh hưởng của các kẽ nứt hoặc các đứt gãy địa chất của tầng chứa nước và lượng nước bổ cập từ bên ngoài.

Do có sự thay đổi dòng chảy như vậy nên xuất hiện những khác biệt lớn về thời gian tồn tại của nước ở các thủy vực khác nhau.

Kích thước của thủy vực và điều kiện khí hậu của lưu vực là yếu tố quan trọng quyết định đến đặc tính thủy động của mỗi dạng nước. Với sông, yếu tố chủ đạo là chế độ thủy văn của chúng. Với hồ, thời gian tồn tại của nước trong hồ và chế độ nhiệt và những yếu tố quan trọng khác. Nước ngầm phần lớn phụ thuộc vào lượng nước trao đổi với nước mặt và lượng bổ cập từ mưa qua tầng đất không bão hoà.

#### *b) Các đặc tính lý hoá*

Điều kiện khí hậu, các đặc điểm địa chất, địa hình của lưu vực quyết định đến các đặc tính lý hoá riêng của mỗi loại nước. Các đặc tính lý hoá chung quan trọng có thể kể đến là: tổng các chất hoà tan, độ dẫn điện, khả năng ôxy hoá, nhiệt độ.

Hàm lượng chất khoáng xác định bởi tổng chất rắn hoà tan là một trong những đặc tính quan trọng của bất kỳ thể nước nào. Hàm lượng ôxy có tác dụng lớn tới các cơ thể sống và khả năng hoà tan kim loại. Hàm lượng chất hoà tan trong nước thay đổi theo thời gian chủ yếu là do tác động qua lại giữa thay đổi thủy động, khả năng hoà tan các chất khoáng và tốc độ các phản ứng sinh học.

#### Các đặc tính sinh học

Đặc tính sinh học của nước được mô tả theo hai nhóm chỉ tiêu:

- Các chỉ tiêu sinh học quan sát mô tả.
- Các chỉ tiêu vi khuẩn học.

Nhóm chỉ tiêu thứ nhất dùng để đặc trưng cho sinh vật lớn, phần lớn là các động vật sống trên bề mặt nước.

Nhóm chỉ tiêu thứ hai dùng để đánh giá mức độ ô nhiễm nước bởi nước thải sinh hoạt, thường sử dụng xác suất có mặt của tập đoàn vi khuẩn *ecoly* trong 100ml nước. Người ta cũng sử dụng chỉ tiêu này để quy định chỉ tiêu chuẩn vệ sinh của nước uống.

### 5.3. PHƯƠNG TRÌNH TRUYỀN CHẤT CƠ BẢN

Xét một thể tích yếu tố nước có các kích thước  $dx$ ,  $dy$  và  $dz$  (hình 5.1). Chất lượng nước trong thể tích yếu tố nước này phụ thuộc vào khối lượng của một chất nào đó hiện diện trong thể tích yếu tố. Mô hình chất lượng nước cần thể hiện sự thay đổi khối lượng của chất đó trong thể tích yếu tố nước. Sự thay đổi khối lượng chất này được tính toán bằng sự chênh lệch giữa dòng khối lượng nhập vào và xuất ra khỏi thể tích yếu tố, cũng xét tới



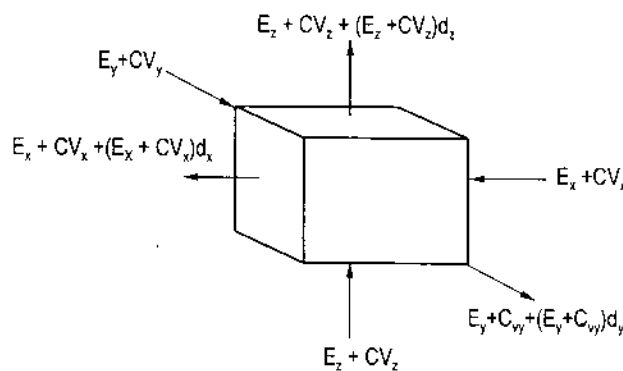
những tác động các nguồn nội tại và mất đi (sinks) (nếu có). Cơ chế của chuyển đổi khối lượng vào và ra của thể tích yếu tố bao gồm các quá trình sau:

- Khối lượng được dòng chảy vận chuyển theo các thành phần vectơ tốc độ  $V_x, V_y, V_z$ . Quá trình này được gọi là chuyển tải do tốc độ. Khối lượng chuyển tải có thể được tính toán theo phương  $x$  bằng  $C \times V_x \times dy \times dz$ , trong đó  $C$  là nồng độ của chất ta đang xét đến trong nước;

- Thành phần khác của chuyển động khối được gọi là chuyển tải phân tán. Ở đây cũng cần phải phân biệt rõ giữa thuật ngữ khuếch tán (Diffusion) và phân tán (Dispersion): phân tán là thuật ngữ được dùng cho tác động kết hợp của khuếch tán phân tử (molecular diffusion) và khuếch tán rối (turbulent diffusion), và cả hai quá trình này do mạch động gây ra. (theo luật Brown về khuếch tán phân tử và mạch động của tốc độ dòng chảy xung quanh giá trị trung bình của nó do chuyển động rối gây ra)

Chuyển tải phân tán ( $E_x, E_y, E_z$ ) có thứ nguyên là khối lượng trên thời gian trên diện tích ( $MT^{-1}L^{-2}$ ) và nó thường được biểu thị bằng định luật Fick: chuyển tải của một chất theo một phương nào đó tỷ lệ với gradient nồng độ của chất đó theo phương này. Hệ số tỷ lệ được gọi là hệ số khuếch tán.

Thành phần chuyển tải do tốc độ được biểu thị bằng tích giữa nồng độ của chất đang xét đến và tốc độ dòng chảy theo phương đang xét. Ví dụ xét theo phương  $X$  thì thành phần chuyển tải do tốc độ sẽ là  $C.V_x$  (thứ nguyên của thành phần này là  $[ML^{-2}T^{-1}]$ ).



**Hình 5.1:** Khối lượng vào và ra qua một thể tích yếu tố theo ba phương  $X, Y$  và  $Z$

Xét cân bằng khối lượng trong thể tích yếu tố (hình 5.1), theo định luật bảo toàn khối lượng ta có:

$$\frac{\partial C}{\partial t} dx dy dz = [(V_x C) + E_x] dy dz + [(V_y C) + E_y] dx dz + [(V_z C) + E_z] dx dy$$

$$- \{ (V_x C) + E_x + \frac{\partial}{\partial x} [(V_x C) + E_x] dx \} dy dz$$

$$\begin{aligned}
 & -\{(V_y C) + E_y + \frac{\partial}{\partial y}[(V_y C) + E_y]dy\}dxdz \\
 & -\{(V_z C) + E_z + \frac{\partial}{\partial z}[(V_z C) + E_z]dz\}dydx
 \end{aligned} \tag{5-1}$$

Trong đó:

$C$  - nồng độ chất ta đang xét (đơn vị thường dùng là mg/lít, thứ nguyên là  $[ML^{-3}]$ ;

$E_x, E_y, E_z$  - thành phần phân tán theo các phương  $x, y, z$  (thứ nguyên là  $[ML^{-3}]$ ). Thành phần này được tính theo định luật Fick, nó bao gồm cả thành phần khuếch tán phân tử và khuếch tán rối.

$V_x, V_y, V_z$  - thành phần tốc độ theo các phương  $x, y, z$  (thứ nguyên là  $[LT^{-1}]$ ).

$dx, dy, dz$  - độ dài vi phân theo các phương  $x, y, z$  của thể tích yếu tố (xem Hình 5.1).

Ngoài hai thành phần chuyển tải tốc độ và phân tán, quá trình thay đổi nồng độ còn bao gồm các quá trình biến đổi do tác động của các quá trình vật lý, hoá học, sinh hoá và sinh học. Các quá trình này có thể làm giảm hay làm mất đi thành phần chất ta đang xét ví dụ như lắng đọng, phân rã hoá học, sinh hoá, sự hấp thụ của sinh vật hay phản ứng sinh hoá, sự sinh trưởng của vi sinh vật v.v.. Có thể phân loại các thành phần thay đổi này làm hai loại: thay đổi bên trong và thay đổi bên ngoài yếu tố thể tích ta đang xét. Như vậy phương trình cơ bản biểu thị sự biến đổi của nồng độ viết cho một thể tích yếu tố dưới tác động của chuyển tải tốc độ, phân tán, biến đổi bên trong và bên ngoài có thể biểu diễn như sau:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial C}{\partial t} = & -V_x \frac{\partial C}{\partial x} - V_y \frac{\partial C}{\partial y} - V_z \frac{\partial C}{\partial z} + \\
 & + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S_n + S_t
 \end{aligned} \tag{5-2}$$

Trong đó:  $C$  - nồng độ chất đang xét;

$D_x, D_y, D_z$  - hệ số phân tán theo các phương  $x, y, z$ ;

$V_x, V_y, V_z$  - thành phần tốc độ theo các phương  $x, y, z$

$S_n, S_t$  - tương ứng là thành phần thay đổi bên ngoài và bên trong yếu tố thể tích ta đang xét.

#### 5.4. MÔ HÌNH CHẤT LƯỢNG NƯỚC ĐƠN GIẢN NHẤT

Mô hình chất lượng nước ba chiều cơ bản rất ít khi được sử dụng dưới dạng phức tạp nguyên dạng của nó (phương trình 5-2), do các bài toán ba chiều ít khi xuất hiện trong thực

tế. Ví dụ các bài toán trong sông thường có thể được giảm thành bài toán một chiều hay bài toán hai chiều. Một trong những lý do dùng các mô hình đơn giản hoá là số liệu đo tốc độ theo hướng ngang và thẳng đứng rất hiếm.

Các số hạng nguồn bên trong cũng cần phải được xác định cụ thể đối với từng bài toán một cách rõ ràng và chúng biến đổi với các thành phần xem xét.

Để có được mô hình chất lượng nước đơn giản nhất, chúng ta phải có một số những giả thiết cơ bản như sau:

a) Về thời gian, bỏ qua tất cả các số hạng tính đến phân tán. Với điều này, chúng ta giả thiết rằng hệ thống được pha trộn hoàn toàn, nó có nghĩa rằng bất kỳ một tải lượng từ bên ngoài vào trong sông sẽ bị pha trộn hoàn toàn và ngay lập tức. Điều này là một giả định gần đúng rất sơ bộ. Tất nhiên, những ảnh hưởng do giả thiết này chúng ta sẽ thảo luận sau khi giả quyết các bài toán phân tán và pha trộn. Tuy nhiên, việc giả thiết gần đúng này có thể áp dụng cho những trường hợp sông nhỏ có dòng chảy xả vào sông ổn định liên tục.

b) Xét trong trường hợp sông và dòng thái trong điều kiện ổn định (dòng chảy không thay đổi theo thời gian), nồng độ ban đầu  $C_0$  hạ lưu của điểm xả có thể được mô tả bằng phương trình pha loãng (1-3) dưới đây:

$$C_0 = \frac{C_x q_x + C_s Q_s}{q_x + Q_s} \quad (5-3)$$

Trong đó:  $C_s$  - nồng độ của chất gây ô nhiễm trong sông (mg/l);

$C_x$  - nồng độ của chất gây ô nhiễm trong nguồn xả (mg/l);

$Q_s$  - lưu lượng nước sông ( $m^3/s$ );

$q_x$  - lưu lượng nguồn xả ( $m^3/s$ ).

Trung bình hoá dòng chảy và nồng độ trên toàn mặt cắt ngang, phương trình (5-2) đơn giản hoá thành phương trình (5-4) dưới đây, trong đó  $v$  là tốc độ trung bình dòng chảy dọc theo sông:

$$v \frac{dC}{dx} = \pm S_t \quad (5-4)$$

Dùng khái niệm “thời gian di chuyển”  $t = x/v$  và giả thiết quá trình phân huỷ hay phân rã tuân theo quy luật hàm bậc nhất, ta có phương trình:

$$\frac{dC}{dt} = -K.C \quad (5-5)$$

Phương trình này phát biểu rằng sự phân huỷ, phân rã của chất gây ô nhiễm tỷ lệ với nồng độ chất gây ô nhiễm và hệ số tỷ lệ  $K$  được gọi là hệ số mức độ phân rã.

Giải phương trình (5-5) với điều kiện ban đầu ( $C = C_0$  tại  $x = x_0, t = t_0$ ) ta nhận được:

$$C = C_0 e^{-Kt} \quad (5-6)$$

### 5.5. CÁC MÔ HÌNH PHẢN ỨNG SONG ĐÔI

Các quá trình hoá học, sinh học hay sinh hoá ít khi xuất hiện đơn độc mà thường xuất hiện cùng nhau. Nếu chúng ta xem xét một tình huống quá trình như vậy, theo cách khái quát hoá, giả thiết rằng sản phẩm của một quá trình phân huỷ/phân rã của một thành phần chất lượng nước ( $C_1$ ) là thành phần chất lượng nước khác ( $C_2$ ), thành phần này chịu sự phân huỷ/phân rã tiếp, chúng ta có thể biểu diễn các quá trình này dưới dạng:

$$\frac{dC_1}{dt} = -K_1 C_1 \quad (5-7)$$

$$\frac{dC_2}{dt} = K_1 C_1 - K_2 C_2 \quad (5-8)$$

Trong đó:

$K_1$  - hệ số biểu thị mức độ phân huỷ sinh hoá của chất hữu cơ [ $T^{-1}$ ];

$K_2$  - hệ số biểu thị mức độ thoát khí trở lại (hấp thụ khí) [ $T^{-1}$ ];

$t$  - thời gian.

Hệ phương trình vi phân (5-7), (5-8) có thể được giải với các điều kiện ban đầu  $C_1 = C_{1,0}$  và  $C_2 = C_{2,0}$  tại  $x = 0, (t = t_0)$ , ta nhận được:

$$C_1 = C_{1,0} e^{-K_1 t} \quad (5-9)$$

$$C_2 = \frac{K_1 C_{1,0}}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + C_{2,0} e^{-K_2 t} \quad (5-10)$$

Trong đó:

$C_1$  và  $C_2$  - nồng độ của các thành phần chất lượng nước tác động qua lại (sản phẩm của quá trình phân huỷ  $C_1$  là  $C_2$ , chất này sau đó lại bị phân huỷ tiếp);

$C_{1,0}$  và  $C_{2,0}$  - nồng độ ban đầu của thành phần chất lượng nước nói trên;

$K_1$  và  $K_2$  - các hệ số biểu thị mức độ phản ứng của các quá trình trên;

$t$  - thời gian;

$x$  - khoảng cách

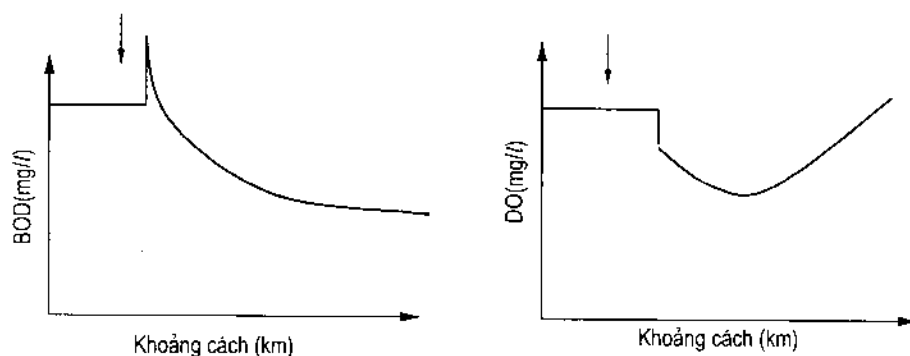
### 5.6. MÔ HÌNH STREETER-PHELP

Năm 1925 khi nghiên cứu ô nhiễm nước của sông Ohio, Streeter-Phelp đã quan sát thấy hàm lượng BOD đo được tại các điểm kế tiếp nhau dọc sông Ohio, trong quá trình có thải nước ra, chủ yếu giảm xuống như một hàm của quãng đường đi hay thời gian chuyển động.

Do đó, chỉ số BOD có thể ước tính được bằng cách sử dụng mối quan hệ toán học đơn giản dựa vào thời gian và hệ số loại oxy. Giả định cơ bản trong phương trình Streeter-Phelp là BOD và DO đủ để mô tả quá trình sinh hoá của ô nhiễm nước.

Mô hình cơ bản dựa vào phương trình này sẽ giúp cho việc tính toán hàm lượng BOD và DO hay lượng thiếu hụt của chúng như là kết quả của việc thải các chất thải có thể bị phân huỷ bằng vi sinh vật vào trong các thủy vực

Xét sự thay đổi của BOD và DO dọc theo dòng chảy ta thấy (hình 5.2).



**Hình 5.2:** Sự biến đổi của BOD và DO dọc theo dòng chảy

Bắt đầu từ điểm xả và xuôi theo dòng về bên phải, chỉ số DO giảm xuống do xuất hiện quá trình loại oxy với cường độ cao hơn cường độ hấp thụ oxy. Cường độ loại oxy giảm xuống vì BOD giảm xuống theo thời gian và cường độ hấp thụ oxy tăng lên tương ứng với chiều hướng tăng lên của độ thiếu hụt oxy. Khi hai cường độ này bằng nhau, mức độ DO đạt đến mức thấp nhất (điểm cực tiểu). Từ điểm này trở đi, cường độ hấp thụ vượt quá cường độ loại oxy và chỉ số oxy hoà tan (DO) dần dần khôi phục lại mức ban đầu. Như vậy, cần có sự cân bằng hợp lý giữa lợi ích và chi phí cho việc xử lý chất thải để giảm hàm lượng BOD. Hàm lượng BOD quá cao sẽ làm giảm chỉ số DO xuống trị số 0 và làm cho các điều kiện về nhiễm khuẩn và gây thối tăng lên. Trong khi đó, việc giảm chỉ số BOD xuống quá nhiều sẽ rất tốn kém. Lượng BOD vừa phải kết hợp với xử lý nước thải ở mức độ thích hợp sẽ mang lại hiệu quả kinh tế cao.

Hệ phương trình cơ bản của Streeter-Phelp:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L \quad (5-11)$$

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 D \quad (5-12)$$

Trong đó:  $L$  - nhu cầu oxy sinh hoá (BOD) (mg/l);

$D$  - độ thiếu hụt oxy (mg/l);

$K_1$  - hệ số loại oxy (1/ngày);

$K_2$  - hệ số hấp thụ oxy (1/ngày).

Từ phương trình trên ta thấy hàm lượng BOD phụ thuộc vào tốc độ dòng chảy và hệ số loại oxy ( $K_1$ ). Còn hàm lượng DO phụ thuộc vào tốc độ dòng chảy, hệ số loại oxy  $K_1$  và hệ số hấp thụ oxy  $K_2$ . Như vậy hàm lượng DO và BOD phụ thuộc vào thời gian biến đổi theo chiều dòng chảy. Dưới tác động của các yếu tố môi trường hai hệ số  $K_1$ ,  $K_2$  cũng thay đổi theo không gian và thời gian. Do đó để có thể mô phỏng được hàm lượng DO và BOD theo chiều dòng chảy ta phải xét đến tác động của các yếu tố môi trường và phải có các kết quả tính toán của mô hình thủy lực theo các bước thời gian.

#### *Lời giải của mô hình Streeter Phelp*

Streeter Phelp đã mô tả trạng thái oxy hoà tan và nhu cầu oxy sinh hoá trong dòng chảy bằng các phương trình sau:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L \quad (5-13)$$

$$\frac{dC}{dt} = K_2 (C_s - C) - K_1 L \quad (5-14)$$

Nếu độ thiếu hụt  $D$  được xác định bằng  $(C_s - C)$  thì  $C = (C_s - D)$  thay vào (5-14) ta có:

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 D \quad (5-15)$$

Giải hệ phương trình trên với điều kiện dòng chảy ổn định ta có lời giải sau:

$$L_x = L_0 \exp \left[ -K_1 \left( \frac{X}{U} \right) \right] \quad (5-16)$$

$$D_x = L_0 \exp \left[ -K_2 \left( \frac{X}{U} \right) \right] + L_0 \frac{K_1}{K_2 - K_1} \left[ \exp - K_1 \left( \frac{X}{U} \right) - \exp \left( -K_2 \frac{X}{U} \right) \right] \quad (5-17)$$

Trong đó:  $L_0$ ,  $D_0$  - giá trị ban đầu của BOD và DO tại vị trí  $X = 0$ ;

$L_x$ ,  $D_x$  - các giá trị BOD và DO tại khoảng cách  $X$  kể từ nguồn.

Để có thể xác định được hàm lượng DO và BOD tại một vị trí bất kỳ cần phải biết hàm lượng DO và BOD tại điểm nguồn hoặc điểm ta coi là nguồn, tốc độ dòng chảy tại vị trí tính toán và cũng cần phải xác định các thông số  $K_1$  và  $K_2$  của mô hình.

## 5.7. MÔ HÌNH QUAL2E

### 5.7.1 Giới thiệu mô hình QUAL2E

QUAL2E là một mô hình chất lượng nước trong sông. Nó có thể mô phỏng tới 15 thành phần bất kỳ trong một tổ hợp nào đó do người sử dụng đề ra. Các thành phần được mô phỏng là:

1. Ôxy hoà tan DO
2. Nhu cầu ôxy sinh hoá BOD
3. Nhiệt độ
4. Tảo mô phỏng như điệp lục  $\alpha$
5. Nitơ mô phỏng như N
6. Amonia mô phỏng như N
7. Nitrate mô phỏng như N
8. Photpho hữu cơ mô phỏng như P
9. Photpho hoà tan mô phỏng như P
10. Coliform
11. Thành phần chất không bão hoà
12. Ba thành phần chất bão toàn

Mô hình có khả năng áp dụng được cho các dòng chảy pha trộn hoàn toàn. Mô hình giả thiết rằng, cơ chế chuyển tải chủ yếu là: đối lưu và phân tán. Mô hình cho phép có các gia nhập nước thải hay xuất lưu, các sông nhánh và các gia nhập khu giữa. Mô hình này cũng có khả năng tính lưu lượng pha loãng cần thiết khi tăng lưu lượng dòng chảy để đáp ứng được bất kỳ mức độ ôxy hoà tan xác định nào đó.

Về mặt thủy lực, QUAL2E chỉ giới hạn mô phỏng trong thời kỳ cả lưu lượng nước sông trong lưu vực và lưu lượng thải nhập lưu hầu như không đổi. QUAL2E có thể chạy trong trường hợp dòng chảy ổn định hay động lực, chính vì thế nó là một công cụ đắc lực cho quy hoạch chất lượng nước. Khi chạy trong trường hợp dòng chảy ổn định, mô hình có thể được sử dụng để nghiên cứu tác động của nước thải (bao gồm chất, lượng và vị trí) đối với chất lượng nước trong sông và nó có thể được sử dụng trong chương trình lấy mẫu ngoài thực địa để xác định các nguồn nước thải không phải là nguồn điểm. Bằng cách chạy mô hình động lực, người sử dụng có thể nghiên cứu những ảnh hưởng biến động trong ngày của các số liệu khí tượng đối với chất lượng nước (trước hết là đối với ôxy hoà tan và nhiệt độ) và nghiên cứu sự biến động ôxy hoà tan trong ngày do sự sinh trưởng và hô hấp của tảo. Tuy nhiên, những ảnh hưởng của các hàm động lực bắt buộc có, lưu lượng nước ở đầu nguồn hay lượng nước nhập lưu tại các điểm không thể mô phỏng được trong QUAL2E.

QUAL2E- UNCAS là một sự nâng cấp gần đây đối với QUAL2E, nó cho phép người sử dụng thực hiện các phân tích không chắc chắn đối với các mô phỏng chất lượng nước trong trạng thái chảy ổn định. Có 3 phương pháp về phân tích tính không chắc chắn:

- Phân tích độ nhạy
- Phân tích sai số bậc nhất
- Các mô phỏng Monte Carlo

Với khả năng này, người sử dụng có thể đánh giá ảnh hưởng của độ nhạy mô hình và của số liệu nhập vào không chính xác khi dùng mô hình dự báo. Các định lượng của phân tích không chắc chắn trong mô hình dự báo sẽ cho phép đánh giá rủi ro của các chất lượng nước có thể thay đổi trên hay dưới mức có thể chấp nhận được. Phương pháp luận về phân tích không chắc chắn đã trở nên rất cần thiết cho mô hình hoá chất lượng nước khi ước tính dự báo. Việc ước lượng các hệ số đầu vào - có ảnh hưởng nhất đến mức độ không chắc chắn sẽ giúp người sử dụng tập trung vào các số liệu cần thiết nhất trong thu thập và nghiên cứu. Theo cách này, mô hình cũng có thể đánh giá rủi ro của các dự báo không chính xác và các biện pháp cần thiết để giảm bớt sự không chính xác này.

### 5.7.2. Các công thức tổng quát dùng trong mô hình

Mục tiêu chính của bất kỳ việc áp dụng mô hình toán chất lượng nước trong sông là tạo ra một công cụ có khả năng mô phỏng trạng thái của các thành phần thủy văn, thủy lực và chất lượng nước trong hệ thống sông ngòi. Sự phát triển công cụ này nhằm mô phỏng nguyên hình bằng cách sử dụng mô hình toán trên máy tính điện tử thông qua 3 giai đoạn chính như sau:

1. Biểu thị nhận thức
2. Biểu thị hàm số
3. Biểu thị tính toán

Các giai đoạn được trình bày cụ thể như sau:

#### *Biểu thị nhận thức*

Đoạn sông được phân chia thành một số các đoạn nhỏ (gọi là các đoạn yếu tố) với độ dài là  $\Delta X$ . Đối với từng đoạn yếu tố này, có thể viết cân bằng nước thông qua lưu lượng qua mặt cắt thượng lưu của đoạn yếu tố  $Q_{i-1}$ , lưu lượng nhập lưu hay xuất lưu  $Q_{xi}$  và lưu lượng chảy ra  $Q_i$  khỏi mặt cắt hạ lưu của đoạn yếu tố.

Tương tự như vậy ta có thể viết cân bằng cho bất kỳ thành phần vật chất nào có trong đoạn yếu tố.

Trong cân bằng vật chất chúng ta coi cả chuyển tải do tốc độ (Q.C) và phân tán do chênh lệch nồng độ ( $\Delta D_c/\Delta X$ ) như sự chuyển động của khối theo trục dòng chảy. Khối



lượng có thể được đưa vào hoặc mất đi khỏi hệ thống thông qua các nguồn bên ngoài và chảy ra ( $Q_x C_x$ ) và thêm vào hay mất đi qua các nguồn nội tại hoặc lắng chìm xuống ( $S_i$ ) ví dụ như nguồn sinh vật đáy và sự biến đổi sinh học. Trong mỗi một yếu tố tính toán, nước được coi là pha trộn hoàn toàn.

Như vậy, dòng chảy có thể được nhận thức như một chuỗi các lò phản ứng pha trộn hoàn toàn được liên kết với nhau theo một trật tự nhất định thông qua cơ thể chuyển tải và phân tán. Nhóm nối tiếp những lò phản ứng đó có thể được xác định như các đoạn sông trong đó các đoạn yếu tố tính toán có đặc trưng thủy văn tương tự ví dụ như: độ dốc dòng chảy, mặt cắt ngang kênh, độ nhám... và các hằng số về sinh vật được coi như không đổi, ví dụ như: tốc độ suy giảm BOD, mức độ phát triển nguồn sinh vật đáy, mức độ tảo ở đáy.

### *Biểu thị hàm số*

#### a. Phương trình chuyển tải

Phương trình cơ bản được giải quyết trong QUAL2E là phương trình chuyển tải, khuếch tán một chiều, được giải trong một không gian thời gian đối với từng thành phần chất lượng nước. Phương trình này xét tới ảnh hưởng của đối lưu, phân tán, pha loãng, phản ứng của các thành phần, tác động qua lại, các nguồn và lắng chìm đáy.

Với bất kỳ thành phần nào có nồng độ  $C$ , phương trình này có thể được viết là:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial (A_x D_l \frac{\partial C}{\partial x})}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_x \bar{u} C)}{\partial x} dx + (A_x dx) \frac{dC}{dt} + s \quad (5-18)$$

Trong đó:  $M$  - khối lượng;

$X$  - khoảng cách;

$t$  - thời gian;

$C$  - nồng độ;

$A_x$  - diện tích mặt cắt ngang;

$D_l$  - hệ số phân tán;

$\bar{u}$  - vận tốc trung bình;

$S$  - nguồn ngoài hoặc lắng chìm đáy.

Bởi vì  $M = V.C$  ta có thể viết:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial (VC)}{\partial t} = V \frac{\partial C}{\partial t} + C \frac{\partial V}{\partial t} \quad (5-19)$$

Trong đó:  $V = A_x.Dx$  = thể tích gia tăng (số gia thể tích).

Nếu chúng ta giả thiết chế độ dòng chảy là ổn định.

Tức là sự biến thiên của Q, V theo thời gian là bằng không và phương trình (5-19) trở thành:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = V \frac{\partial C}{\partial t} \quad (5-20)$$

Kết hợp phương trình (5-18) và (5-20) và sắp xếp lại ta có:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial(A_x u C)}{A_x \partial x} \cdot \frac{dC}{dt} + \frac{s}{V} \quad (5-21)$$

Các số hạng vế phải của phương trình tương ứng là: phân tán, đối lưu, thay đổi thành phần chất lượng nước, các nguồn ngoài, lắng chìm đáy và pha loãng.

Trong trường hợp trạng thái chảy là ổn định, đạo hàm riêng theo thời gian bằng 0. Những thay đổi xảy ra với từng phần riêng biệt hoặc những phần tử độc lập với đối lưu, phân tán và chất thải đưa vào được xác định bằng số hạng điều kiện.

Những sự thay đổi này bao gồm các phản ứng vật lý, hoá học, sinh học và những ảnh hưởng do sự tương tác lẫn nhau xảy ra trong dòng chảy. Ví dụ như: sự hấp thụ oxy, sự hô hấp và quang hợp của tảo, sự phát triển và diệt vong của Coliform.

#### b. Sơ đồ sai phân hữu hạn

Phương trình (5-21) có thể được viết dưới dạng sai phân hữu hạn theo hai bước.

Bước thứ nhất, các số hạng đối lưu và khuếch tán được lấy sai phân theo chiều dòng chảy X:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \frac{(AD_L \frac{\partial C}{\partial x})_i - (AD_L \frac{\partial C}{\partial x})_{i-1}}{V_i} - \frac{(AuC)_i - (AuC)_{i-1}}{V_i} + \frac{dC_i}{dt} + \frac{S_i}{V_i} \quad (5-22)$$

Trong đó:  $V_i = A_i \Delta x_i$

Bước thứ hai, biểu thị các đạo hàm theo không gian của số hạng khuếch tán dưới dạng sai phân và đạo hàm theo thời gian của C dưới dạng sai phân.

$$\begin{aligned} \frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} = & \frac{[(AD_L)_i]C_{i+1}^{n+1} - [(AD_L)_i]C_i^{n+1}}{V_i \Delta x_i} - \frac{[(AD_L)_{i-1}]C_i^{n+1} - [(AD_L)]C_{i+1}^{n+1}}{V_i \Delta x_i} \\ & - \left( \frac{Q_i C_i^{n+1} - Q_{i+1} C_{i+1}^{n+1}}{V_i} \right) + r_i C_i^{n+1} + P_i + \frac{S_i}{V_i} \end{aligned} \quad (5-23)$$

Trong phương trình trên, số hạng  $dC/dt$  được biểu thị thành:

$$\frac{dC_i}{dt} = r_i C_i^{n+1} + P_i \quad (5-24)$$

Trong đó:  $r_i$  - hằng số tỷ lệ bậc nhất.

$P_i$  - các nguồn gia nhập nội tại hoặc nguồn lắng chìm (tức là các tổn thất về chất dinh dưỡng do sự phát triển tảo và nguồn dưới đáy).

Sau khi biến đổi ta có phương trình cuối cùng có dạng

$$a_i C_{i-1}^{n+1} + b_i C_i^{n+1} + c_i C_{i+1}^{n+1} = Z_i \quad (5-25)$$

Hệ phương trình trên có dạng ma trận hệ số nằm trên ba đường chéo chính. Có thể sử dụng thuật toán khử đuôi để giải hệ phương trình đại số tuyến tính này.

Điều kiện biên sử dụng trong mô hình:

- Biên trên: Nồng độ của nguồn nước vào từ biên trên là không đổi
- Biên dưới: Có hai phương án về điều kiện dưới

Giả thiết chênh lệch nồng độ giữa hai mặt cắt kề sát nhau ở đoạn cuối bằng không

Nồng độ ở mặt cắt cuối cùng không đổi

*Đặc trưng thủy lực*

QUAL2E giả thiết rằng chế độ dòng chảy ổn định.

Tức là: 
$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad (5-26)$$

Bởi vậy, sự cân bằng thủy văn đối với một đoạn yếu tố tính toán nào đó có thể viết một cách đơn giản như sau

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = Q_x \quad (5-27)$$

Trong đó:  $Q_x$  là tổng của các dòng chảy vào hoặc chảy ra từ đoạn yếu tố thứ  $i$ . Các hệ số lưu lượng.

Khi phương trình (5-27) được giải cho  $Q$ , các đặc trưng thủy lực khác của từng đoạn sông có thể xác định bằng những phương trình như:

$$U = aQb \quad (5-28)$$

$$Ax = Q/U \quad (5-29)$$

$$d = \alpha Q^\beta \quad (5-30)$$

Trong đó:  $a, b, \alpha, \beta$  là các hằng số kinh nghiệm và  $d$  là độ sâu dòng chảy. Những hằng số này thường có thể xác định từ đường quan hệ lưu lượng ~ mực nước.

### *Mặt cắt ngang dạng hình thang*

Nếu đặc trưng mặt cắt ngang thuộc đoạn sông là một hàm của độ sâu  $d$ ,  $U$  có thể coi là hàm số của lưu lượng và bằng phương pháp thử sai để tìm nghiệm theo phương trình Manning:

$$Q = \frac{1,486}{n} A_x R_x^{2/3} Se^{1/2} \quad (5-31)$$

Trong đó:  $A_x$  - diện tích mặt cắt ngang ra của kênh hoặc sông ( $ft^2$ );

$R_x$  - bán kính thủy lực trung bình ( $ft$ );

$n$  - hệ số nhám Manning (0,01- 0,1);

$Se$  - độ dốc đường mặt nước (không thứ nguyên);

$Q$  - lưu lượng.

### *Phân tán theo chiều dòng chảy*

Về cơ bản, phân tán là một cơ chế chuyển tải đối lưu. Thuật ngữ phân tán thường dùng liên quan tới sự biến thiên tốc độ trung bình theo không gian, đối lập với sự khuếch tán được dùng cho di chuyển chủ yếu do mạch động của tốc độ dòng chảy theo thời gian.

Taylor (1956) đưa ra phương trình ước tính hệ số phân tán theo chiều dòng chảy,  $DL$ , trong đường ống thẳng dài:

$$DL = 10r_0 U^* \quad (ft^2/sec) \quad (5-32)$$

Trong đó:  $r_0$  - bán kính ống;

$U^*$  - tốc độ ứng suất tiếp trung bình được tính theo công thức:

$$U^* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (5-33)$$

Với  $\tau_0$  - ứng suất tiếp ( $Tb/ft^2$ );

$\rho$  - mật độ chất lỏng ( $Tb-sec/ft^4$ ).

Một vài nhà nghiên cứu đã cố gắng áp dụng biểu thức của Taylor đối với dòng chảy sông ngòi. Những áp dụng này chỉ là gần đúng, bởi sai khác về hình học hoặc tốc độ trong dòng chảy sông ngòi và dòng chảy trong ống.

Elder(1959) đã giả thiết rằng chỉ có gradient tốc độ theo phương thẳng đứng là quan trọng trong dòng chảy sông ngòi và ông phát triển một công thức tính khác tương tự như công thức Taylor:

$$DL = KdU^* \quad (5-34)$$

Và cuối cùng người ta đã đưa ra công thức tính như sau:

$$DL = 3,28 K n U d^{5/6} \quad (5-35)$$

**Bảng 5.1: Các giá trị của hệ số nhám Manning n**

| Kênh nhân tạo                             | n              |
|-------------------------------------------|----------------|
| Thủy tinh, nhựa, kim loại máy             | 0,01           |
| Gỗ bọc, mái nổi phẳng                     | 0,011          |
| Gỗ răng cưa, mái nổi không phẳng          | 0,014          |
| Bê tông bọc nhựa                          | 0,011          |
| Bê tông, cốt thép                         | 0,012          |
| Bê tông, gỗ được sắp xếp chưa hoàn chỉnh  | 0,014          |
| Bê tông phun không gia công               | 0,015 - 0,017  |
| Xây bằng gạch hoặc trát ngoài             | 0,014          |
| Đá xây                                    | 0,017          |
| Đất nhẵn không có cỏ dại                  | 0,02           |
| Đất có đá và cỏ                           | 0,025          |
| Sông thiên nhiên                          | n              |
| Sạch và thẳng                             | 0,025 - 0,03   |
| Uốn khúc, nhiều vực và nông               | 0,033 - 0,04   |
| Nhiều cỏ, uốn khúc và cỏ mọc tràn che kín | 0,075 - 0,15   |
| Kênh thẳng sạch có phù sa                 | $0,131d^{1/6}$ |

Trong đó: DL - hệ số độ phân tán theo chiều dòng chảy;  
 K - hằng số phân tán (không thứ nguyên);  
 N - hệ số nhám của Manning( không thứ nguyên);  
 $\bar{U}$  - tốc độ trung bình (ft/s);  
 d - độ sâu trung bình (ft).

#### *Tăng lưu lượng dòng chảy*

Khi nồng độ DO trong dòng chảy giảm dưới mức độ nào đó so với yêu cầu, ví dụ như tiêu chuẩn chất lượng nước của nhà nước đối với DO, cần phải tăng lưu lượng DO trung bình lên thì cần phải tăng thêm lưu lượng của dòng chảy.

Theo các nhà nghiên cứu về tăng lưu lượng trong mô hình QUAL2E thì lượng dòng chảy cần thiết cho việc đưa nồng độ DO tới mức tiêu chuẩn yêu cầu nói trên không thể tính

theo một quan hệ hàm số chính xác nào đó mà chỉ sử dụng quan hệ gần đúng và nó có dạng phương trình bậc 2 như sau:

$$DOR = DOT - DO_{\min} \quad (5-36)$$

$$\text{Và:} \quad Q_R = Q_c \left[ \frac{DO_R}{DO_D} + 0.15 \left( \frac{DO_R}{DO_D} \right)^2 \right] \quad (5-37)$$

Trong đó:  $DOR$  - nồng độ hoà tan ôxy yêu cầu cần đáp ứng mục tiêu (mg/l);

$DOT$  - mức mục tiêu yêu cầu của  $DO$  (mg/l);

$DO_{\min}$  - nồng độ  $DO$  nhỏ nhất trong đường triết giảm ôxy (mg/l);

$Q_R$  - lượng gia tăng lưu lượng yêu cầu ( $\text{ft}^3/\text{s}$ );

$Q_c$  - lưu lượng tại điểm tới hạn trên đường triết giảm ôxy ( $\text{ft}^3/\text{s}$ ).

Trong chương trình tính, lưu lượng dòng chảy sẽ được gia tăng bằng so sánh đầu tiên, sau khi đã đạt được các trạng thái ổn định, nồng độ  $DO$  mục tiêu xác định từ trước đối với từng đoạn sông. Nếu nồng độ  $DO$  tính toán nhỏ hơn mức yêu cầu, chương trình tính sẽ tìm các nguồn ở thượng lưu để người sử dụng xác định độ loãng và lượng nước thêm vào một cách đồng đều từ tất cả các nguồn này. Lượng  $DO$  tính toán lặp lại, quá trình này tiếp tục cho đến khi  $DO$  đạt mức yêu cầu thì thôi.

### 5.7.3 Các phản ứng và quan hệ tương tác

Một trong những nghiên cứu quan trọng nhất trong việc xác định khả năng đồng hoá chất thải của dòng chảy là khả năng của nó duy trì nồng độ lượng ôxy hoà tan thích hợp. Nồng độ ôxy hoà tan trong dòng chảy bị khống chế bởi sự hấp thụ từ khí quyển, sự quang hợp, sự hô hấp của thực vật và động vật, nhu cầu sinh vật đáy, nhu cầu ôxy sinh hoá, sự nitơ hoá, độ mặn, nhiệt độ và một số yếu tố khác.

Cân bằng ôxy chính xác nhất có thể xem xét tất cả các yếu tố đáng kể. Mô hình QUAL2E bao gồm các tác động qua lại của chu trình dinh dưỡng, sản xuất tảo, nhu cầu ôxy sinh vật đáy, thu nhận cacbonic, hấp thụ ôxy từ khí quyển và ảnh hưởng của chúng đến trạng thái ôxy hoà tan. Các mối quan hệ toán học mô tả các phản ứng riêng lẻ và các tác động qua lại có trong mô hình được trình bày tóm tắt như sau:

*Chất diệp lục chlorophyll<sub>a</sub>*

Mức độ hô hấp của tảo

Trong QUAL2E thông số mức độ hô hấp đơn lẻ được sử dụng tính gần đúng cho 3 quá trình:

- Hô hấp nội sinh của tảo
- Chuyển đổi của photpho tảo thành photpho hữu cơ

- Chuyển đổi của nitơ tảo thành nitơ hữu cơ:

Mức độ sinh trưởng đơn vị của tảo

Mối quan hệ ánh sáng và tảo

Các yếu tố xét đến như:

Hàm ánh sáng

Các phương án trung bình hoá ánh sáng

Tự điều chỉnh độ cao của tảo

Mối quan hệ dinh dưỡng ~ tảo.

Nhiệt độ trong mô phỏng tảo.

#### *Chu trình nitơ*

Trong nước thoáng khí tự nhiên, có một sự chuyển đổi bậc thang từ nitơ hữu cơ tới amonia, đến nitrite và cuối cùng là nitrate. Chu trình nitơ trong QUAL2E bao gồm cả 4 thành phần. Sự hợp nhất của các nitơ hữu cơ như biến trạng thái, số hạng lắng chìm nitơ, và yếu tố ưu tiên hấp thụ nitơ của tảo là những gia tăng đầu tiên đối với chu trình nitơ trong QUAL2E so với phiên bản SEMCOG của QUAL-II. Các phương trình vi phân biểu thị các sự chuyển đổi của nitơ từ một dạng này sang dạng khác được trình bày như sau:

Sự chuyển đổi này chỉ bao gồm 4 thành phần:

Nitơ hữu cơ

Amoniac nitơ

Nitrit nitơ

Nitrat nitơ

Ngoài ra ta phải xét đến cả sự hạn chế nitrat ở mức ôxy hoà tan thấp

#### *Chu trình photpho*

Chu trình photpho hoạt động giống như chu trình nitơ ở một số phương diện. Các dạng hữu cơ của photpho được sinh ra bởi tảo chết, sau đó được chuyển thành trạng thái vô cơ hoà tan. Ở trạng thái này tảo lại dùng nó cho sản xuất sơ cấp. Photpho được xả từ các nhà máy xử lý nước thải nói chung ở dạng vô cơ hoà tan và nó sẵn sàng cho tảo sử dụng. Mô hình QUAL2E sửa đổi văn bản SEMOG của QUAL-II để mô phỏng tác động qua lại giữa photpho hữu cơ và photpho hoà tan. Cũng như nitơ, photpho có các dạng sau:

Photpho hữu cơ

Photpho hoà tan

### BOD Cacbon

Mô hình QUAL2E giả thiết mối quan hệ bậc nhất để mô tả sự loại ôxy của BOD cacbon tối đa trong dòng chảy.

Hàm BOD được biểu thị trong mô hình cũng như được thực hiện trong phần tính toán phần BOD phụ thêm quá trình lắng đọng, xói lở và cố kết, trong đó nhu cầu ôxy không được sử dụng (Thomas, 1984):

$$dL = -K_1L - K_3L \quad (5-38)$$

Trong đó:  $L$  - nồng độ của BOD cacbon tối đa, (mg/l);

$K_1$  - hệ số biểu thị tỷ lệ mức độ loại ôxy, phụ thuộc vào nhiệt độ (ngày<sup>-1</sup>);

$K_3$  - tỷ lệ tổn thất của BOD cacbon do lắng đọng, phụ thuộc vào nhiệt độ (ngày<sup>-1</sup>).

Mô hình QUAL2E mô phỏng BOD lớn nhất trong trường hợp tổng quát. Tuy nhiên người sử dụng có thể lựa chọn để dùng các giá trị BOD 5 ngày cho đầu ra và đầu vào. Trong trường hợp này, mô hình sẽ có sự chuyển đổi cần thiết từ BOD5 sang BOD lớn nhất.

Phương trình chuyển đổi:

$$BOD = BOD_u(1,0 - \exp(5 \cdot KBOD)) \quad (5-39)$$

Trong đó:  $BOD$  = 5-ngày BOD, mg/L;

$BOD_u$  = BOD lớn nhất, mg/L;

$KBOD$  = hằng số tỷ lệ chuyển đổi BOD, ngày.

Phiên bản SEMOG của QUAL-II lấy  $KBOD$  bằng 0,23 ngày<sup>-1</sup>. Với mô hình QUAL2E, người sử dụng giá trị thích hợp cho sự chuyển đổi này.

*Lưu ý:* Khi mô hình cho BOD 5-ngày những hệ số chuyển đổi giống nhau được áp dụng cho tất cả các hàm đầu vào liên quan tới BOD5 (lưu lượng nước ở thượng nguồn, nhập lưu khu giữa, lưu lượng nước thải ở các điểm thải và các điều kiện biên dưới).

### Ôxy hoà tan

Sự cân bằng ôxy trong một hệ thống sông phụ thuộc vào khả năng tự hấp thụ ôxy của dòng chảy. Khả năng này là một hàm số của các quá trình đối lưu và khuếch tán xảy ra trong hệ thống và các nguồn ôxy gia nhập và lắng chìm. Ngoài sự hấp thụ ôxy từ không khí bên ngoài, các nguồn ôxy chủ yếu là ôxy sản xuất do quang hợp và ôxy chứa trong các nhập lưu. Sự giảm ôxy hoà tan bao gồm quá trình ôxy của sinh vật đáy và ôxy được tảo sử dụng trong quá trình hô hấp.



Phương trình vi phân sử dụng trong QUAL2E mô tả mức độ thay đổi của oxy được mô tả như sau, trong đó mỗi một số hạng biểu thị cho một nguồn oxy chủ yếu cấp vào hay mất đi.

$$DO/dt = K_2(O^* - O) + (\alpha_3\mu - \alpha_4\rho)A - K_1L - K_4/d - \alpha_5\beta_1N_1 - \alpha_6\beta_2 \quad (5-40)$$

Trong đó:

O - nồng độ của oxy hoà tan, mg/L;

O\* - nồng độ bão hoà của oxy hoà tan ở một nhiệt độ và áp suất nhất định, mg/L ;

$\alpha_3$  - mức độ oxy sinh ra trên một đơn vị tảo quang hợp, mg-0/mg-A;

$\alpha_4$  - mức độ oxy hấp thụ trên một đơn vị của tảo hô hấp, mg-0/mg-A;

$\alpha_5$  - mức độ hấp thụ oxy hút trên một đơn vị của sự oxyhoá amoniac nitơ, mg-0/mg-N;

$\alpha_6$  - mức độ hấp thụ oxy hút trên một đơn vị của oxyhoá nitorit nitơ, mg-0/mg-N;

$\mu$  - mức độ sinh trưởng của tảo, phụ thuộc vào nhiệt độ, ngày<sup>-1</sup>;

$\rho$  - mức độ hô hấp của tảo, phụ thuộc vào nhiệt độ, ngày<sup>-1</sup>;

A - nồng độ sinh khối tảo, mg-A/L;

L - nồng độ BOD cacbon lớn nhất, mg/L;

d - độ sâu dòng chảy, ft;

K - tỷ lệ sự loại oxy BOD cacbon, phụ thuộc vào nhiệt độ, ngày<sup>-1</sup>;

K<sub>2</sub> - mức độ hấp thụ, theo như luật khuếch tán của Fick, phụ thuộc vào nhiệt độ, ngày<sup>-1</sup>

K<sub>4</sub> - mức độ yêu cầu oxy của các thành phần lắng chìm, g/ft<sup>2</sup>-ngày

$\beta_1$  - hằng số tỷ lệ oxy hoá amoniac, nhiệt độ độc lập, ngày<sup>-1</sup>

$\beta_2$  - hằng số tỷ lệ oxy hoá nitorit, nhiệt độ độc lập, ngày<sup>-1</sup>

N<sub>1</sub> - nồng độ amoniac nitơ, mg-N/L

N<sub>2</sub> - nồng độ nitorit nitơ, mg-N/L

### Coliorm

Coliorm được dùng như một chỉ số biểu thị sự nhiễm bẩn trong nước mặt. Các biểu thức để tính nồng độ Coliorm thường là các hàm bậc nhất của phân rã, trong đó chỉ tính đến Coliorm đã chết đi. Mô hình QUAL2E dùng biểu thức sau:

$$\frac{dE}{Dt} = -K_5E \quad (5-41)$$

Trong đó: E - nồng độ Coliorms, số con coli/100 ml;

K<sub>5</sub> - tỷ lệ Coliorm chết, phụ thuộc vào nhiệt độ, ngày<sup>-1</sup>.

### *Thành phần không bảo toàn tùy chọn*

QUAL2E có phần mô hình hoá thành phần không bảo toàn tùy chọn. Hơn nữa, với một cơ chế phân rã bậc nhất, có các số hạng nguồn và lắng chìm trong cân bằng khối lượng. Phương trình vi phân mô tả sự tác động lẫn nhau đối với một ANC là:

$$\frac{dR}{dt} = -K_6 R - \sigma_6 + \sigma_7 / d \quad (5-42)$$

Trong đó:

R - nồng độ của thành phần không bảo toàn mg-ANC/l;

$K_6$  - tỷ lệ phân rã của thành phần, phụ thuộc nhiệt độ, ngày<sup>-1</sup>;

$\sigma_6$  - hệ số tỷ lệ đối với lắng chìm của thành phần này, phụ thuộc nhiệt độ, ngày<sup>-1</sup>;

$\sigma_7$  - nguồn sinh vật đáy đối với thành phần này, phụ thuộc nhiệt độ, mg-ANC/ft<sup>2</sup>-ngày;

d - giá trị trung bình độ sâu của sông.

### *Nhiệt độ*

Nhiệt độ được mô hình hoá bằng cách sử dụng cân bằng nhiệt đối với mỗi đoạn yếu tố tính toán trong hệ thống. Sự cân bằng nhiệt độ có tính kể đến lượng nhiệt vào và lượng nhiệt mất đi biểu thị qua các hàm số ví dụ như sự trao đổi nhiệt giữa bề mặt nước và không khí. Các thành phần trong cân bằng nhiệt không khí - nước bao gồm bức xạ sóng dài và sóng ngắn, sự đối lưu và sự bay hơi.

Để cho QUAL2E có thể thể hiện các tính toán về sự cân bằng nhiệt, người sử dụng phải cung cấp nhiều số liệu khác nhau, bao gồm cả kinh độ và vĩ độ của lưu vực, thời gian của năm, hệ số bốc hơi và hệ số suy giảm bụi, những thông tin khí hậu địa phương dưới dạng thời gian ban ngày...

### *Sự phụ thuộc vào nhiệt độ của hệ số tỷ lệ*

Những giá trị nhiệt độ tính trong QUAL2E được dùng để hiệu chỉnh hệ số tỷ lệ trong các số hạng nguồn, lắng chìm đối với nhiệt độ chuẩn 20°C và sau đó được hiệu chỉnh theo nhiệt độ tính toán.

### *Mức độ phản ứng và hằng số vật lý*

Những phản ứng hoá học và sinh học được mô phỏng trong QUAL2E bằng một hệ phương trình phức tạp trong đó bao gồm nhiều thông số hệ thống, một số số hạng là hằng số, một số khác lại là biến phụ thuộc vào nhiệt độ.

#### **5.7.4. Biểu thị nhiệt độ dưới dạng hàm số**

##### *Phương trình nhiệt cơ bản*

Phương trình cơ bản đã được đưa vào chương trình QUAL2E là:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial \left( A_x D_L \frac{\partial C}{\partial X} \right)}{A_x \partial_x} - \frac{\partial (A_x u C)}{A_o \partial_x} + \frac{dC}{dt} + \frac{s}{v} \tag{5-43}$$

- Trong đó:  $\rho$  - trọng lượng riêng của nước (ML<sup>-3</sup>);  
 $C$  - nhiệt dung riêng của nước ((HM<sup>-1</sup> D<sup>-1</sup>);  
 $T$  - nhiệt độ của nước;  
 $T_0$  - nhiệt độ ban đầu tùy chọn;  
 $M$  - khối lượng;  
 $H$  - lượng nhiệt gia nhập;  
 $D$  - đơn vị đo độ.

1. Khái niệm về HN

Nhiệt được truyền qua mặt tiếp giáp nước - không khí của bộ phận nước mặt theo 3 quá trình khác nhau: trao đổi bức xạ, bốc hơi và dẫn nhiệt. Các số hạng nhiệt riêng lẻ liên quan tới các quá trình này đã được xác định trong bảng sau:

**Bảng 5.2. Bảng định nghĩa số hạng truyền nhiệt**

| Số hạng nhiệt | Thứ nguyên                       | Giá trị      |
|---------------|----------------------------------|--------------|
| HN            | HL <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup> | 400 - 2800   |
| Hsr           | HL <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup> | 40 - 200     |
| Ha            | HL <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup> | 2400 - 3200  |
| Har           | HL <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup> | 70 - 120     |
| Hb            | HL <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup> | 2400 - 3600  |
| He            | HL <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup> | 150 - 3000   |
| Hc            | HL <sup>-2</sup> T <sup>-1</sup> | -320 đến 400 |

Biểu thức tính như sau:

$$H_N = H_{sn} + H_{an} - (H_b + H_c + H_e)$$

Trong đó:

- $H_N$  - năng lượng có hiệu quả qua mặt tiếp giáp nước - không khí;  
 $H_{sn}$  - bức xạ mặt trời sóng ngắn có hiệu quả qua mặt tiếp giáp sau khi tổn thất do hấp thụ và phân tán trong không khí và do phản xạ tại mặt tiếp giáp;  
 $H_{an}$  - bức xạ khí quyển sóng dài có hiệu quả truyền qua mặt tiếp giáp sau khi phản xạ.  
 $H_b$  - bức xạ hồng ngoại sóng dài thoát ra;

He - tổn thất năng lượng do bốc hơi;

Hc - lượng năng lượng nhập vào truyền lên và truyền xuống giữa bề mặt tiếp giáp và khí quyển.

## *2. Bức xạ mặt trời sóng ngắn có hiệu quả*

Bức xạ mặt trời gia nhập là bức xạ sóng ngắn truyền trực tiếp từ mặt trời đến bề mặt trái đất. Giá trị của nó tùy thuộc vào độ cao mặt trời hàng ngày thay đổi rất khác nhau và cũng thay đổi theo mùa ở một địa phương nhất định trên trái đất. ảnh hưởng của tán xạ và hấp thụ nhiệt trong không khí do sự bao phủ của mây, sự phản xạ từ bề mặt của nước.

Bao gồm các yếu tố ảnh hưởng:

- Bức xạ ngoài trái đất
- Tán xạ và hấp thụ
- Độ bao phủ mây
- Phản xạ

## *3. Bức xạ khí quyển sóng dài*

Bức xạ sóng dài phát xạ bởi khí quyển thay đổi trực tiếp theo độ ẩm của khí quyển. Mặc dù phụ thuộc chính vào nhiệt độ không khí và độ ẩm, bức xạ cũng có thể bị ảnh hưởng bởi tầng ôzôn, cacbondiôxit và các chất khác trong không khí.

## *4. Bức xạ lại phía sau mặt nước*

Bức xạ qua mặt tiếp giáp giữa nước và không khí là bức xạ lại. Nguồn năng lượng của bức xạ lại chính là năng lượng của sóng dài xuất phát từ bề mặt nước.

## *5. Bốc hơi*

Bộ phận nước cũng mất nhiệt vào không khí do bốc hơi. Lượng tổn thất nhiệt thực tế rất nhỏ so với các thành phần khác trong tổng năng lượng và do vậy trong QUAL2E không bao gồm tính toán về tổn thất nhiệt này.

## *6. Sự dẫn nhiệt*

Nhiệt được truyền đi giữa nước và không khí do sự chênh lệch nhiệt độ giữa 2 pha, nó không liên quan đến sự trao đổi hơi nước và thường được gọi là sự dẫn nhiệt, nó là một hàm của các biến như trong bốc hơi.

## *7. QUAL2E có xét đến khí hậu và nhiệt độ.*

Các phiên bản trước của QUAL2E đã giả sử rằng các biến số đầu vào đối với sự mô phỏng nhiệt độ là đồng nhất đối với toàn bộ lưu vực sông. Những biến số đầu vào này bao gồm các thông tin về khí hậu, địa lý, cân bằng nhiệt.

Cao trình lưu vực, hệ số suy giảm bụi, hệ số bốc hơi, nhiệt độ, không khí ẩm và khô, áp suất không khí, độ bao phủ của mây, tốc độ gió.

#### 5.7.5. Giới thiệu về chương trình tính mẫu

QUAL2E cho phép mô phỏng, các dòng chảy một chiều, các dòng chảy phân nhánh bất kỳ. Công đoạn đầu tiên trong việc mô hình hoá hệ thống là chia nhỏ hệ thống dòng chảy ra thành nhiều đoạn có cùng đặc tính thủy lực. Mỗi đoạn lại chia ra thành các đoạn yếu tố tính toán có cùng chiều dài. Bởi vậy, tất cả các đoạn phải chứa một số nguyên lần các đoạn yếu tố tính toán. Mỗi một đoạn yếu tố có thể là một trong các dạng sau:

H: Đoạn yếu tố có nguồn nước vào

S : Đoạn yếu tố chuẩn tắc

J : Đoạn nối

E : Đoạn cuối cùng trong hệ thống

I : Đoạn đầu vào

W: Đoạn chảy ra

QUAL2E được thiết kế ở dạng chương trình tổng quát. Tuy nhiên, nó cũng có một số giới hạn mà người sử dụng phải tuân theo:

Số lượng đoạn tối đa là 50

Số lượng đoạn yếu tố tính toán nhỏ hơn hoặc bằng 20/1 đoạn, tức là tối đa có 1000 đoạn yếu tố tính toán.

Số đoạn nguồn vào nhỏ hơn 10

Số đoạn nối nhỏ hơn 9

Số đoạn nhập lưu nhỏ hơn 50.

Trong chương trình mẫu có tất cả 14 màn hình để nhập dữ liệu vào mô hình, tuy nhiên tùy từng bài toán mà có những màn hình không được sử dụng.

- Màn hình 1: Mô tả chung về hệ thống sông tính toán, bao gồm trạng thái chảy, loại mặt cắt ngang, đơn vị tính, số đoạn sông tính toán, số bước tính lặp lớn nhất;

- Màn hình 2: Mô tả cụ thể từng đoạn sông tính toán, bao gồm thứ tự đoạn, tên từng đoạn, vị trí đầu đoạn, cuối đoạn sông tính toán, vị trí nguồn nước vào, khoảng cách đoạn yếu tố tính toán;

- Màn hình 3: Phân loại các đoạn yếu tố, bao gồm đoạn chuẩn tắc, đoạn có đập, đoạn có xả nước vào, đoạn tháo nước đi;

- Màn hình 4: Thông số chất lượng nước được chọn để tính toán;

- Màn hình 5: Dữ liệu về địa lý và khí hậu;
- Màn hình 6: Hệ số hiệu chỉnh theo nhiệt độ;
- Màn hình 7: Số liệu thủy lực;
- Màn hình 8: Hằng số tốc độ phản ứng của BOD và DO;
- Màn hình 9: Điều kiện ban đầu của dòng chảy;
- Màn hình 10: Dòng chảy vào gia tăng;
- Màn hình 11: Dữ liệu nguồn nước đầu vào;
- Màn hình 12: Dữ liệu điểm xả nước vào hoặc lấy nước ra;
- Màn hình 13 : Ngày tháng tính toán;
- Màn hình 14: Kết thúc nhập số liệu;

## 5.8. MÔ HÌNH CORMIX

### 5.8.1 Giới thiệu chung về mô hình CORMIX

Mô hình CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System) là mô hình hệ thống chuyên nghiên cứu vùng pha trộn nước thải và là phần mềm máy tính dùng để phân tích, dự báo và thiết kế các miệng xả nước thải vào nguồn nước tự nhiên. Mô hình này được các chuyên gia thuộc trường Đại học Cornell (Mỹ) xây dựng trong thời gian từ 1985 đến 1995. Mô hình cho phép mô tả quá trình pha trộn nước thải ở gần miệng xả cũng như xa miệng xả.

CORMIX có ba hệ thống chương trình phụ tương ứng với ba điều kiện nước thải khác nhau. Các hệ thống chương trình phụ này là:

CORMIX 1: Dùng phân tích cho cửa xả đơn ngập dưới nước.

CORMIX 2: Dùng phân tích cho nhiều cửa xả ngập dưới nước.

CORMIX 3: Dùng phân tích cho cửa xả trên mặt nước.

Trong đó:

CORMIX 1: Tính các đặc trưng hình học và đặc trưng pha loãng của lưu lượng thải sinh ra từ một cửa xả đơn ngập phân tán, của mật độ tự nhiên, vị trí tự nhiên và hình dạng nguồn nước xung quanh nhận được có thể bị ứ đọng hoặc đang chảy vào nguồn nước có mật độ phân tầng xung quanh.

CORMIX 2: Áp dụng chung cho 3 kiểu thông thường, được sử dụng cho nhiều cửa xả phân tán ngập và các điều kiện xung quanh, tương tự như CORMIX 1.

CORMIX 3: Phân tích và tính toán các nước thải bề mặt, cho kết quả khi lưu lượng nước thải vào nguồn nước bên cạnh lớn, qua lòng dẫn kênh hoặc ống sát bề mặt. Nó còn

hạn chế lưu lượng nước thải đầy nổi hoàn toàn hoặc trung bình. Các dạng nước thải và hướng thải có thể được phân tích gồm: sự chảy vào hoặc ra qua các cửa kênh, và hướng vuông góc xiên hoặc song song với bờ.

#### *Các giả thiết chính*

Tất cả các hệ thống phụ yêu cầu rằng mặt cắt ngang thực tế của nguồn nước được miêu tả bằng một lòng dẫn hình chữ nhật chảy vào sông ngòi hoặc chảy vào một hồ lớn. Trong cùng mặt cắt ngang thì giả thiết vận tốc xung quanh là như nhau.

Mật độ xung quanh là đồng đều, CORMIX thừa nhận ba dạng chung của các đường bao phân tầng được sử dụng coi là gần đúng đối với việc phân chia mật độ theo phương thẳng đứng.

Nguyên tắc của tất cả các hệ thống phụ CORMIX là chế độ dòng chảy phải ổn định. Tuy nhiên, có thể phân tích quá trình pha trộn không ổn định trong trường hợp chịu ảnh hưởng của triều.

Tất cả các hệ thống CORMIX có thể tính vùng pha trộn cho các chất bảo toàn và các chất bị phân rã. Ngoài ra, có thể mô hình hoá quá trình trao đổi nhiệt.

#### **5.8.2. Số liệu đầu vào của mô hình CORMIX**

Tất cả các dữ liệu đầu vào của mô hình được đối thoại trực tiếp với người sử dụng. Người sử dụng xác định đầy đủ vị trí hoặc trường hợp, các điều kiện xung quanh, các đặc trưng nước thải và điều chỉnh ranh giới.

#### *Dữ liệu môi trường xung quanh*

Các điều kiện môi trường xung quanh được xác định bằng các đặc trưng hình học và thủy văn của nước thải trong vùng gần miệng xả. Các phân tích của CORMIX được đưa ra dưới giả thiết điều kiện biên ổn định. Tuy nhiên trong thực tế, môi trường nước không bao giờ ở trạng thái ổn định thực sự. Trong các dòng thủy triều không ổn định việc giả thiết là không có căn cứ, CORMIX sẽ tiếp cận tình huống này và tính toán một vài ảnh hưởng trở lại ở trạng thái lưu động.

CORMIX giả thiết rằng mặt cắt ngang thực tế của nguồn nước xung quanh phải được biểu thị bằng lòng dẫn hình chữ nhật chảy vào sông ngòi hoặc chảy vào hồ lớn.

Các đặc trưng hình học và thủy văn đều có thể xây dựng mặt cắt ngang hình chữ nhật một cách đầy đủ.

Trong một vài trường hợp người sử dụng có thể lưu ý một số đánh giá sau:

\* Giữa nước thải và mực nước có quan hệ với nhau. Dữ liệu cho mỗi quan hệ này có được từ các phân thủy lực hoặc từ số liệu thực đo trong khu vực. Mỗi quan hệ này thường có sẵn.

Trong trường hợp đơn giản của dòng chảy trong sông, nếu độ sâu của dòng chảy đã biết ở một vị trí xác định nào đó trong khu vực nghiên cứu thì khi đó độ sâu của dòng chảy được dùng để tính toán lưu lượng dòng chảy theo phương trình Manning:

$$HA_2 = HA_1 \left[ \frac{QA_2}{QA_1} \right]^{\frac{5}{3}} \quad (5-44)$$

Trong đó: QA - lưu lượng trong sông;

HA - độ sâu trung bình.

\* Đối với một lòng dẫn nước thải cho trước tất cả các sơ đồ mặt cắt ngang nước thải và phân bố một số vị trí ở hạ lưu đã cho trước.

\* Dữ liệu đầu vào bao gồm:

- Bề rộng BS, chiều sâu HA xác định ứng với mặt cắt ngang tương ứng.

- Độ sâu thực tế HD mô tả độ sâu cục bộ. Cần kiểm tra độ sâu cục bộ HD không sai khác quá 30% độ sâu trung bình HA.

- Lưu lượng nước thải xung quanh QA hoặc vận tốc trung bình xung quanh UA, sử dụng để đánh giá điều kiện nước chảy ở xung quanh.

- Giá trị hệ số nhám n của Manning trong lòng dẫn hoặc hệ số ma sát f của Darcy - Weisbach. Các thông số ma sát chỉ ảnh hưởng trong giai đoạn cuối vùng xa miệng xả khuếch tán.

- Trong vùng xa miệng xả, hình dạng kênh dẫn có thể ảnh hưởng đến quá trình pha trộn, nhưng không ảnh hưởng tới vùng xa miệng xả. Có ba loại hình dạng kênh dẫn được giả định trong CORMIX.

Loại 1: Kênh dẫn tương đối thẳng.

Loại 2: Kênh dẫn không đều có độ cong nhỏ ở phía hạ lưu.

Loại 3: Gió mạnh và kênh dẫn hạ lưu thay đổi phức tạp.

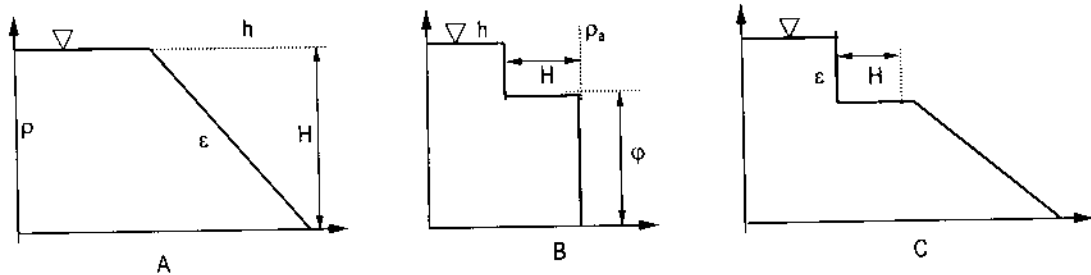
- Thông tin về mật độ nước của nguồn tiếp nhận nước thải rất là quan trọng để tính toán quá trình vận chuyển của nước thải. Các đặc trưng của CORMIX là môi trường nước ngọt hay nước không ngọt. Khi phân bố không đồng nhất, CORMIX giả thiết rằng mật độ phân bố theo phương thẳng đứng được xác định bằng một trong ba kiểu sau:

Kiểu A: Phân bố mật độ tăng theo chiều sâu.

Kiểu B: Có hai lớp mật độ khác nhau, ở mỗi lớp mật độ không đổi theo độ sâu.

Kiểu C: Phía trên mật độ không đổi theo độ sâu, phía dưới mật độ tăng theo độ sâu.





**Hình 5.3:** Các kiểu phân bố mật độ theo phương thẳng đứng

Tốc độ gió  $UW$ , tốc độ gió không quan trọng đối với vùng pha trộn gần miệng xả.

Có thể phân loại tốc độ gió như sau:

- Gió nhẹ: 0 - 3 m/s
- Gió thường: 3-15 m/s
- Gió mạnh: 15-30 m/s.

Nếu không có tài liệu thực đo có thể chọn  $UW = 2\text{m/s}$  để tính toán. Trong CORMIX giá trị  $UW_{\max} = 15\text{ m/s}$ .

*Số liệu đầu vào trong mô hình CORMIX I*

Đặc trưng lòng dẫn nước thải (hình 5.4).

Các số liệu cần nhập bao gồm:

\* Lòng dẫn nước thải:

- Vị trí miệng xả.
- Khoảng cách tới bờ gần nhất.
- Đường kính cửa xả DO.
- Chiều cao của cửa xả HO kể từ trọng tâm của cửa xả tới đáy.
- Góc giữa hướng nước thải qua trọng tâm cửa xả với mặt phẳng nằm ngang (THETA), góc này có thể thay đổi từ  $(-45^\circ - 90^\circ)$ .

- Góc nằm ngang cửa thải (SIGMA) theo chiều ngược kim đồng hồ từ hướng dòng xung quanh (trục X) tới mặt phẳng bảo vệ của đường trọng tâm cửa xả, góc này thay đổi từ  $0^\circ - 360^\circ$ .

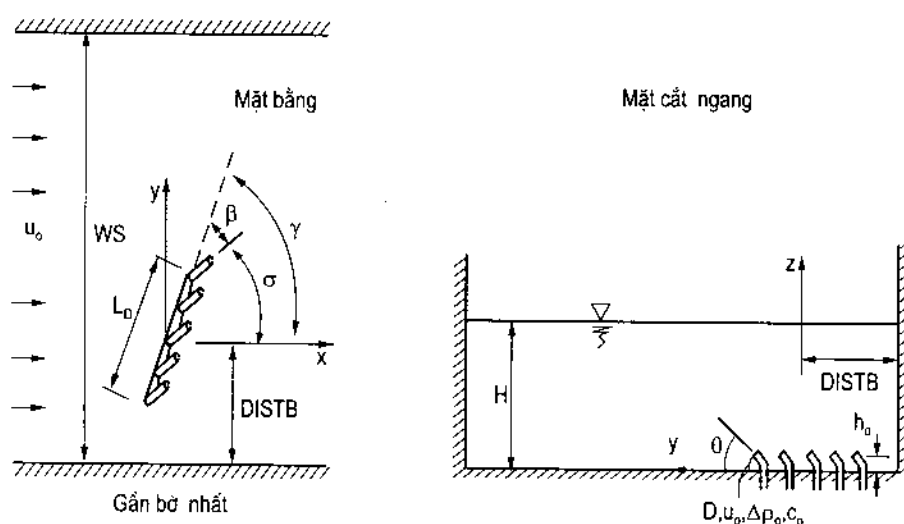
\* Đặc trưng nước thải:

- Lưu lượng nước thải  $Q_0$  hay vận tốc nước thải  $U_0$ .
- Mật độ hay nhiệt độ nước thải.
- Nồng độ chất ô nhiễm trong nước thải.



- Khuếch tán từng đoạn.
- Khuếch tán luân chuyển.

CORMIX 2 đảm nhận các điều kiện dòng thải phân bố đồng đều dọc theo bờ sông.



**Hình 5.5:** Sơ đồ đặc trưng lòng dẫn nước thải trong CORMIX 2

Các số liệu cần nhập bao gồm:

\* Lòng dẫn nước thải:

- Vị trí cửa xả gần bờ nhất.
- Khoảng cách trung bình tới bờ gần nhất (DISTB).
- Độ sâu nguồn tiếp nhận nước thải HD.
- Loại cửa xả.
- Đường kính trung bình  $D_0$  của các cửa xả hay các vòi phun nước thải.
- Hệ số co hẹp cửa xả hay vòi phun
- Chiều cao trung bình của cửa xả  $H_0$  kể từ trọng tâm của cửa xả tới đáy.
- Góc thẳng đứng trung bình giữa hướng nước thải qua trọng tâm cửa xả với mặt phẳng nằm ngang (THETA), góc này có thể thay đổi từ  $(-45^\circ - 90^\circ)$ .
- Góc nằm ngang cửa thải (SIGMA) theo chiều ngược kim đồng hồ từ hướng dòng xung quanh (trục X) tới mặt phẳng bảo vệ của đường trọng tâm cửa xả, góc này thay đổi từ  $0^\circ - 360^\circ$ .
- Chiều dài LD là khoảng cách từ cửa xả đầu tiên đến cửa xả cuối cùng.
- Khoảng cách từ bờ tới cửa xả hay các vòi phun đầu tiên và cuối cùng  $YB_1, YB_2$ .

- Số cửa xả hoặc số ống dẫn. Nếu các ống dẫn có sẵn thì số cửa xả = số ống dẫn.
- Góc định hướng trung bình (GAMMA) có thể thay đổi trong khoảng  $0^\circ - 180^\circ$ .
- Góc định hướng tương đối (đối với khuếch tán có chu kỳ) thay đổi trong khoảng từ  $0^\circ - 90^\circ$ .

\* Đặc trưng nước thải:

- Lưu lượng nước thải  $Q_0$  hay vận tốc nước thải  $U_0$ .
- Mật độ hay nhiệt độ nước thải
- Nồng độ chất ô nhiễm trong nước thải.

\* Các tiêu chuẩn trong CORMIX 2: (hình 5.3).

- Độ cao cửa xả  $H_0$  không vượt quá  $1/3$  giá trị độ sâu thông thường HD.
- Đường kính cửa xả không vượt quá  $1/5$  giá trị HD.
- Góc nghiêng của đường phân bố mật độ phải nằm trong khoảng từ (40%-90%) giá trị HD.

*Số liệu đầu vào trong mô hình CORMIX 3*

Hình dạng mặt cắt và các đặc trưng dòng thải trong kênh dẫn (hình 5.6).

Dạng mặt cắt ngang trong CORMIX 3: Kênh dẫn hình chữ nhật, ống tròn nằm ngang ở sát hoặc xa mặt nước.

Có ba kiểu miệng xả (hình 5.6):

Sát bờ.

Nhô ra khỏi bờ.

Xuôi theo dòng nước.

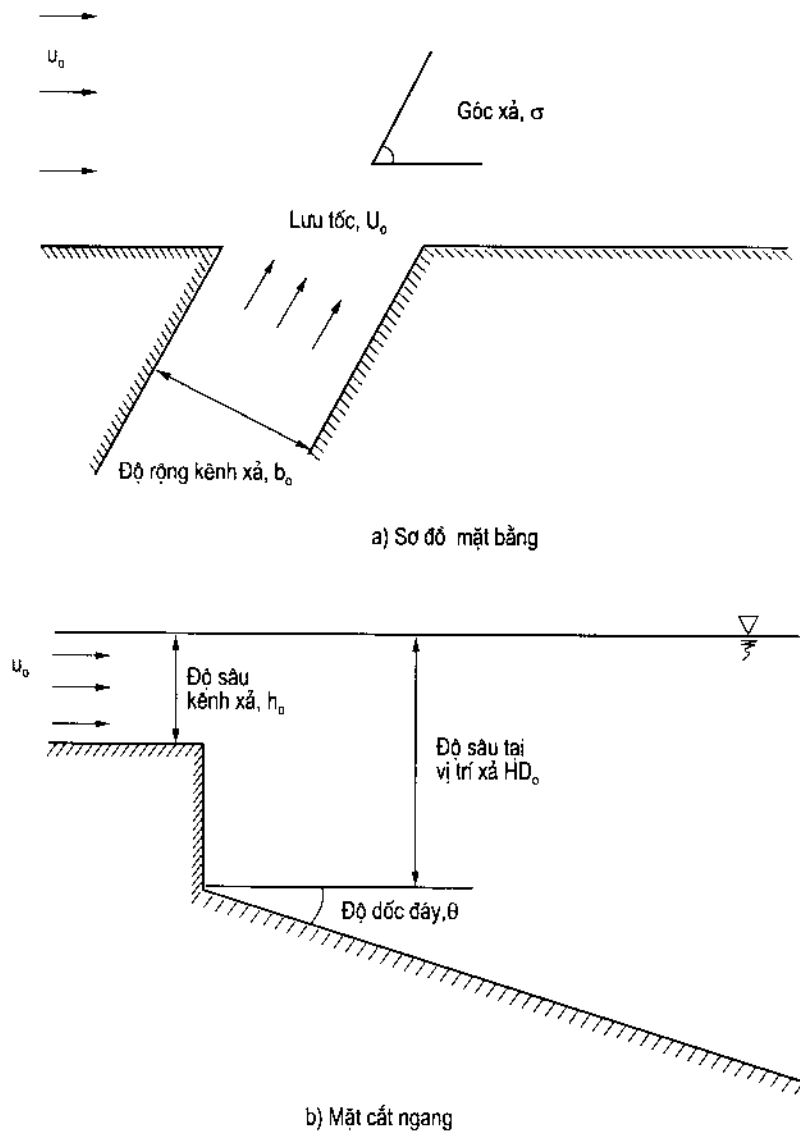
Các dữ liệu bao gồm:

\* Lòng dẫn nước thải:

- Vị trí miệng xả (gần bờ nhất).
- Chiều rộng kênh thải ( $B_0$ ).
- Độ sâu của kênh thải ( $H_0$ ).
- Độ sâu thực tế của nguồn tiếp nhận nước thải ( $HD_0$ ).
- Độ dốc đáy của kênh dẫn nước thải (SLOPE)
- Góc nằm ngang của kênh dẫn nước thải (SIGMA).
- Trong trường hợp là đường ống dẫn cần nhập dữ liệu:

Đường kính ống dẫn.

Độ sâu kể từ mặt thoáng tới tâm đường ống.



**Hình 5.6:** Đặc trưng hình học kênh xả của CORMIX3

\* Đặc trưng nước thải:

- Lưu lượng nước thải  $Q_0$  hay vận tốc nước thải  $U_0$ .
- Mật độ hay nhiệt độ nước thải.
- Nồng độ chất ô nhiễm trong nước thải.

\* Điều kiện trong CORMIX 3: Tỷ lệ độ sâu và bề rộng của lòng dẫn nước thải là 0,05 - 5.

Số liệu về chất gây ô nhiễm.

Có 3 loại chất gây ô nhiễm được xét đến trong CORMIX đó là:

- Chất bảo toàn là chất ô nhiễm không có bất kỳ sự suy giảm hay gia tăng nào.

- Chất không bảo toàn là chất ô nhiễm bị phân rã hoặc gia tăng. Cần nhập hệ số phân rã của loại chất này.

- Nước thải nóng, nước thải này sẽ toả nhiệt vào trong khí quyển. Hệ số trao đổi nhiệt phụ thuộc vào nhiệt độ nước xung quanh và tốc độ gió.

### **5.8.3. Các đặc trưng đầu ra của mô hình**

CORMIX là hệ thống có tính tương tác cao và truyền thông tin tới người sử dụng qua những tính toán, định lượng. Kết quả đầu ra này có thể dưới dạng bảng hoặc dạng đồ thị trên màn hình, hay có thể in ra từng phần và được lưu trữ trong các file.

Sau khi đã hoàn thành công việc nhập dữ liệu đầu vào, hệ thống thực hiện các phép tính thông qua các chương trình thành phần theo biểu đồ.

Có 3 loại thông tin được máy tính thông báo là:

- Các thông báo
- Kết quả tính toán dọc theo dòng chảy
- Mô tả các lớp phân tầng trong dòng chảy

# PHỤ LỤC

Phụ lục 1

BẢNG TRA DÙNG CHO KIỂM ĐỊNH THỐNG KÊ (F TEST)

(Nguồn: Lincoln L. Chao, *Statistics: Methods and Analysis*, New York: McGraw-Hill Book Company, 2<sup>nd</sup> ed., 1974)

$\alpha = 0,01 \quad v_1 = K - 1, v_2 = N - K$

| $\frac{v_1}{v_2}$ | 1       | 2       | 3     | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 12      | 15      | 20      | 24      | 30      | 40      | 60      | 120     | $\infty$ |
|-------------------|---------|---------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 1                 | 4052,00 | 4999,50 | 54,03 | 5625,00 | 5764,00 | 5859,00 | 5928,00 | 5981,00 | 6022,00 | 6056,00 | 6106,00 | 6157,00 | 6209,00 | 6235,00 | 6261,00 | 6287,00 | 6313,00 | 6319,00 | 6366,00  |
| 2                 | 98,50   | 99,00   | 99,17 | 99,25   | 99,30   | 99,33   | 99,36   | 99,37   | 99,39   | 99,40   | 99,42   | 99,43   | 99,45   | 99,46   | 99,47   | 99,47   | 99,48   | 99,49   | 99,50    |
| 3                 | 34,12   | 30,82   | 29,46 | 28,71   | 28,24   | 27,91   | 27,87   | 27,49   | 27,35   | 27,23   | 27,05   | 26,87   | 26,69   | 26,60   | 26,50   | 26,41   | 26,32   | 26,22   | 26,13    |
| 4                 | 21,20   | 18,00   | 16,69 | 15,98   | 15,52   | 15,21   | 14,98   | 14,80   | 14,66   | 14,55   | 14,37   | 14,20   | 14,02   | 13,93   | 13,84   | 13,75   | 13,65   | 13,56   | 13,46    |
| 5                 | 16,26   | 13,27   | 12,06 | 11,39   | 10,97   | 10,67   | 10,46   | 10,29   | 10,16   | 10,05   | 9,89    | 9,72    | 9,55    | 9,47    | 9,38    | 9,29    | 9,20    | 9,11    | 9,02     |
| 6                 | 13,75   | 10,92   | 9,78  | 9,15    | 8,75    | 8,47    | 8,26    | 8,10    | 7,98    | 7,87    | 7,72    | 7,56    | 7,40    | 7,31    | 7,23    | 7,14    | 7,06    | 6,97    | 6,88     |
| 7                 | 12,25   | 9,55    | 8,45  | 7,85    | 7,46    | 7,19    | 6,99    | 6,84    | 6,72    | 6,62    | 6,47    | 6,31    | 6,16    | 6,07    | 5,99    | 5,91    | 5,82    | 5,74    | 5,65     |
| 8                 | 11,26   | 8,65    | 7,59  | 7,01    | 6,63    | 6,37    | 6,18    | 6,03    | 5,91    | 5,81    | 5,67    | 5,52    | 5,36    | 5,28    | 5,20    | 5,12    | 5,03    | 4,95    | 4,86     |
| 9                 | 10,56   | 8,02    | 6,99  | 6,42    | 6,05    | 5,80    | 5,61    | 5,47    | 5,35    | 5,26    | 5,11    | 4,96    | 4,81    | 4,73    | 4,65    | 4,57    | 4,48    | 4,40    | 4,31     |
| 10                | 10,04   | 7,56    | 6,55  | 5,99    | 5,64    | 5,39    | 5,20    | 5,06    | 4,94    | 4,85    | 4,71    | 4,56    | 4,41    | 4,33    | 4,25    | 4,17    | 4,08    | 4,00    | 3,91     |
| 11                | 9,65    | 7,21    | 6,22  | 5,67    | 5,32    | 5,07    | 4,89    | 4,74    | 4,63    | 4,54    | 4,40    | 4,25    | 4,10    | 4,02    | 3,94    | 3,86    | 3,78    | 3,69    | 3,60     |
| 12                | 9,33    | 6,93    | 5,95  | 5,41    | 5,06    | 4,82    | 4,64    | 4,50    | 4,39    | 4,30    | 4,16    | 4,01    | 3,86    | 3,78    | 3,70    | 3,62    | 3,54    | 3,45    | 3,36     |
| 13                | 9,07    | 6,70    | 5,74  | 5,21    | 4,86    | 4,62    | 4,44    | 4,30    | 4,19    | 4,10    | 3,96    | 3,82    | 3,66    | 3,59    | 3,51    | 3,43    | 3,34    | 3,25    | 3,17     |
| 14                | 8,86    | 6,51    | 5,56  | 5,04    | 4,69    | 4,46    | 4,28    | 4,14    | 4,03    | 3,94    | 3,80    | 3,66    | 3,51    | 3,43    | 3,35    | 3,27    | 3,18    | 3,09    | 3,00     |
| 15                | 8,68    | 6,36    | 5,42  | 4,89    | 4,56    | 4,32    | 4,14    | 4,00    | 3,89    | 3,80    | 3,67    | 3,52    | 3,37    | 3,29    | 3,21    | 3,13    | 3,05    | 2,96    | 2,87     |
| 16                | 8,53    | 6,23    | 5,29  | 4,77    | 4,44    | 4,20    | 4,03    | 3,89    | 3,78    | 3,69    | 3,55    | 3,41    | 3,26    | 3,18    | 3,10    | 3,02    | 2,93    | 2,84    | 2,75     |
| 17                | 8,40    | 6,11    | 5,18  | 4,67    | 4,34    | 4,10    | 3,93    | 3,79    | 3,68    | 3,59    | 3,46    | 3,31    | 3,16    | 3,08    | 3,00    | 2,92    | 2,83    | 2,75    | 2,65     |
| 18                | 8,29    | 6,01    | 5,09  | 4,58    | 4,25    | 4,01    | 3,84    | 3,71    | 3,60    | 3,51    | 3,37    | 3,23    | 3,08    | 3,00    | 2,92    | 2,84    | 2,75    | 2,66    | 2,57     |
| 19                | 8,18    | 5,93    | 5,01  | 4,50    | 4,17    | 3,94    | 3,77    | 3,63    | 3,52    | 3,43    | 3,30    | 3,15    | 3,00    | 2,92    | 2,84    | 2,76    | 2,67    | 2,58    | 2,49     |
| 20                | 8,10    | 5,85    | 4,94  | 4,43    | 4,10    | 3,87    | 3,70    | 3,56    | 3,46    | 3,37    | 3,23    | 3,09    | 2,94    | 2,86    | 2,78    | 2,69    | 2,61    | 2,52    | 2,42     |
| 21                | 8,02    | 5,78    | 4,87  | 4,37    | 4,04    | 3,81    | 3,64    | 3,51    | 3,40    | 3,31    | 3,17    | 3,03    | 2,88    | 2,80    | 2,72    | 2,64    | 2,55    | 2,46    | 2,36     |
| 22                | 7,95    | 5,72    | 4,82  | 4,31    | 3,99    | 3,76    | 3,59    | 3,45    | 3,35    | 3,26    | 3,12    | 2,98    | 2,83    | 2,70    | 2,67    | 2,58    | 2,50    | 2,40    | 2,31     |
| 23                | 7,88    | 5,66    | 4,76  | 4,26    | 3,94    | 3,71    | 3,54    | 3,41    | 3,30    | 3,21    | 3,07    | 2,93    | 2,78    | 2,70    | 2,62    | 2,54    | 2,45    | 2,35    | 2,26     |
| 24                | 7,82    | 5,61    | 4,72  | 4,22    | 3,90    | 3,67    | 3,50    | 3,36    | 3,26    | 3,17    | 3,03    | 2,89    | 2,74    | 2,66    | 2,58    | 2,49    | 2,40    | 2,31    | 2,21     |
| 25                | 7,77    | 5,57    | 4,68  | 4,18    | 3,85    | 3,63    | 3,46    | 3,32    | 3,22    | 3,13    | 2,99    | 2,85    | 2,70    | 2,62    | 2,54    | 2,45    | 2,36    | 2,27    | 2,17     |
| 26                | 7,72    | 5,53    | 4,64  | 4,14    | 3,82    | 3,59    | 3,42    | 3,29    | 3,18    | 3,09    | 2,96    | 2,81    | 2,66    | 2,58    | 2,50    | 2,42    | 2,33    | 2,23    | 2,13     |
| 27                | 7,68    | 5,49    | 4,60  | 4,11    | 3,78    | 3,56    | 3,39    | 3,26    | 3,15    | 3,06    | 2,93    | 2,78    | 2,63    | 2,55    | 2,47    | 2,38    | 2,29    | 2,20    | 2,10     |
| 28                | 7,64    | 5,45    | 4,57  | 4,07    | 3,75    | 3,53    | 3,36    | 3,23    | 3,12    | 3,03    | 2,90    | 2,75    | 2,60    | 2,52    | 2,44    | 2,35    | 2,26    | 2,17    | 2,06     |
| 29                | 7,60    | 5,42    | 4,54  | 4,04    | 3,73    | 3,50    | 3,33    | 3,20    | 3,09    | 3,00    | 2,87    | 2,73    | 2,57    | 2,49    | 2,41    | 2,33    | 2,23    | 2,14    | 2,03     |
| 30                | 7,56    | 5,39    | 4,51  | 4,02    | 3,70    | 3,47    | 3,30    | 3,17    | 3,07    | 2,98    | 2,84    | 2,70    | 2,55    | 2,47    | 2,39    | 2,30    | 2,21    | 2,11    | 2,01     |
| 40                | 7,31    | 5,18    | 4,31  | 3,83    | 3,51    | 3,29    | 3,12    | 2,99    | 2,89    | 2,80    | 2,66    | 2,52    | 2,37    | 2,29    | 2,20    | 2,11    | 2,02    | 1,92    | 1,80     |
| 60                | 7,08    | 4,98    | 4,13  | 3,65    | 3,34    | 3,12    | 2,95    | 2,82    | 2,72    | 2,63    | 2,50    | 2,35    | 2,20    | 2,12    | 2,03    | 1,94    | 1,84    | 1,73    | 1,60     |
| 120               | 6,85    | 4,79    | 3,95  | 3,48    | 3,17    | 2,96    | 2,79    | 2,66    | 2,56    | 2,47    | 2,34    | 2,19    | 2,03    | 1,95    | 1,86    | 1,76    | 1,66    | 1,53    | 1,38     |
| $\infty$          | 6,63    | 4,61    | 3,78  | 3,32    | 3,02    | 2,80    | 2,64    | 2,51    | 2,41    | 2,32    | 2,18    | 2,04    | 1,88    | 1,79    | 1,70    | 1,59    | 1,47    | 1,32    | 1,00     |



$\alpha = 0,025 \quad v_1 = K - 1, \quad v_2 = N - K$

| $\frac{v_1}{v_2}$ | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 12     | 15     | 20     | 24     | 30      | 40      | 60      | 120     | $\infty$ |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 1                 | 647,80 | 799,50 | 864,20 | 899,60 | 921,80 | 937,10 | 946,20 | 956,70 | 963,30 | 968,60 | 976,70 | 984,90 | 993,10 | 997,20 | 1001,00 | 1006,00 | 1010,00 | 1014,00 | 1018,00  |
| 2                 | 38,51  | 39,00  | 39,17  | 39,25  | 39,30  | 39,33  | 39,36  | 39,37  | 39,39  | 39,40  | 39,41  | 39,43  | 39,45  | 39,46  | 39,46   | 39,47   | 39,48   | 39,49   | 39,50    |
| 3                 | 17,44  | 16,04  | 15,44  | 15,10  | 14,88  | 14,73  | 14,62  | 14,54  | 14,47  | 14,42  | 14,34  | 14,25  | 14,17  | 14,12  | 14,08   | 14,04   | 13,99   | 13,95   | 13,90    |
| 4                 | 12,22  | 10,65  | 9,98   | 9,60   | 9,36   | 9,20   | 9,07   | 8,98   | 8,90   | 8,84   | 8,75   | 8,66   | 8,56   | 8,51   | 8,46    | 8,41    | 8,36    | 8,31    | 8,26     |
| 5                 | 10,01  | 8,43   | 7,76   | 7,39   | 7,15   | 6,98   | 6,85   | 6,76   | 6,68   | 6,62   | 6,52   | 6,43   | 6,33   | 6,28   | 6,23    | 6,18    | 6,12    | 6,07    | 6,02     |
| 6                 | 8,81   | 7,26   | 6,60   | 6,23   | 5,99   | 5,82   | 5,70   | 5,60   | 5,52   | 5,46   | 5,37   | 5,27   | 5,17   | 5,12   | 5,07    | 5,01    | 4,96    | 4,90    | 4,85     |
| 7                 | 8,07   | 6,54   | 6,89   | 5,52   | 5,29   | 5,12   | 4,99   | 4,90   | 4,82   | 4,76   | 4,67   | 4,57   | 4,47   | 4,42   | 4,36    | 4,31    | 4,25    | 4,20    | 4,14     |
| 8                 | 7,57   | 8,06   | 6,42   | 5,05   | 4,82   | 4,65   | 4,53   | 4,43   | 4,36   | 4,30   | 4,20   | 4,10   | 4,00   | 3,95   | 3,89    | 3,84    | 3,78    | 3,73    | 3,67     |
| 9                 | 7,21   | 5,71   | 5,08   | 4,72   | 4,48   | 4,32   | 4,20   | 4,10   | 4,03   | 3,96   | 3,87   | 3,77   | 3,67   | 3,61   | 3,56    | 3,51    | 3,45    | 3,39    | 3,33     |
| 10                | 6,94   | 5,46   | 4,83   | 4,47   | 4,24   | 4,07   | 3,95   | 3,85   | 3,78   | 3,72   | 3,62   | 3,52   | 3,42   | 3,37   | 3,31    | 3,26    | 3,20    | 3,14    | 3,08     |
| 11                | 6,72   | 5,26   | 4,63   | 4,28   | 4,04   | 3,88   | 3,76   | 3,66   | 3,59   | 3,53   | 3,43   | 3,33   | 3,23   | 3,17   | 3,12    | 3,06    | 3,00    | 2,94    | 2,88     |
| 12                | 6,55   | 5,10   | 4,47   | 4,12   | 3,89   | 3,73   | 3,61   | 3,51   | 3,44   | 3,37   | 3,28   | 3,18   | 3,07   | 3,02   | 2,96    | 2,91    | 2,85    | 2,79    | 2,72     |
| 13                | 6,41   | 4,97   | 4,35   | 4,00   | 3,77   | 3,60   | 3,48   | 3,39   | 3,31   | 3,25   | 3,15   | 3,05   | 2,95   | 2,89   | 2,84    | 2,78    | 2,72    | 2,66    | 2,60     |
| 14                | 6,30   | 4,86   | 4,24   | 3,89   | 3,66   | 3,50   | 3,38   | 3,29   | 3,21   | 3,15   | 3,05   | 2,95   | 2,86   | 2,80   | 2,75    | 2,69    | 2,63    | 2,57    | 2,51     |
| 15                | 6,20   | 4,77   | 4,15   | 3,80   | 3,58   | 3,41   | 3,29   | 3,20   | 3,12   | 3,06   | 2,96   | 2,86   | 2,76   | 2,70   | 2,64    | 2,59    | 2,52    | 2,46    | 2,40     |
| 16                | 6,12   | 4,69   | 4,08   | 3,73   | 3,50   | 3,34   | 3,22   | 3,13   | 3,05   | 2,99   | 2,89   | 2,79   | 2,68   | 2,63   | 2,57    | 2,51    | 2,45    | 2,38    | 2,32     |
| 17                | 6,04   | 4,62   | 4,01   | 3,66   | 3,44   | 3,28   | 3,16   | 3,06   | 2,98   | 2,92   | 2,82   | 2,72   | 2,62   | 2,56   | 2,50    | 2,44    | 2,38    | 2,32    | 2,25     |
| 18                | 5,98   | 4,56   | 3,95   | 3,61   | 3,38   | 3,22   | 3,10   | 3,01   | 2,93   | 2,87   | 2,77   | 2,67   | 2,56   | 2,50   | 2,44    | 2,38    | 2,32    | 2,26    | 2,19     |
| 19                | 5,92   | 4,51   | 3,90   | 3,56   | 3,33   | 3,17   | 3,05   | 2,96   | 2,88   | 2,82   | 2,72   | 2,62   | 2,51   | 2,45   | 2,39    | 2,33    | 2,27    | 2,20    | 2,13     |
| 20                | 5,87   | 4,46   | 3,86   | 3,51   | 3,29   | 3,13   | 3,01   | 2,91   | 2,84   | 2,77   | 2,68   | 2,57   | 2,46   | 2,41   | 2,35    | 2,29    | 2,22    | 2,16    | 2,09     |
| 21                | 5,83   | 4,42   | 3,82   | 3,48   | 3,25   | 3,09   | 2,97   | 2,87   | 2,80   | 2,73   | 2,64   | 2,53   | 2,42   | 2,37   | 2,31    | 2,25    | 2,18    | 2,11    | 2,04     |
| 22                | 5,79   | 4,38   | 3,78   | 3,44   | 3,22   | 3,05   | 2,93   | 2,84   | 2,76   | 2,70   | 2,60   | 2,50   | 2,39   | 2,33   | 2,27    | 2,21    | 2,14    | 2,08    | 2,00     |
| 23                | 5,6    | 4,35   | 3,75   | 3,41   | 3,18   | 3,02   | 2,90   | 2,81   | 2,73   | 2,67   | 2,57   | 2,47   | 2,36   | 2,30   | 2,24    | 2,18    | 2,11    | 2,04    | 1,97     |
| 24                | 5,72   | 4,32   | 3,72   | 3,38   | 3,15   | 2,99   | 2,87   | 2,78   | 2,70   | 2,64   | 2,54   | 2,44   | 2,33   | 2,27   | 2,21    | 2,15    | 2,08    | 2,01    | 1,94     |
| 25                | 5,69   | 4,29   | 3,69   | 3,35   | 3,13   | 3,02   | 2,90   | 2,81   | 2,73   | 2,67   | 2,57   | 2,47   | 2,36   | 2,30   | 2,24    | 2,18    | 2,11    | 2,04    | 1,97     |
| 26                | 5,66   | 4,27   | 3,67   | 3,33   | 3,10   | 2,94   | 2,82   | 2,73   | 2,65   | 2,59   | 2,49   | 2,39   | 2,28   | 2,22   | 2,16    | 2,09    | 2,03    | 1,95    | 1,88     |
| 27                | 5,63   | 4,24   | 3,65   | 3,31   | 3,08   | 2,92   | 2,80   | 2,71   | 2,63   | 2,57   | 2,47   | 2,36   | 2,25   | 2,19   | 2,13    | 2,07    | 2,00    | 1,93    | 1,85     |
| 28                | 5,61   | 4,22   | 3,63   | 3,29   | 3,06   | 2,90   | 2,78   | 2,69   | 2,61   | 2,55   | 2,45   | 2,34   | 2,23   | 2,17   | 2,11    | 2,05    | 1,98    | 1,91    | 1,83     |
| 29                | 5,59   | 4,20   | 3,61   | 3,27   | 3,04   | 2,88   | 2,76   | 2,67   | 2,59   | 2,53   | 2,43   | 2,32   | 2,21   | 2,15   | 2,09    | 2,03    | 1,96    | 1,89    | 1,81     |
| 30                | 5,57   | 4,18   | 3,59   | 3,25   | 3,03   | 2,87   | 2,75   | 2,66   | 2,57   | 2,51   | 2,41   | 2,31   | 2,20   | 2,14   | 2,07    | 2,01    | 1,94    | 1,87    | 1,79     |
| 40                | 5,42   | 4,05   | 3,46   | 3,13   | 2,90   | 2,74   | 2,62   | 2,53   | 2,45   | 2,39   | 2,29   | 2,18   | 2,07   | 2,01   | 1,94    | 1,88    | 1,80    | 1,72    | 1,64     |
| 60                | 5,29   | 3,93   | 3,34   | 3,01   | 2,79   | 2,63   | 2,51   | 2,41   | 2,33   | 2,27   | 2,17   | 2,06   | 1,94   | 1,88   | 1,82    | 1,74    | 1,67    | 1,58    | 1,48     |
| 120               | 5,15   | 3,80   | 3,23   | 2,89   | 2,67   | 2,52   | 2,39   | 2,30   | 2,22   | 2,16   | 2,05   | 1,94   | 1,82   | 1,76   | 1,69    | 1,61    | 1,53    | 1,43    | 1,31     |
| $\infty$          | 5,02   | 3,69   | 3,12   | 2,79   | 2,57   | 2,41   | 2,29   | 2,19   | 2,11   | 2,05   | 1,94   | 1,83   | 1,71   | 1,64   | 1,57    | 1,48    | 1,39    | 1,27    | 1,00     |

$\alpha = 0,05 \quad v_1 = K - 1, v_2 = N - K$

| $\frac{v_1}{v_2}$ | 1      | 2      | 3      | 4       | 5      | 6      | 7       | 8      | 9      | 10     | 12     | 15     | 20     | 24     | 30     | 40     | 60     | 120    | $\infty$ |
|-------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| 1                 | 161,40 | 199,50 | 215,70 | 2246,00 | 230,20 | 234,00 | 2368,00 | 238,90 | 240,50 | 241,90 | 243,90 | 245,90 | 248,00 | 249,10 | 250,10 | 251,10 | 252,20 | 253,30 | 254,30   |
| 2                 | 18,51  | 19,00  | 19,16  | 19,25   | 19,30  | 19,33  | 19,35   | 19,37  | 19,38  | 19,40  | 19,41  | 19,43  | 19,45  | 19,45  | 19,46  | 19,47  | 19,48  | 19,49  | 19,50    |
| 3                 | 10,13  | 9,55   | 9,28   | 9,12    | 9,01   | 8,94   | 8,89    | 8,85   | 8,81   | 8,79   | 8,74   | 8,70   | 8,66   | 8,64   | 8,62   | 8,59   | 8,57   | 8,55   | 8,53     |
| 4                 | 7,71   | 6,94   | 6,59   | 6,39    | 6,26   | 6,16   | 6,09    | 6,04   | 6,02   | 5,96   | 5,91   | 5,86   | 5,80   | 5,77   | 5,75   | 5,72   | 5,69   | 5,66   | 5,63     |
| 5                 | 6,61   | 5,79   | 5,41   | 5,19    | 5,05   | 4,95   | 4,88    | 4,82   | 4,77   | 4,74   | 4,68   | 4,62   | 4,56   | 4,53   | 4,50   | 4,46   | 4,43   | 4,40   | 4,36     |
| 6                 | 5,99   | 5,14   | 4,76   | 4,53    | 4,39   | 4,28   | 4,21    | 4,15   | 4,10   | 4,06   | 4,00   | 3,94   | 3,87   | 3,84   | 3,81   | 3,77   | 3,74   | 3,70   | 3,67     |
| 7                 | 5,59   | 4,74   | 4,35   | 4,12    | 3,97   | 3,87   | 3,79    | 3,73   | 3,68   | 3,64   | 3,57   | 3,51   | 3,44   | 3,41   | 3,38   | 3,34   | 3,30   | 3,27   | 3,23     |
| 8                 | 5,32   | 4,46   | 4,07   | 3,84    | 3,69   | 3,58   | 3,50    | 3,44   | 3,39   | 3,35   | 3,28   | 3,22   | 3,15   | 3,12   | 3,08   | 3,04   | 3,01   | 2,97   | 2,93     |
| 9                 | 5,12   | 4,26   | 3,86   | 3,63    | 3,48   | 3,37   | 3,29    | 3,23   | 3,18   | 3,14   | 3,07   | 3,01   | 2,94   | 2,90   | 2,86   | 2,83   | 2,79   | 2,75   | 2,71     |
| 10                | 4,96   | 4,10   | 3,71   | 3,48    | 3,33   | 3,22   | 3,14    | 3,07   | 3,02   | 2,98   | 2,90   | 2,85   | 2,77   | 2,74   | 2,70   | 2,66   | 2,62   | 2,58   | 2,54     |
| 11                | 4,84   | 3,98   | 3,59   | 3,36    | 3,20   | 3,09   | 3,01    | 2,95   | 2,90   | 2,85   | 2,79   | 2,72   | 2,65   | 2,61   | 2,57   | 2,53   | 2,49   | 2,45   | 2,40     |
| 12                | 4,75   | 3,89   | 3,49   | 3,26    | 3,11   | 3,00   | 2,91    | 2,85   | 2,80   | 2,75   | 2,69   | 2,62   | 2,54   | 2,51   | 2,47   | 2,43   | 2,38   | 2,34   | 2,30     |
| 13                | 4,67   | 3,81   | 3,41   | 3,18    | 3,03   | 2,92   | 2,83    | 2,77   | 2,71   | 2,67   | 2,60   | 2,53   | 2,46   | 2,42   | 2,38   | 2,34   | 2,30   | 2,25   | 2,21     |
| 14                | 4,60   | 3,74   | 3,34   | 3,11    | 2,96   | 2,85   | 2,76    | 2,70   | 2,65   | 2,60   | 2,53   | 2,46   | 2,39   | 2,35   | 2,31   | 2,27   | 2,22   | 2,18   | 2,13     |
| 15                | 4,54   | 3,68   | 3,29   | 3,06    | 2,90   | 2,79   | 2,71    | 2,64   | 2,59   | 2,54   | 2,48   | 2,40   | 2,33   | 2,29   | 2,25   | 2,20   | 2,16   | 2,11   | 2,07     |
| 16                | 4,49   | 3,63   | 3,24   | 3,01    | 2,85   | 2,74   | 2,66    | 2,59   | 2,54   | 2,49   | 2,42   | 2,35   | 2,28   | 2,24   | 2,19   | 2,15   | 2,11   | 2,06   | 2,01     |
| 17                | 4,45   | 3,59   | 3,20   | 2,96    | 2,81   | 2,70   | 2,61    | 2,55   | 2,49   | 2,45   | 2,38   | 2,31   | 2,23   | 2,19   | 2,15   | 2,10   | 2,06   | 2,01   | 1,96     |
| 18                | 4,41   | 3,55   | 3,16   | 2,93    | 2,77   | 2,66   | 2,58    | 2,51   | 2,46   | 2,41   | 2,34   | 2,27   | 2,19   | 2,15   | 2,11   | 2,06   | 2,02   | 1,97   | 1,92     |
| 19                | 4,38   | 3,52   | 3,13   | 2,90    | 2,74   | 2,63   | 2,54    | 2,48   | 2,42   | 2,38   | 2,31   | 2,23   | 2,16   | 2,11   | 2,07   | 2,03   | 1,98   | 1,93   | 1,88     |
| 20                | 4,35   | 3,49   | 3,10   | 2,87    | 2,70   | 2,60   | 2,51    | 2,45   | 2,39   | 2,35   | 2,28   | 2,20   | 2,12   | 2,08   | 2,04   | 1,99   | 1,95   | 1,90   | 1,84     |
| 21                | 4,32   | 3,47   | 3,07   | 2,84    | 2,68   | 2,57   | 2,49    | 2,42   | 2,37   | 2,32   | 2,25   | 2,18   | 2,10   | 2,05   | 2,01   | 1,96   | 1,92   | 1,87   | 1,81     |
| 22                | 4,30   | 3,44   | 3,05   | 2,82    | 2,66   | 2,55   | 2,46    | 2,40   | 2,34   | 2,30   | 2,23   | 2,15   | 2,07   | 2,03   | 1,98   | 1,94   | 1,89   | 1,84   | 1,78     |
| 23                | 4,28   | 3,42   | 3,03   | 2,80    | 2,64   | 2,53   | 2,44    | 2,37   | 2,32   | 2,27   | 2,20   | 2,13   | 2,05   | 2,01   | 1,96   | 1,91   | 1,86   | 1,81   | 1,76     |
| 24                | 4,26   | 3,40   | 3,01   | 2,78    | 2,62   | 2,51   | 2,42    | 2,36   | 2,30   | 2,25   | 2,18   | 2,11   | 2,03   | 1,98   | 1,94   | 1,89   | 1,84   | 1,79   | 1,73     |
| 25                | 4,24   | 3,39   | 2,99   | 2,76    | 2,60   | 2,49   | 2,40    | 2,34   | 2,28   | 2,24   | 2,16   | 2,09   | 2,01   | 1,96   | 1,92   | 1,87   | 1,82   | 1,77   | 1,71     |
| 26                | 4,23   | 3,37   | 2,98   | 2,74    | 2,59   | 2,47   | 2,39    | 2,32   | 2,27   | 2,22   | 2,15   | 2,07   | 1,99   | 1,95   | 1,90   | 1,85   | 1,80   | 1,75   | 1,69     |
| 27                | 4,21   | 3,35   | 2,96   | 2,73    | 2,57   | 2,46   | 2,37    | 2,31   | 2,25   | 2,20   | 2,13   | 2,06   | 1,97   | 1,93   | 1,88   | 1,84   | 1,79   | 1,73   | 1,67     |
| 28                | 4,20   | 3,34   | 2,95   | 2,71    | 2,56   | 2,45   | 2,36    | 2,29   | 2,24   | 2,19   | 2,12   | 2,04   | 1,96   | 1,91   | 1,87   | 1,82   | 1,77   | 1,71   | 1,65     |
| 29                | 4,18   | 3,33   | 2,93   | 2,70    | 2,55   | 2,43   | 2,35    | 2,28   | 2,22   | 2,18   | 2,10   | 2,03   | 1,94   | 1,90   | 1,85   | 1,81   | 1,75   | 1,70   | 1,64     |
| 30                | 4,17   | 3,32   | 2,92   | 2,69    | 2,53   | 2,42   | 2,33    | 2,27   | 2,21   | 2,16   | 2,10   | 2,02   | 1,93   | 1,89   | 1,84   | 1,79   | 1,74   | 1,68   | 1,62     |
| 40                | 4,08   | 3,23   | 2,84   | 2,61    | 2,45   | 2,34   | 2,25    | 2,18   | 2,12   | 2,08   | 2,00   | 1,92   | 1,84   | 1,79   | 1,74   | 1,69   | 1,64   | 1,58   | 1,51     |
| 60                | 4,00   | 3,15   | 2,76   | 2,53    | 2,37   | 2,25   | 2,17    | 2,10   | 2,04   | 1,99   | 1,92   | 1,84   | 1,75   | 1,70   | 1,65   | 1,59   | 1,53   | 1,47   | 1,39     |
| 120               | 3,92   | 3,07   | 2,68   | 2,45    | 2,29   | 2,17   | 2,09    | 2,02   | 1,96   | 1,91   | 1,83   | 1,75   | 1,66   | 1,61   | 1,55   | 1,50   | 1,43   | 1,35   | 1,25     |
| $\infty$          | 3,84   | 3,00   | 2,60   | 2,37    | 2,21   | 2,10   | 2,01    | 1,94   | 1,88   | 1,83   | 1,75   | 1,67   | 1,57   | 1,52   | 1,46   | 1,39   | 1,32   | 1,22   | 1,00     |

$\alpha = 0,1 \quad v_1 = K - 1, v_2 = N - K$

| $v_1 \backslash v_2$ | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 12    | 15    | 20    | 24    | 30    | 40    | 60    | 120   | $\infty$ |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1                    | 39,86 | 49,50 | 53,59 | 56,83 | 57,24 | 58,20 | 58,91 | 59,44 | 59,86 | 60,19 | 60,71 | 61,22 | 61,74 | 62,00 | 62,26 | 62,53 | 62,79 | 63,06 | 63,33    |
| 2                    | 8,53  | 9,00  | 9,16  | 9,24  | 9,29  | 9,33  | 9,35  | 9,37  | 9,38  | 9,39  | 9,41  | 9,42  | 9,44  | 9,45  | 9,46  | 9,47  | 9,47  | 9,48  | 9,49     |
| 3                    | 5,54  | 5,46  | 5,39  | 5,34  | 5,31  | 5,28  | 5,27  | 5,25  | 5,24  | 5,23  | 5,22  | 5,20  | 5,18  | 5,18  | 5,17  | 5,16  | 5,15  | 5,14  | 5,13     |
| 4                    | 4,54  | 4,32  | 4,19  | 4,11  | 4,05  | 4,01  | 3,98  | 3,95  | 3,94  | 3,92  | 3,90  | 3,87  | 3,84  | 3,83  | 3,82  | 3,80  | 3,79  | 3,78  | 3,76     |
| 5                    | 4,06  | 3,78  | 3,62  | 3,52  | 3,45  | 3,40  | 3,37  | 3,34  | 3,32  | 3,30  | 3,27  | 3,24  | 3,21  | 3,19  | 3,17  | 3,16  | 3,14  | 3,12  | 3,10     |
| 6                    | 3,78  | 3,46  | 3,29  | 3,18  | 3,11  | 3,05  | 3,01  | 2,98  | 2,96  | 2,94  | 2,90  | 2,87  | 2,84  | 2,82  | 2,80  | 2,78  | 2,76  | 2,74  | 2,72     |
| 7                    | 3,59  | 3,26  | 3,07  | 2,96  | 2,88  | 2,83  | 2,78  | 2,75  | 2,72  | 2,70  | 2,67  | 2,63  | 2,59  | 2,58  | 2,56  | 2,54  | 2,51  | 2,49  | 2,47     |
| 8                    | 3,46  | 3,11  | 2,92  | 2,81  | 2,73  | 2,67  | 2,62  | 2,59  | 2,56  | 2,54  | 2,50  | 2,46  | 2,42  | 2,40  | 2,38  | 2,36  | 2,34  | 2,32  | 2,29     |
| 9                    | 3,36  | 3,10  | 2,81  | 2,69  | 2,61  | 2,55  | 2,51  | 2,47  | 2,44  | 2,42  | 2,38  | 2,34  | 2,30  | 2,28  | 2,25  | 2,23  | 2,21  | 2,18  | 2,16     |
| 10                   | 3,29  | 2,92  | 2,73  | 2,61  | 2,52  | 2,46  | 2,41  | 2,38  | 2,35  | 2,32  | 2,28  | 2,24  | 2,20  | 2,18  | 2,16  | 2,13  | 2,11  | 2,08  | 2,06     |
| 11                   | 3,23  | 2,86  | 2,66  | 2,54  | 2,45  | 2,39  | 2,34  | 2,30  | 2,27  | 2,25  | 2,21  | 2,17  | 2,12  | 2,10  | 2,08  | 2,05  | 2,03  | 2,00  | 1,97     |
| 12                   | 3,18  | 2,81  | 2,61  | 2,48  | 2,39  | 2,33  | 2,28  | 2,24  | 2,21  | 2,19  | 2,15  | 2,10  | 2,05  | 2,01  | 2,01  | 1,96  | 1,93  | 1,88  | 1,85     |
| 13                   | 3,14  | 2,76  | 2,56  | 2,43  | 2,35  | 2,28  | 2,23  | 2,20  | 2,16  | 2,14  | 2,10  | 2,05  | 2,01  | 1,96  | 1,94  | 1,91  | 1,89  | 1,86  | 1,80     |
| 14                   | 3,10  | 2,73  | 2,52  | 2,39  | 2,31  | 2,24  | 2,19  | 2,15  | 2,12  | 2,10  | 2,05  | 2,02  | 1,97  | 1,92  | 1,90  | 1,87  | 1,85  | 1,82  | 1,76     |
| 15                   | 3,07  | 2,70  | 2,49  | 2,36  | 2,27  | 2,21  | 2,16  | 2,12  | 2,09  | 2,06  | 2,02  | 1,97  | 1,94  | 1,89  | 1,87  | 1,84  | 1,81  | 1,78  | 1,72     |
| 16                   | 3,05  | 2,67  | 2,46  | 2,33  | 2,24  | 2,18  | 2,13  | 2,09  | 2,06  | 2,03  | 1,99  | 1,94  | 1,89  | 1,86  | 1,84  | 1,81  | 1,78  | 1,75  | 1,69     |
| 17                   | 3,03  | 2,64  | 2,44  | 2,31  | 2,22  | 2,15  | 2,10  | 2,06  | 2,03  | 2,00  | 1,96  | 1,91  | 1,86  | 1,84  | 1,81  | 1,78  | 1,75  | 1,72  | 1,66     |
| 18                   | 3,01  | 2,62  | 2,42  | 2,29  | 2,20  | 2,13  | 2,08  | 2,04  | 2,00  | 1,98  | 1,93  | 1,89  | 1,84  | 1,81  | 1,78  | 1,75  | 1,73  | 1,70  | 1,63     |
| 19                   | 2,99  | 2,61  | 2,40  | 2,27  | 2,18  | 2,11  | 2,06  | 2,02  | 1,98  | 1,96  | 1,91  | 1,86  | 1,81  | 1,79  | 1,76  | 1,73  | 1,71  | 1,68  | 1,61     |
| 20                   | 2,97  | 2,59  | 2,38  | 2,25  | 2,16  | 2,09  | 2,04  | 2,00  | 1,96  | 1,94  | 1,89  | 1,84  | 1,79  | 1,77  | 1,74  | 1,71  | 1,68  | 1,64  | 1,59     |
| 21                   | 2,96  | 2,57  | 2,36  | 2,23  | 2,14  | 2,08  | 2,02  | 1,98  | 1,95  | 1,92  | 1,87  | 1,83  | 1,78  | 1,75  | 1,72  | 1,69  | 1,66  | 1,62  | 1,57     |
| 22                   | 2,95  | 2,56  | 2,35  | 2,22  | 2,13  | 2,06  | 2,01  | 1,97  | 1,93  | 1,90  | 1,86  | 1,81  | 1,76  | 1,73  | 1,70  | 1,67  | 1,64  | 1,60  | 1,53     |
| 23                   | 2,94  | 2,55  | 2,34  | 2,21  | 2,11  | 2,05  | 1,99  | 1,95  | 1,92  | 1,89  | 1,84  | 1,80  | 1,74  | 1,72  | 1,69  | 1,66  | 1,62  | 1,59  | 1,52     |
| 24                   | 2,93  | 2,54  | 2,33  | 2,19  | 2,10  | 2,04  | 1,98  | 1,94  | 1,91  | 1,88  | 1,83  | 1,78  | 1,73  | 1,70  | 1,67  | 1,64  | 1,61  | 1,57  | 1,50     |
| 25                   | 2,92  | 2,53  | 2,32  | 2,18  | 2,09  | 2,02  | 1,97  | 1,93  | 1,89  | 1,87  | 1,82  | 1,77  | 1,72  | 1,69  | 1,66  | 1,63  | 1,59  | 1,56  | 1,49     |
| 26                   | 2,91  | 2,52  | 2,31  | 2,17  | 2,08  | 2,01  | 1,96  | 1,92  | 1,88  | 1,86  | 1,81  | 1,76  | 1,71  | 1,68  | 1,65  | 1,61  | 1,58  | 1,54  | 1,47     |
| 27                   | 2,90  | 2,51  | 2,30  | 2,17  | 2,07  | 2,00  | 1,95  | 1,91  | 1,87  | 1,85  | 1,80  | 1,75  | 1,70  | 1,67  | 1,64  | 1,60  | 1,56  | 1,53  | 1,48     |
| 28                   | 2,89  | 2,50  | 2,29  | 2,16  | 2,06  | 2,00  | 1,94  | 1,90  | 1,87  | 1,84  | 1,79  | 1,74  | 1,69  | 1,66  | 1,63  | 1,59  | 1,56  | 1,52  | 1,47     |
| 29                   | 2,89  | 2,50  | 2,28  | 2,15  | 2,06  | 1,99  | 1,93  | 1,89  | 1,86  | 1,83  | 1,78  | 1,73  | 1,68  | 1,65  | 1,62  | 1,58  | 1,55  | 1,51  | 1,46     |
| 30                   | 2,88  | 2,49  | 2,28  | 2,14  | 2,05  | 1,98  | 1,93  | 1,88  | 1,85  | 1,82  | 1,77  | 1,72  | 1,67  | 1,64  | 1,61  | 1,57  | 1,54  | 1,50  | 1,46     |
| 40                   | 2,84  | 2,44  | 2,23  | 2,09  | 2,00  | 1,93  | 1,87  | 1,83  | 1,79  | 1,76  | 1,71  | 1,66  | 1,61  | 1,57  | 1,54  | 1,51  | 1,47  | 1,42  | 1,38     |
| 60                   | 2,79  | 2,39  | 2,18  | 2,04  | 1,95  | 1,87  | 1,82  | 1,77  | 1,74  | 1,71  | 1,66  | 1,60  | 1,54  | 1,51  | 1,48  | 1,44  | 1,40  | 1,35  | 1,29     |
| 120                  | 2,75  | 2,35  | 2,13  | 1,99  | 1,90  | 1,82  | 1,77  | 1,72  | 1,68  | 1,65  | 1,60  | 1,55  | 1,48  | 1,45  | 1,41  | 1,37  | 1,32  | 1,22  | 1,19     |
| $\infty$             | 2,71  | 2,30  | 2,08  | 1,94  | 1,85  | 1,77  | 1,72  | 1,67  | 1,63  | 1,60  | 1,55  | 1,49  | 1,42  | 1,38  | 1,34  | 1,30  | 1,24  | 1,17  | 1,00     |

## BẢNG TRA DÙNG CHO KIỂM ĐỊNH STUDENT (F TEST)

$$v = n - K \text{ (n là độ dài chuỗi, K là số biến độc lập)}$$

|     | Q=0,4   | 0,25  | 0,1   | 0,05  | 0,025  | 0,01   | 0,005  | 0,0025  | 0,001    | 0,0005   |
|-----|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|----------|----------|
| v   | 2Q= 0,8 | 0,5   | 0,2   | 0,1   | 0,05   | 0,02   | 0,01   | 0,005   | 0,002    | 0,001    |
| 1   | 0,325   | 1,000 | 3,078 | 6,314 | 12,706 | 31,821 | 36,657 | 127,320 | 318,310  | 336,320  |
| 2   | 0,289   | 0,816 | 1,886 | 2,920 | 4,303  | 6,965  | 9,928  | 14,089  | 22,327   | 31,598   |
| 3   | 0,277   | 0,765 | 1,638 | 1,353 | 3,182  | 4,541  | 5,841  | 7,453   | 1021,400 | 1292,400 |
| 4   | 0,271   | 0,741 | 1,533 | 1,232 | 2,776  | 3,747  | 4,604  | 5,598   | 7,173    | 8,610    |
| 5   | 0,267   | 0,727 | 1,476 | 2,015 | 2,571  | 3,365  | 4,032  | 4,773   | 5,893    | 6,869    |
| 6   | 0,265   | 0,718 | 1,440 | 1,943 | 2,447  | 3,143  | 3,707  | 4,317   | 5,208    | 5,959    |
| 7   | 0,263   | 0,711 | 1,415 | 1,895 | 2,365  | 2,998  | 3,499  | 4,029   | 4,785    | 5,408    |
| 8   | 0,262   | 0,706 | 1,397 | 1,860 | 2,306  | 2,896  | 3,355  | 3,833   | 4,501    | 5,041    |
| 9   | 0,261   | 0,703 | 1,383 | 1,333 | 2,261  | 2,821  | 3,250  | 3,690   | 4,297    | 4,781    |
| 10  | 0,260   | 0,700 | 1,372 | 1,812 | 2,228  | 2,764  | 3,169  | 3,581   | 4,144    | 4,587    |
| 11  | 0,260   | 0,697 | 1,363 | 1,796 | 2,201  | 2,718  | 3,106  | 3,497   | 4,025    | 4,437    |
| 12  | 0,259   | 0,695 | 1,356 | 1,782 | 2,179  | 2,681  | 3,055  | 3,428   | 3,930    | 4,318    |
| 13  | 0,259   | 0,694 | 1,350 | 1,771 | 2,160  | 2,650  | 3,012  | 3,372   | 3,852    | 4,221    |
| 14  | 0,258   | 0,692 | 1,345 | 1,761 | 2,145  | 2,624  | 2,997  | 3,326   | 2,787    | 4,140    |
| 15  | 0,258   | 0,691 | 1,341 | 1,753 | 2,131  | 2,602  | 2,947  | 3,286   | 3,733    | 4,073    |
| 16  | 0,258   | 0,690 | 1,337 | 1,746 | 2,120  | 2,583  | 2,921  | 3,252   | 3,686    | 4,015    |
| 17  | 0,257   | 0,689 | 1,333 | 1,740 | 2,110  | 2,567  | 2,898  | 3,222   | 3,646    | 3,965    |
| 18  | 0,257   | 0,688 | 1,330 | 1,734 | 2,101  | 2,552  | 2,878  | 3,197   | 3,610    | 3,922    |
| 19  | 0,257   | 0,688 | 1,328 | 1,729 | 2,093  | 2,539  | 2,861  | 3,174   | 3,579    | 3,883    |
| 20  | 0,257   | 0,687 | 1,325 | 1,725 | 2,086  | 2,528  | 2,845  | 3,153   | 3,552    | 3,850    |
| 21  | 0,257   | 0,686 | 1,323 | 1,721 | 2,080  | 2,518  | 2,831  | 3,135   | 3,527    | 3,819    |
| 22  | 0,256   | 0,686 | 1,321 | 1,717 | 2,074  | 2,508  | 2,819  | 3,119   | 3,505    | 3,792    |
| 23  | 0,256   | 0,685 | 1,319 | 1,714 | 2,069  | 2,500  | 2,807  | 3,104   | 3,485    | 3,765    |
| 24  | 0,256   | 0,685 | 1,318 | 1,711 | 2,064  | 2,492  | 2,797  | 3,091   | 3,467    | 3,745    |
| 25  | 0,256   | 0,684 | 1,316 | 1,708 | 2,060  | 2,485  | 2,787  | 3,078   | 3,450    | 3,725    |
| 26  | 0,256   | 0,684 | 1,315 | 1,706 | 2,056  | 2,479  | 2,779  | 3,067   | 3,435    | 3,707    |
| 27  | 0,256   | 0,684 | 1,314 | 1,703 | 2,052  | 2,473  | 2,771  | 3,057   | 3,421    | 3,690    |
| 28  | 0,256   | 0,683 | 1,313 | 1,701 | 2,048  | 2,467  | 2,763  | 3,047   | 3,408    | 3,674    |
| 29  | 0,256   | 0,683 | 1,311 | 1,699 | 2,045  | 2,462  | 2,756  | 3,038   | 3,396    | 3,659    |
| 30  | 0,256   | 0,683 | 1,310 | 1,697 | 2,042  | 2,457  | 2,750  | 3,030   | 3,385    | 3,646    |
| 40  | 0,256   | 0,681 | 1,303 | 1,684 | 2,021  | 2,523  | 2,704  | 2,971   | 3,307    | 3,551    |
| 60  | 0,255   | 0,679 | 1,296 | 1,671 | 2,000  | 2,390  | 2,660  | 2,915   | 3,232    | 3,460    |
| 120 | 0,254   | 0,677 | 1,289 | 1,658 | 1,980  | 2,358  | 2,617  | 2,860   | 3,160    | 3,373    |
|     | 0,253   | 0,674 | 1,282 | 1,465 | 1,960  | 2,326  | 2,576  | 2,807   | 3,090    | 3,291    |

## Phụ lục 2

## MÀN HÌNH VÀO SỐ LIỆU CHO MÔ HÌNH CORMIX

**CORMIX -- CORNELL MIXING ZONE EXPERT S'YS'TEM -- Version 3.00-3.20**

SITE Name \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_  
 DesignCASE \_\_\_\_\_ Prepped by: \_\_\_\_\_  
 DOS FILE NAME \_\_\_\_\_ (wto extension)

AMBIENT DATA: Water body is bounded/unbounded  
 Water body depth \_\_\_\_\_ m If bounded: Width \_\_\_\_\_ m  
 Depth at discharge \_\_\_\_\_ m Appearance 1/2/3  
 If steady: Ambient flowrate \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s or: Ambient velocity \_\_\_\_\_ m/s

If tidal: tidal period \_\_\_\_\_ Max, tidal velocity: \_\_\_\_\_ m/s  
 At time \_\_\_\_\_ hr : Before/at/after slack: Tidal velocity at this time \_\_\_\_\_ m/s

Manning's n \_\_\_\_\_ or: Darcy-Weisbach f \_\_\_\_\_ m/s  
 Wind speed \_\_\_\_\_ m/s

Density data: UNIST: Density...kg/m<sup>3</sup>/Temperature ... °C  
 Water body is fresh/salt water If fresh: Specify as density/temp, values  
 If un form: Average density/temp \_\_\_\_\_

If stratified: Density/temp at surface \_\_\_\_\_  
 Stratification tipy A/B/C Density/temp at bottom \_\_\_\_\_  
 If B/C: Pycnocline height \_\_\_\_\_ m If C: Density/temp jump \_\_\_\_\_

**DISCHARGE DATA:**

Specify gomtry for CORMIX1 or 2 or 3

**SUBMERGED SINGLE PORT DISCHARGE - CORMIX1**

Nearest bank is on left/right Distance to nearest bank \_\_\_\_\_ m  
 Vertical angle THETA \_\_\_\_\_ ° Horizontal angle SIGMA \_\_\_\_\_  
 Port diameter \_\_\_\_\_ m or Port area \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  
 Port height \_\_\_\_\_ m

**SUBMERGED MULTII DIFFUSER DISCHARGE - CORMIX2**

Nearest bank is on left/right Distance to one endpoint \_\_\_\_\_ m  
 Diffuser length \_\_\_\_\_ to other endpoint \_\_\_\_\_ m  
 Total number of openings \_\_\_\_\_ m Port height \_\_\_\_\_ m  
 Port diameter \_\_\_\_\_ m with contraction ratio \_\_\_\_\_  
 Diffuser arrangement/type unidirectional/staged/alternating or vertical  
 Alignment angle GAMMA \_\_\_\_\_ ° Horizontal angle SIGMA \_\_\_\_\_ °  
 Vertical angle THETA \_\_\_\_\_ ° Relative orientation BETA \_\_\_\_\_

**BUOYANT SURFACE DISCHARGE -- CORMIX3**

Dischant located on left/right bank Configuration flush/protruding/co-flowing  
 Horizontal angle SIGMA \_\_\_\_\_ ° If protruding; Dist. from bank \_\_\_\_\_ m  
 Depth at discharge \_\_\_\_\_ m Bottom slope \_\_\_\_\_  
 If rectangular Width \_\_\_\_\_ m or If circular Diameter \_\_\_\_\_ m  
 discharge channel; Depth \_\_\_\_\_ m pipe: Bottom invert depth \_\_\_\_\_ m

**Effluent:** Flow rate \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/s or Effluent velocity \_\_\_\_\_ m/s  
 Effluent density \_\_\_\_\_ kg/m<sup>3</sup> or Effluent temperature \_\_\_\_\_ °C  
 Heated discharge? yes/no If yes: Heat loss coefficient \_\_\_\_\_ W/m<sup>2</sup>, °C  
 Concentration units \_\_\_\_\_ Effluent concentration \_\_\_\_\_  
 Conservative substance? yes/no If no: Decay coefficient \_\_\_\_\_ /day

**MIXING ZONE DATA**

Is effluent toxic? yes/no If yes: CMC \_\_\_\_\_ CCC \_\_\_\_\_  
 WO stand/conventional poll.? yes/no If yes: values of standard \_\_\_\_\_  
 Any mixing zone specified? yes/no If yes: distance \_\_\_\_\_ m or width \_\_\_\_\_ % or m  
 area \_\_\_\_\_ % or m

Radon of interest \_\_\_\_\_ m Grid Intervals far display \_\_\_\_\_

PHÂN LOẠI CORMIX1: ĐÁNH GIÁ CÁC LỚP PHÂN TẦNG MẬT ĐỘ VÀ LỚP DÒNG CHẢY

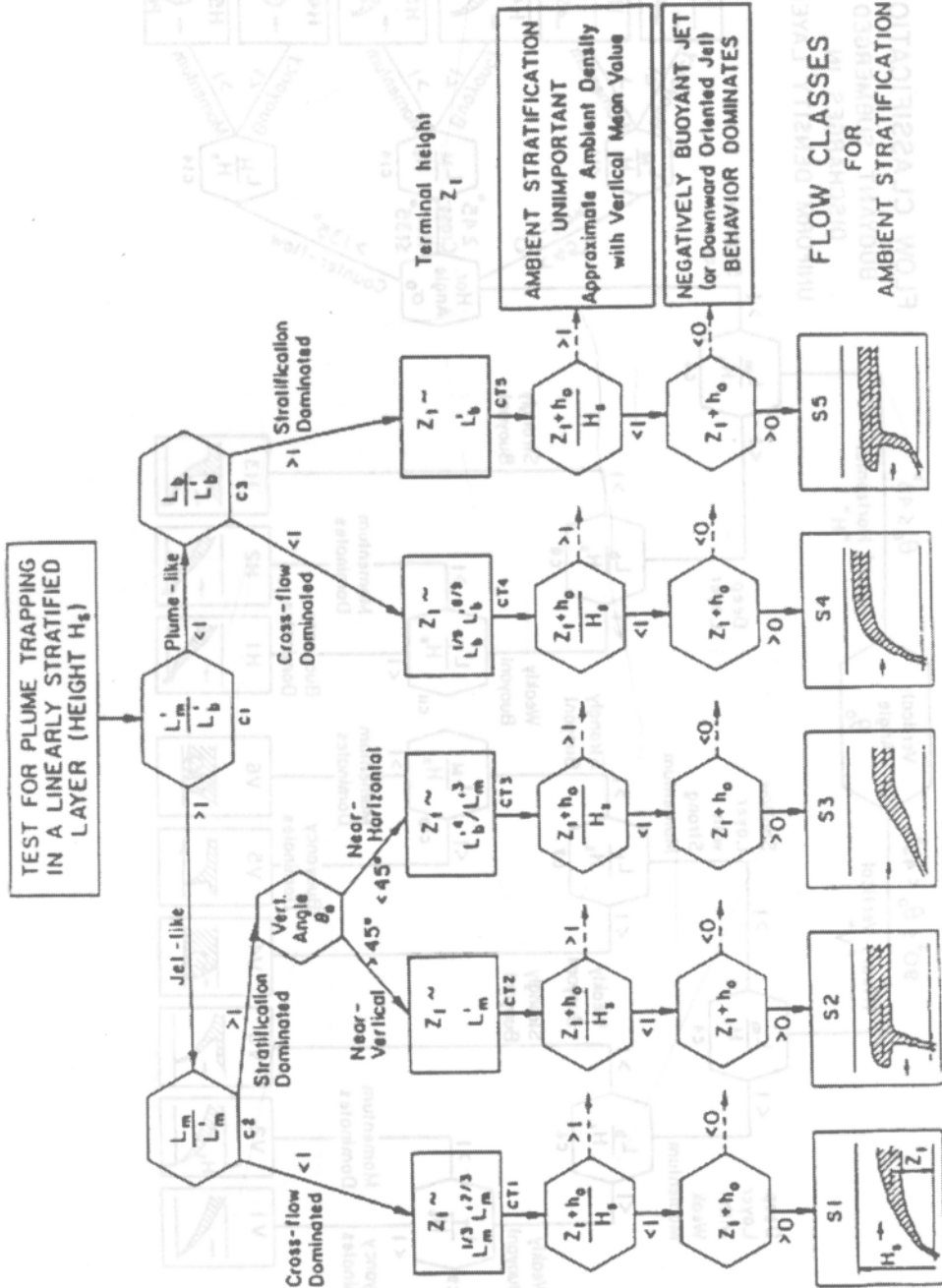


Figure A.1: CORMIX1 Classification: Assessment of ambient density stratification and different flow classes for internally trapped

TRẠNG THÁI XẢ LÊN TRONG MÔ HÌNH CORMIX 1

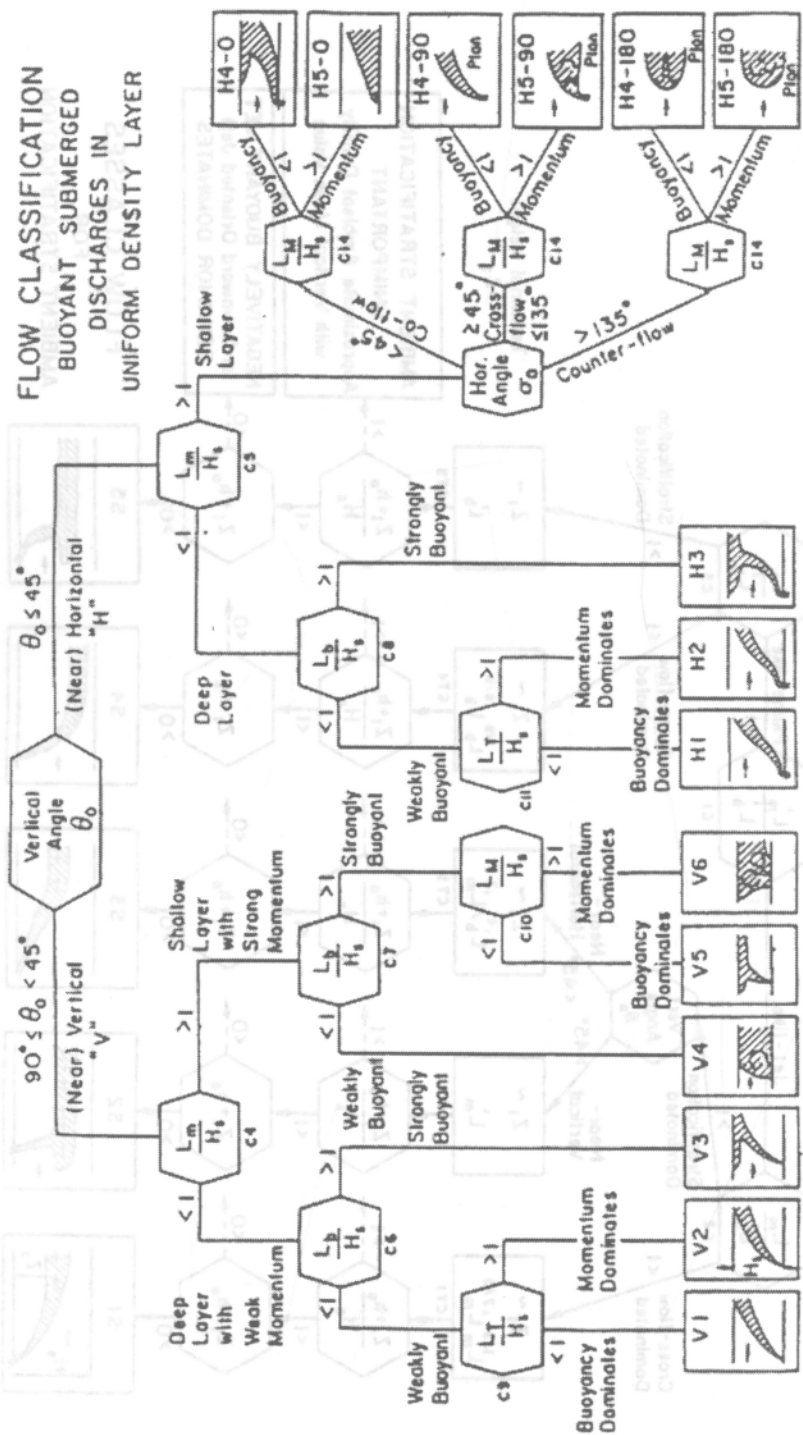


Figure A.2: CORMIX1 Classification: Behavior of positively buoyant discharges in uniform ambient layer flow

TRẠNG THÁI XẢ XUỐNG TRONG MÔ HÌNH CORMIX 1

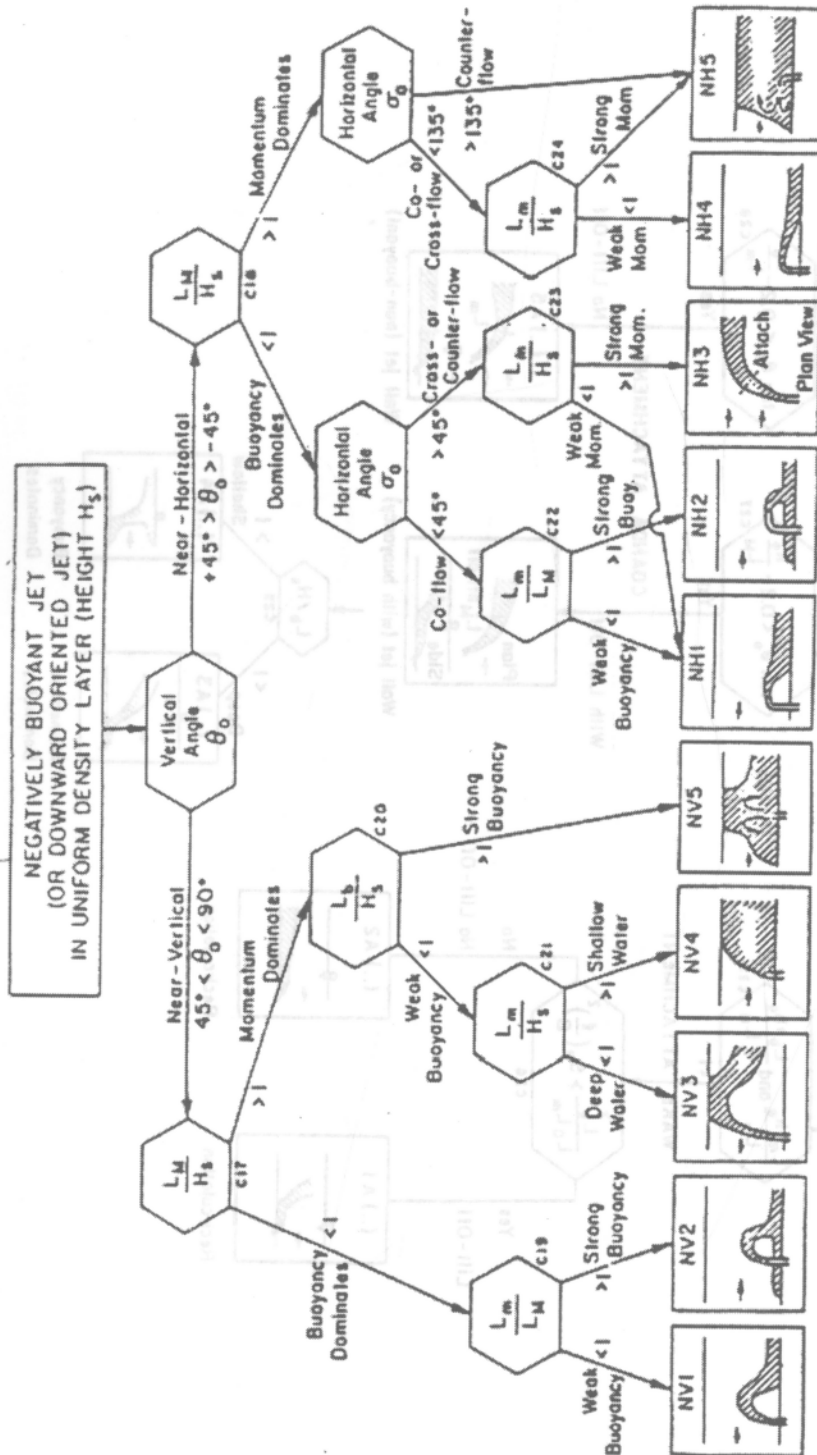


Figure A.3: CORMIX1 Classification: Behavior of negatively buoyant discharges in uniform layer flow (Flow Classes NV and NH)



| CLASSIFICATION | BOY TOM | ATTACHMENT |
|----------------|---------|------------|
| 1              |         |            |
| 2              |         |            |
| 3              |         |            |
| 4              |         |            |
| 5              |         |            |
| 6              |         |            |
| 7              |         |            |
| 8              |         |            |
| 9              |         |            |
| 10             |         |            |
| 11             |         |            |
| 12             |         |            |
| 13             |         |            |
| 14             |         |            |
| 15             |         |            |
| 16             |         |            |
| 17             |         |            |
| 18             |         |            |
| 19             |         |            |
| 20             |         |            |
| 21             |         |            |
| 22             |         |            |
| 23             |         |            |
| 24             |         |            |
| 25             |         |            |
| 26             |         |            |
| 27             |         |            |
| 28             |         |            |
| 29             |         |            |
| 30             |         |            |
| 31             |         |            |
| 32             |         |            |
| 33             |         |            |
| 34             |         |            |
| 35             |         |            |
| 36             |         |            |
| 37             |         |            |
| 38             |         |            |
| 39             |         |            |
| 40             |         |            |
| 41             |         |            |
| 42             |         |            |
| 43             |         |            |
| 44             |         |            |
| 45             |         |            |
| 46             |         |            |
| 47             |         |            |
| 48             |         |            |
| 49             |         |            |
| 50             |         |            |
| 51             |         |            |
| 52             |         |            |
| 53             |         |            |
| 54             |         |            |
| 55             |         |            |
| 56             |         |            |
| 57             |         |            |
| 58             |         |            |
| 59             |         |            |
| 60             |         |            |
| 61             |         |            |
| 62             |         |            |
| 63             |         |            |
| 64             |         |            |
| 65             |         |            |
| 66             |         |            |
| 67             |         |            |
| 68             |         |            |
| 69             |         |            |
| 70             |         |            |
| 71             |         |            |
| 72             |         |            |
| 73             |         |            |
| 74             |         |            |
| 75             |         |            |
| 76             |         |            |
| 77             |         |            |
| 78             |         |            |
| 79             |         |            |
| 80             |         |            |
| 81             |         |            |
| 82             |         |            |
| 83             |         |            |
| 84             |         |            |
| 85             |         |            |
| 86             |         |            |
| 87             |         |            |
| 88             |         |            |
| 89             |         |            |
| 90             |         |            |
| 91             |         |            |
| 92             |         |            |
| 93             |         |            |
| 94             |         |            |
| 95             |         |            |
| 96             |         |            |
| 97             |         |            |
| 98             |         |            |
| 99             |         |            |
| 100            |         |            |

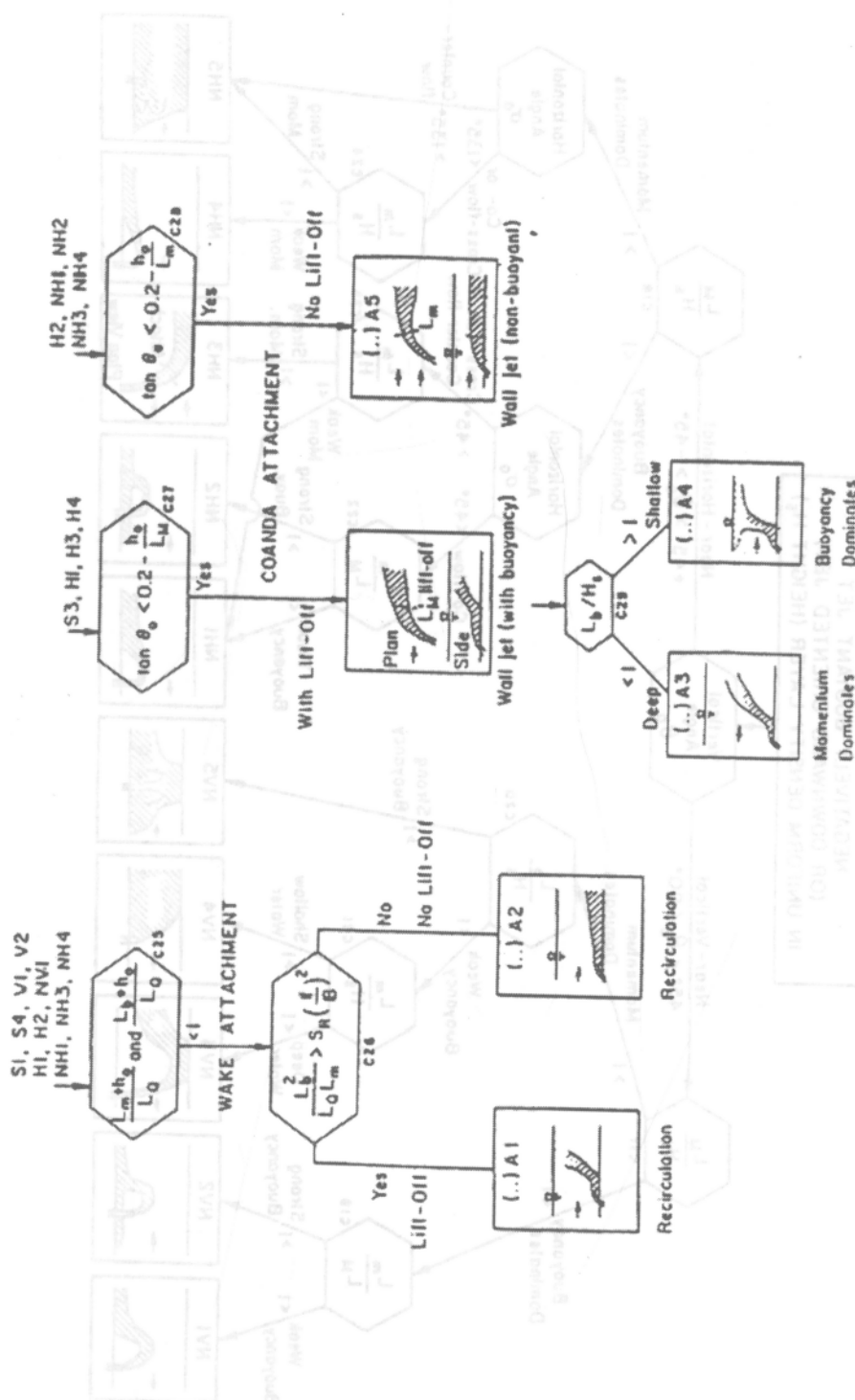


Figure A.4: CORMIX1 Classification: Dynamic bottom attachment of discharge due to wake or Coanda attachment



TRẠNG THÁI LƯỒNG XẢ LÊN TRONG CORMIX 2

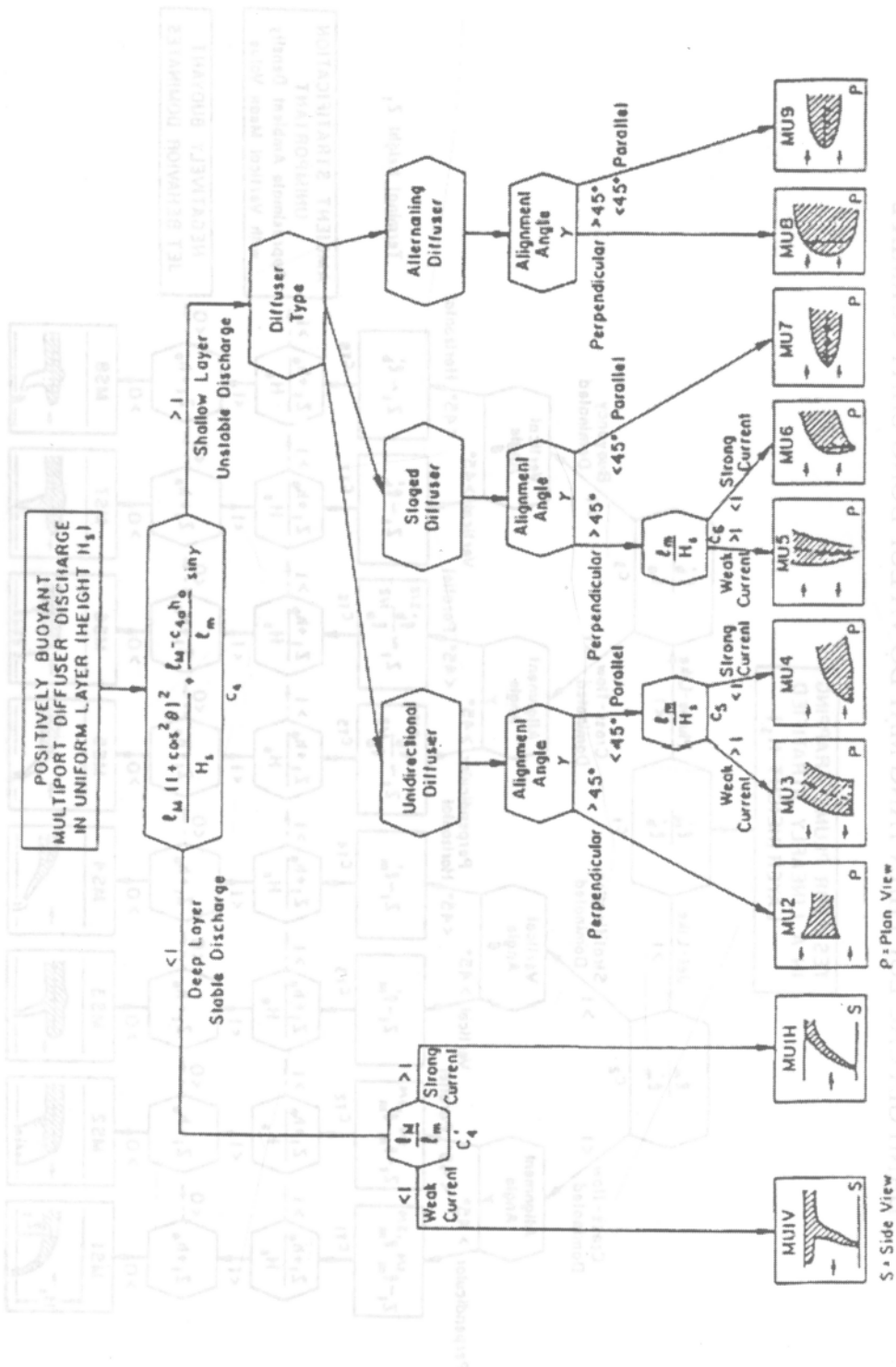


Figure A.6: CORMIX2 Classification: Behavior of positively buoyant multipoint diffuser discharges in uniform ambient layer flow

# TRẠNG THÁI LƯỒNG XẢ XUỐNG TRONG CORMIX2

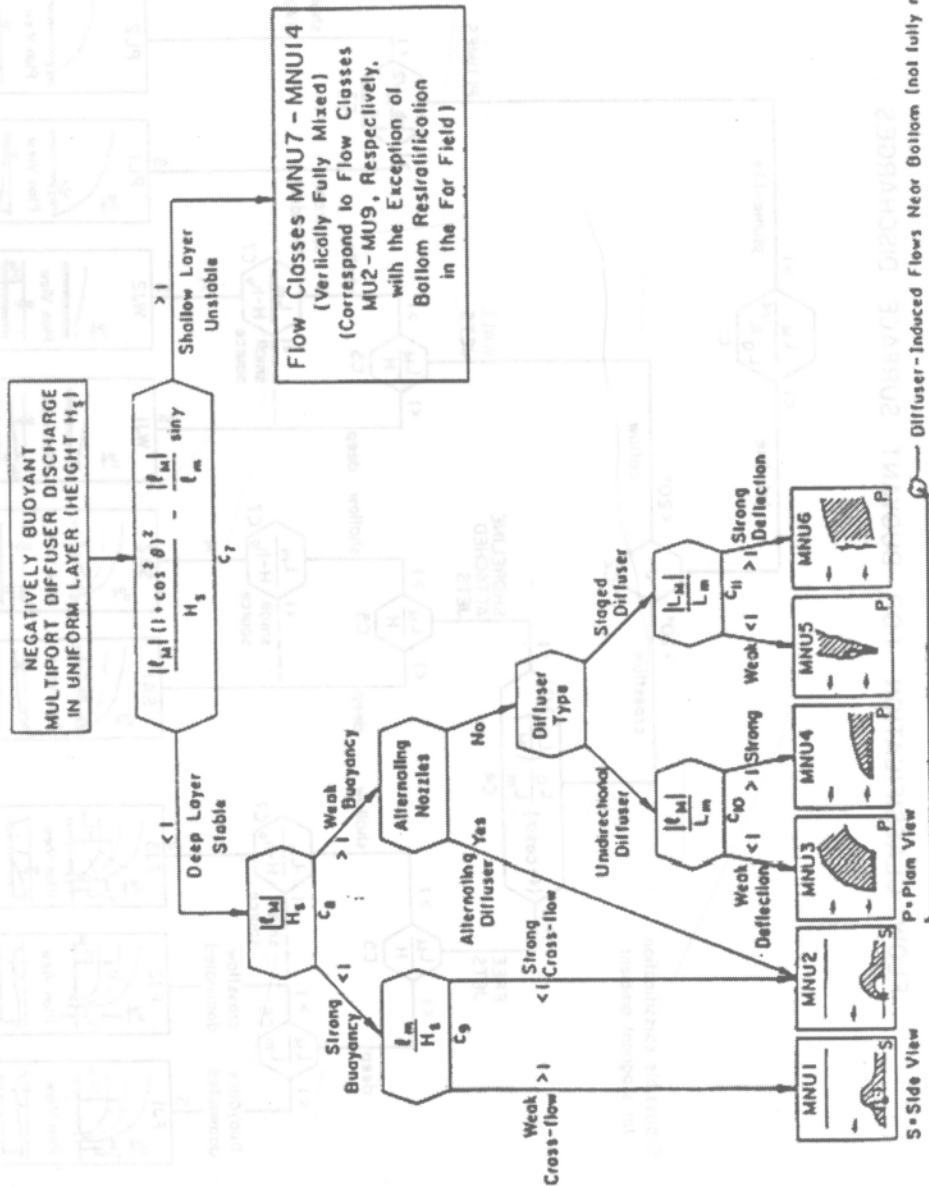


Figure A.7: CORMIX2 Classification: Behavior of negatively buoyant multiport diffuser discharges in uniform ambient layer flow



## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Rockwood D. M. *Application of streamflow synthetic and regulation "SSARR",* Programm to the lower Mekong river. Proceeding of Tucson symposium, vol. 1 - 1968.
2. Mô hình DELTA sông Mê Kông - Ban thư ký ủy ban sông Mê Kông - 1980.
3. Sugawra M., Ozaki E. , Watanabe I., Katsuyama Y *TANK model and its application to Berd. Creek, Wollombi Brook, Binkin river, Kizu river, Sanaga river and Nam Mune*, Research Notes of NRCDP Noll, Tokyo - 1974.
4. Yevjevich V. *Structure of natural hydrologic time processes. - Stochastic approaches to water resources.* Vol. 1, Ed. By Hsien Wen Shen, Colorado - 1976.
5. Dawdy D.R. *Mathematical modelling in hydrology, - The progress of hydrology* - proceedings of the first International seminar for Hydrology professions held at the University of Illinois, Vol. 1- 1969.
6. Rozdextvenxki A.V. và Trebôtariép A.I. *Phương pháp thống kê trong thủy văn.* Nhà xuất bản Leningrad - 1974 (bản tiếng Nga).
7. Thomas H.A. và Fiering M.B. *Mathematical synthesis of steamflow sequence for the analysis of river basins by simulation - at all Design of water resoures systems*, Harvard University Press - 1962.
8. Matalas N.C. *Generation of multivieate synthesis. Mathematical models for surface water Hydrology.* Proceedings of the workshop held at the IBM scientific center, Pisa - Italia - 1977.
9. O' Connel P.E. *ARIMA models in synthetic hydrology. Mathematical models for surface water Hydrology* - Proceedings of the workshop held at the IBM scientific center, Pisa - Italia - 1977.
10. Dooge J.C.L. *Problem and methods of rainfall - runoff modelling - Mathematical models for surface water Hydrology* Proceedings of the workshop held at the IBM scientific center, Pisa - Italia, John Wileyand Sons Ltd -1978.
11. Rockwood D.M. *Application of stremflow synthetic and regulation "SSARR".* Programm to the lower Mekong river. Preceeding of Tucson Symposium Vol. 1 - 1968

12. Linsley R.K. *Railfall runoff models -An overview - Railfall runoff relationship*. Ed by Singh V.P. , WRP - 1982.
13. Đặng Văn Bảng. *Bài giảng Mô hình toán thủy văn*. Khoa Thủy văn Môi trường, Trường Đại học Thủy lợi - 2001
14. Lê Văn Nghinh, *Tính toán Thủy văn Thiết kế*. Nhà xuất bản Nông Nghiệp -2003
15. Lê Văn Nghinh, *Nguyên lý Thủy văn*. Nhà xuất bản Nông Nghiệp - 2000
16. Apollov, B. A., G. P. Kalinin, and V. D. Komarov. *Hydrological Forecasting*. Jerusalem, Israel, Israel Program for Scientific Translation - 1964.
17. Bartual, R. G. *Short Term River Flood Forecasting with Neural Networks*. Valencia, Spain, Department of Hydraulic and Environmental Engineering - 2002.
18. Chao, Lincoln L. *Statistics for Management*. Prentice-Hall of Southeast Asia Pte. Ltd. - 1981
19. Holder, R. H. *Multiple Regression in Hydrology*. Walling Ford, Institute of Hydrology - 1990.
20. Maidment, David R. *Handbook of Hydrology*. New York, USA, McGraw-Hill Book Company - 1993.
21. Chow Ven. T., Maidment, David R. , Mays Larry W. *Applied Hydrology*. New York, USA, McGraw-Hill Book Company - 1998.
22. Montgomery, Douglas C. and Linwood A. Johnson. *Forecasting and Time Series Analysis*. New York, USA, McGraw Hill Book Company - 1976.
23. Scharffenberg, William A. *Hydraulic Modelling System HEC-HMS User 's Manual and Hydraulic Modelling System HEC-HMS Technical Reference Manuals*. US Army Corporation of Engineering, Hydraulic Engineering Center - 2001
24. Tawatchai, Tingsanchali. *Flood Modelling and Forecasting – Lecture Notes*. School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology – 2003.
25. Mark Ole and David Luketina. *Hydrological Modelling – Lecture Notes*. School of Civil Engineering, Asian Institute of Technology - 2003.
26. Zhijune, Chen. *Establishment and Application of Neural Network Model for Irrigation Prediction*. Journal of Hydrology No.2, 1998.
27. Danish Hydraulic Institute, *NAM – a short description* - 2000
28. Abrahart, R.J. and See, L. *Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments*. Hydrological Processes. 14, 2157-2172 - 2000.

# GIÁO TRÌNH CAO HỌC THỦY LỢI MÔ HÌNH TOÁN THỦY VĂN

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

BÙI HỮU HẠNH

*Biên tập:*

LƯƠNG CAO PHI

*Chế bản điện tử:*

TRẦN KIM ANH

*Sửa bản in:*

LƯƠNG CAO PHI

*Trình bày bìa:*

VŨ BÌNH MINH



---

In 500 cuốn khổ  $19 \times 27\text{cm}$ , tại Xưởng in Nhà xuất bản Xây dựng. Giấy chấp nhận đăng kí kế hoạch xuất bản số 306-2006/CXB-11-19/XD ngày 25-4-2006. In xong nộp lưu chiểu tháng 4-2006.

mô hình toán thủy văn



6-605  
XD- 2006 306 - 2006

Giá : 32.000đ