

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG DỰ BÁO XÂM NHẬP MẶN VÙNG ĐỒNG BẰNG SÔNG HỒNG - SÔNG THÁI BÌNH BẰNG MÔ HÌNH TOÁN

TS. Lã Thanh Hà
Viện Khí tượng Thủy văn

Việc lấy nước phục vụ sản xuất nông nghiệp, cấp nước sinh hoạt và các hoạt động kinh tế - xã hội khác ở khu vực Đồng bằng sông Hồng - Thái Bình luôn luôn gặp trở ngại do hiện tượng xâm nhập mặn vào các khu vực cửa sông trong các tháng mùa kiệt. Đây là hiện tượng tự nhiên tại các vùng cửa sông với mức độ ảnh hưởng tùy thuộc vào các điều kiện như địa hình, chế độ triều. Để hạn chế tác động có hại của xâm nhập mặn, ngoài các biện pháp công trình, công tác tính toán và dự báo quá trình xâm nhập mặn sẽ mang lại nhiều lợi ích kinh tế và có ý nghĩa khoa học đáng khích lệ. Bài báo này giới thiệu tóm tắt một nghiên cứu khả năng dự báo quá trình xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Hồng - Thái Bình bằng mô hình toán trên cơ sở một số nghiên cứu thử nghiệm đã thực hiện.

1. Giới thiệu tóm tắt khu vực nghiên cứu

a. Đặc điểm địa hình

Đồng bằng tam giác châu thổ Bắc Bộ có diện tích khoảng 15000 km², địa hình thấp và tương đối phẳng bao gồm các tỉnh và thành phố gồm thủ đô Hà Nội, Hải Phòng, Vĩnh Phúc, Hải Dương, Hưng Yên, Hà Nam, Nam Định, Ninh Bình, Bắc Ninh, Hà Tây và Thái Bình với tổng số dân xấp xỉ 20 triệu người. Đồng bằng sông Hồng - Thái Bình là vựa lúa lớn thứ hai và là khu vực kinh tế, chính trị có tầm quan trọng đặc biệt của cả nước.

Địa hình toàn đồng bằng có xu thế nghiêng ra phía biển theo hướng tây bắc - đông nam, thấp dần từ cao độ 10 - 15 m xuống 0 m ở phía bờ biển. Phía Đông Đồng bằng Bắc Bộ (phía lưu vực sông Thái Bình) địa hình có xu thế hạ thấp, phía Tây Đồng bằng Bắc Bộ (sông Hồng) có địa hình cao hơn một chút, nhưng nhìn chung địa hình thấp so với mực nước biển.

b. Một số đặc điểm cơ bản về chế độ thủy văn

Mạng lưới sông ngòi tự nhiên nhìn chung không dày và phân bố không đều, mật độ sông chỉ vào khoảng 0,7 - 1 km/km². Phía đông khu vực đồng bằng (sông Thái Bình - sông Kinh Thầy) hệ thống sông, kênh phát triển và phân nhánh phức tạp hơn, mật độ sông cao hơn hẳn phía tây (sông Hồng) và mang đậm nét rất đặc trưng của một tam giác châu. Như vậy, có thể thấy rõ một sự khác biệt tương đối dễ nhận thấy về hệ thống thủy văn giữa hai hệ thống sông Hồng và Thái Bình. Sự khác biệt này đã dẫn đến sự khác nhau về chế độ thủy văn, thủy lực và mức độ xâm nhập triều, mặn vào các cửa sông thuộc hai hệ

thống sông nói trên.

Dòng chảy sông Hồng rất dồi dào, lượng dòng chảy bình quân năm tại Sơn Tây là 114 km^3 ứng với lưu lượng $3643 \text{ m}^3/\text{s}$. Trong khi đó, dòng chảy sông Thái Bình ít hơn nhiều do các sông hợp thành sông Thái Bình (sông Cầu, sông Thương, sông Lục Nam) có lưu lượng bình quân nhiều năm rất thấp. Tổng lượng nước của sông Thái Bình tính đến Phả Lại là $8,26 \text{ km}^3$ (bằng 7,2% lượng nước sông Hồng tại Sơn Tây) với lưu lượng bình quân năm $318 \text{ m}^3/\text{s}$. Ngoài lượng nước chỉ do hệ thống sông Thái Bình còn phải kể đến một lượng nước rất lớn do sông Hồng chuyển sang qua sông Đuống ở hạ lưu Phả Lại. Lượng nước này gấp gần 3 lần lượng nước bản thân sông Thái Bình (25 km^3 so với $8,26 \text{ km}^3$). Thêm vào đó khi gần tới biển sông Thái Bình còn nhận được nguồn nước bổ sung từ sông Hồng qua sông Luộc - sông Mới với tổng lượng $11 \text{ km}^3/\text{năm}$.

Trong mùa cạn, mực nước sông Hồng, sông Thái Bình xuống rất thấp, có nơi thấp hơn cao độ ruộng trong đê. Tuy nhiên, do lượng dòng chảy sông Hồng còn khá dồi dào nên lưu lượng bình quân tháng nhỏ nhất tại Sơn Tây là $691 \text{ m}^3/\text{s}$, dòng chảy nhỏ nhất quan trắc được ngày 7/V/1960 là $368 \text{ m}^3/\text{s}$ (xuống tới mức bằng 1/100 lần so với dòng chảy lớn nhất tại Sơn Tây $37800 \text{ m}^3/\text{s}$ trong trận lũ lịch sử VIII/1971). Từ năm 1991, do tác động điều hoà của hồ Hoà Bình, lưu lượng dòng chảy kiệt sông Hồng nhìn chung được tăng lên. Tuy nhiên, vào tháng IV năm 2004, trên hệ thống sông Hồng – sông Thái Bình đã xảy ra đợt hạn khá gay gắt. Mực nước sông Hồng tại Sơn Tây xuống chỉ còn 4,34 m, Hà Nội 1,86 m là mực nước kiệt nhất trong 33 năm qua (theo tài liệu từ năm 1971 trở lại đây). Điều đó cho thấy, mặc dù đã có điều tiết của hồ Hoà Bình nhưng tính dao động ngẫu nhiên của chế độ dòng chảy vẫn giữ vai trò quyết định đến chế độ thủy văn của hệ thống sông Hồng – sông Thái Bình.

c. Thủy triều và xâm nhập mặn

Vịnh Bắc Bộ có chế độ nhật triều là chủ yếu có xen kẽ một ít chế độ nhật triều không đều. Khu vực Hải Phòng, Hòn Gai có chế độ nhật triều thuần nhất. Tính chất nhật triều càng kém thuần nhất và có xu hướng dịch dần xuống phía Nam. Độ lớn kỳ triều cường cực đại có thể đạt đến 4,50 m tại Hòn Dấu (1986), kỳ nước cường có độ lớn triều trung bình vào khoảng 3,6 - 2,6 m và giảm dần xuống phía Nam. Vào kỳ triều kém, độ lớn thủy triều có thể không vượt quá 0,5 m. Độ lớn thủy triều mạnh nhất thường vào các tháng I, VI, VII và XII và yếu nhất vào các tháng III, IV, VIII và IX trong năm.

Do địa hình thấp và hệ thống cửa sông rất phát triển nên tạo điều kiện thuận lợi cho triều, mặn xâm nhập sâu hầu như trong cả năm vào khu vực Đồng bằng châu thổ sông Hồng - sông Thái Bình từ cửa sông Đá Bạc đến cửa Đáy. Phía sông Thái Bình địa hình lòng sông thấp, cửa sông rộng, lượng dòng chảy thượng lưu về nhỏ đã tạo điều kiện cho thủy triều truyền sâu vào nội địa sát vùng trung du tới Lục Nam, Phủ Lạng Thương hay đến cửa sông Công đổ vào sông Cầu. Trên sông Hồng, ảnh hưởng thủy triều còn được ghi nhận đến trên Hà Nội 10 km, cách biển đến 185 km. Trên sông Đáy, khoảng cách ảnh hưởng triều lớn nhất đến Ba Thá - Mai Lĩnh cách biển tới 207 km.

Mặn với nồng độ 1‰ có thể xâm nhập sâu lớn nhất trung bình cho các sông tới 30 - 40 km và diễn biến theo cơ chế rất đa dạng và phức tạp.

2. Tổng quát về tình hình nghiên cứu xâm nhập mặn

a. Ở nước ngoài

Vấn đề nghiên cứu xâm nhập triều mặn bằng mô hình đã được nhiều nhà nghiên cứu ở các nước phát triển như Mỹ, Hà Lan, Anh quan tâm từ khoảng vài chục năm trở lại đây. Năm 1971 Prichard đã dẫn xuất hệ phương trình 3 chiều để diễn toán quá trình xâm nhập mặn nhưng nhiều thông số không xác định được. Hơn nữa, mô hình 3 chiều yêu cầu lượng tính toán lớn, yêu cầu số liệu quá chi tiết trong khi kiểm nghiệm nó cũng cần có những số liệu đo đạc chi tiết tương ứng. Vì vậy, các nhà nghiên cứu buộc phải giải quyết bằng cách trung bình hoá theo 2 chiều hoặc một chiều. Sanker và Fischer, Masch (1970) và Leendertse (1971) đã xây dựng các mô hình 2 chiều và 1 chiều trong đó mô hình 1 chiều có nhiều ưu thế trong việc giải các bài toán phục vụ yêu cầu thực tế tốt hơn.

Dưới đây thống kê một số mô hình mặn thông dụng đã được giới thiệu trong nhiều tài liệu tham khảo:

1) Mô hình động lực của sông FWQA

Mô hình FWQA thường được đề cập đến trong các tài liệu là mô hình ORLOB theo tên gọi của Tiến sỹ Geral T. Orlob. Mô hình đã được áp dụng trong nhiều tính toán thực tế. Mô hình giải hệ phương trình Saint - Venant kết hợp với phương trình khuếch tán và có xét đến ảnh hưởng của thủy triều thay vì bỏ qua như trong mô hình không có thủy triều. Mô hình được áp dụng đầu tiên cho đồng bằng Sacramento - San Josquin, Califorlia.

2) Mô hình thời gian thủy triều của Lee-Harleman và của Thatcher-Harleman

Lee và Harleman (1971), về sau được Thatcher và Harleman cải tiến, đã đề ra một cách tiếp cận khác, xây dựng lời giải sai phân hữu hạn đối với phương trình bảo toàn mặn trong một sông đơn. Sơ đồ sai phân hữu hạn dùng để giải phương trình khuếch tán là sơ đồ ẩn 6 điểm. Mô hình cho kết quả tốt trong việc dự báo trạng thái phân phối mặn tức thời cả trên mô hình vật lý cũng như của sông thực tế.

3) Mô hình SALFLOW của Delf Hydraulics

Một trong những thành quả mới nhất trong mô hình hoá xâm nhập mặn là mô hình SALFLOW của Delf Hydraulics (Viện Thủy lực Hà Lan) được xây dựng trong khuôn khổ hợp tác với Ban Thư ký Ủy ban sông Mê Công từ năm 1987.

Kỹ thuật chương trình của mô hình đã được phát triển thành một phần mềm hoàn chỉnh để cài đặt trong máy tính như một phần mềm chuyên dụng. Mô hình đã được áp dụng thử nghiệm tốt tại Hà Lan và đang được triển khai áp dụng cho Đồng bằng sông Cửu Long nước ta.

Ngoài ra, một số mô hình thủy lực sông mới đưa vào áp dụng ở nước ta trong mấy năm gần đây như ISIS (Anh), MIKE 11 (Đan Mạch), HEC-RAS (Mỹ)... đều có các modun tính toán sự lan truyền xâm nhập mặn nhưng chưa

được áp dụng.

b. Ở Việt Nam

Việc đẩy nhanh công tác nghiên cứu xâm nhập mặn ở nước ta được đánh dấu vào năm 1980 khi bắt đầu triển khai dự án nghiên cứu xâm nhập mặn Đồng bằng sông Cửu Long dưới sự tài trợ của Ủy ban sông Mê Công. Trong khuôn khổ dự án này, một số mô hình tính xâm nhập triều, mặn đã được xây dựng của Ủy ban sông Mê Công và một số cơ quan trong nước như Viện Quy hoạch và Quản lý nước, Viện Cơ học... Các mô hình này đã được ứng dụng vào việc nghiên cứu quy hoạch phát triển châu thổ sông Cửu Long, tính toán hiệu quả các công trình chống xâm nhập mặn ven biển để tăng vụ và mở rộng diện tích nông nghiệp trong mùa khô, dự báo xâm nhập mặn dọc sông Cổ Chiên. Các nhà khoa học Việt Nam điển hình là Cố GS. Nguyễn Như Khuê, GS.TSKH. Nguyễn Ân Niên, PGS.TS. Nguyễn Tất Đắc; TS. Nguyễn Hữu Nhân đã xây dựng thành công các mô hình thủy lực mạng sông kết hợp tính toán xâm nhập triều mặn như VRSAP, MEKSAL, FWQ87, HYDROGIS ...và đã có đóng góp xứng đáng trong vấn đề nghiên cứu mặn ở nước ta.

Ngược lại, việc nghiên cứu và sử dụng mô hình để tính toán xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Hồng - sông Thái Bình ít được chú ý hơn. Năm 1994 - 1995, Trần Văn Phúc trong khuôn khổ đề tài NCKH cấp Tổng cục đã xây dựng mô hình SIMRR để tính toán thử nghiệm xâm nhập mặn ở khu vực một số cửa sông Đồng bằng sông Hồng - sông Thái Bình. Lã Thanh Hà, Đỗ Văn Tuy và nnk (2000-2001) [3] đã cải tiến SIMRR với mục đích dự báo thử nghiệm xâm nhập mặn cho sông Văn Úc thuộc TP. Hải Phòng. Đây mới chỉ là nghiên cứu bước đầu có tính thử nghiệm để dự báo quá trình xâm nhập mặn cho một sông đơn. Kết quả cho thấy có thể sử dụng mô hình toán để giải quyết một vấn đề thực tế, nhưng cũng chỉ ra các tồn tại cần phải giải quyết khi dự báo cho toàn mạng sông như số liệu địa hình lòng dẫn, dự báo quá trình lưu lượng vào, mực nước biên cửa sông và hệ thống cung cấp thông tin trong bài toán dự báo bằng mô hình.

c. Những vấn đề cần nghiên cứu tiếp

Việc nghiên cứu tương tác giữa dòng chảy sông và thủy triều ở vùng cửa sông luôn đặt ra cho các nhà khoa học một sự thách thức, vì đây là một vấn đề tổng hợp có liên quan đến nhiều lĩnh vực như diễn biến bồi xói cửa sông, sinh thái vùng ngập mặn, nước dâng, trong đó vấn đề xâm nhập triều, mặn có tính đặc thù riêng cho mỗi cửa sông. Do tác động ảnh hưởng đồng thời của nước sông từ thượng lưu, yếu tố địa hình và chế độ thủy triều, ranh giới xâm nhập mặn biến đổi theo không gian và thời gian rất rõ ràng theo thời đoạn (giờ, ngày).

Với hệ thống đê khống chế toàn bộ vùng cửa sông nên đối với khu vực cửa sông Hồng – sông Thái Bình, mặn không xâm nhập vào trong đồng nhưng làm ngưng trệ quá trình lấy nước từ sông, chủ yếu phục vụ cho nông nghiệp trên một phạm vi rộng lớn của châu thổ vào các tháng kiệt. Trong một số trường hợp, việc mở cống lấy nước từ các đập, cống ngăn triều cho nông

nghiệp và thủy sản có độ mặn hoặc vượt quá hoặc thấp hơn nồng độ cho phép (như đã xảy ra ở Thái Bình, Hải Phòng) đã gây thiệt hại không nhỏ đến năng suất cây trồng. Nguyên nhân này ngoài yếu tố chủ quan còn do tính biến đổi phức tạp của quan hệ dòng chảy sông và dòng triều. Do vậy nếu nắm được quy luật trên có thể dự báo quá trình này phục vụ cho việc lấy nước tưới theo mùa vụ cây trồng và trong thời đoạn dài có thể bố trí thời vụ gieo trồng hợp lý để hạn chế tối đa tác động của xâm nhập mặn. Đây cũng là mục tiêu cơ bản của việc nghiên cứu xâm nhập triều mặn phục vụ các hoạt động kinh tế-xã hội vùng cửa sông Đồng bằng sông Hồng - Thái Bình nói riêng và các vùng cửa sông nước ta nói chung.

Do vậy, việc nghiên cứu xây dựng một mô hình tính toán và dự báo quá trình xâm nhập mặn cho khu vực này dù ở mức độ nào cũng đáng được trân trọng và khích lệ.

3. Giới thiệu mô hình xâm nhập mặn

a. Cơ sở khoa học của mô hình

Trong các mô hình xâm nhập triều mặn, hệ phương trình cơ bản thường được sử dụng bao gồm hai phương trình của hệ phương trình Saint - Venant mô tả chuyển động không ổn định của dòng chảy trong sông thiên nhiên và một phương trình bảo toàn lượng mặn hay phương trình khuếch tán đối lưu.

Hệ phương trình này được mô tả như sau:

1) Hệ phương trình dòng chảy động lực

+ Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + B \frac{\partial Z}{\partial t} = q \quad (1)$$

+ Phương trình chuyển động:

$$\frac{\partial Z}{\partial X} + \frac{Q}{gA_s^2} \frac{(\alpha B + \beta B_s)}{B} \frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\beta}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{RA_s^2 C^2} = 0 \quad (2)$$

2) Phương trình khuếch tán - đối lưu

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{Q}{A_t} \frac{\partial S}{\partial X} - \frac{1}{A_t} \frac{\partial}{\partial X} (DA_t \frac{\partial S}{\partial X}) = \frac{q(S^* - S)}{A_t} \quad (3)$$

Khi $q \geq 0$, $S^* = 0$

$q < 0$, $S^* = S$

Trong đó:

Q – lưu lượng nước (m^3/s), Z – mực nước,

q – lưu lượng gia nhập hoặc lấy nước (m^3/s),

B_s, A_s – chiều rộng và diện tích mặt cắt ngang dòng chính (m^2),

B, A_t – chiều rộng và diện tích mặt cắt ngang toàn dòng (m^2),

α, β – hệ số sửa chữa động năng và động lượng,

S – độ mặn nước sông (‰), D – hệ số khuếch tán (m^2/s),

S^* - độ mặn nước gia nhập hoặc lấy đi (‰).

$$D = K_1 n \left| \frac{Q}{A_s} \right| R^{1/6} + K_2 \left| \frac{\partial S}{\partial X} \right| \quad (4)$$

Trong đó: R – bán kính thủy lực,
 C – hệ số Chezy,
 n – hệ số nhám.

Mục đích cơ bản là tính toán và dự báo quá trình xâm nhập triều, mặn ở hạ lưu sông Hồng – sông Thái Bình có tính đến sự thay đổi dòng chảy do có hồ Hoà Bình, hệ phương trình cơ bản quan tâm đến lưu lượng với độ mặn S^* . Khi q là lưu lượng gia nhập dọc đường, chủ yếu là lưu lượng bổ sung từ nước mưa, có thể giả thiết độ mặn $S^* = 0$; khi q là lưu lượng nước lấy đi, để tưới chẳng hạn, thì độ mặn bằng độ mặn nước sông S của đoạn tương ứng.

b. Kỹ thuật sai phân

Kỹ thuật sai phân trình bày chi tiết trong các tài liệu tham khảo khác. Ở đây, chỉ giới thiệu lại hệ phương trình sai phân và các hệ số của nó, dựa vào đại lượng q và S^* .

Hệ phương trình sai phân (1) và (2) viết cho đoạn ΔX_{m-1} giữa hai mặt cắt $m-1$ và m :

$$\begin{aligned} Z_m - Z'_{m-1} + \eta_{m-1} Q'_m + Q_{m-1} Q'_{m-1} &= \mu_{m-1} \\ \gamma_{m-1} (Z'_m + Z'_{m-1}) + Q'_m - Q'_{m-1} &= \xi_{m-1} \end{aligned} \quad (5)$$

Các hệ số được xác định như sau:

$$\begin{aligned} \eta_{m-1} &= \frac{\beta \Delta X_{m-1}}{2g\Delta t A_{m-1}} + \frac{(\alpha B + \beta B_s)_{m-1}}{2gB_{m-1} A_{m-1}^2} (Q_m + Q_{m-1}) + \frac{\Delta X_{m-1} |Q_m + Q_{m-1}|}{4R_{m-1} C_{m-1}^2 A_{m-1}^2} \\ Q_{m-1} &= \frac{\beta \Delta X_{m-1}}{2g\Delta t A_{m-1}} + \frac{(\alpha B + \beta B_s)_{m-1}}{2gB_{m-1} A_{m-1}^2} (Q_m + Q_{m-1}) - \frac{\Delta X_{m-1} |Q_m + Q_{m-1}|}{4R_{m-1} C_{m-1}^2 A_{m-1}^2} \\ \mu_{m-1} &= \frac{\beta \Delta X_{m-1}}{2g\Delta t A_{m-1}} (Q_m + Q_{m-1}) \quad \nu_{m-1} = \frac{B_{m-1} \Delta X_{m-1}}{2\Delta t} \\ \xi_{m-1} &= \frac{B_{m-1} \Delta X_{m-1}}{2\Delta t} (Z_m + Z_{m-1}) + q_{m-1} \Delta X_{m-1} \end{aligned} \quad (6)$$

Ở đây các đặc trưng hình học như ΔX (ΔX : là khoảng cách các mặt cắt), A , B , R , C được xác định cho thời điểm trước (lấy trung bình giữa 2 điểm $m-1$ và m); lưu lượng gia nhập hoặc lấy đi q_{m-1} được cho tương ứng ΔX_{m-1} (lấy bình quân toàn đoạn).

Phương trình sai phân (3), viết cho 3 mặt cắt $J-1$, J và $J+1$:

$$a_j S'_{j-1} + b_j S'_j + c_j S'_{j+1} = R_j \quad (7)$$

Các hệ số được xác định như sau:

1) Đối với trường hợp $q \geq 0$:

$$\begin{aligned}
a_j &= \frac{\Delta X_{j-1}}{3 \sum \Delta X \Delta t} - \frac{\alpha_j \mu (Q/A)}{(1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}} - \frac{2\mu(1-\alpha_j) \frac{3}{(AD)^2}}{(1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} - \frac{2\mu \alpha_j \frac{j-1,j}{(AD)^2}}{(1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} + \frac{\mu}{4} \left(\frac{q}{A} \right)_{j-1} \\
b_j &= \frac{2}{3 \Delta t} - \frac{(1-\alpha_j) (Q/A)}{\alpha_j X_{j-1}} + \frac{2\mu \frac{j,j+1}{(AD)^2}}{\alpha_j^2 (1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} - \frac{2\mu(1-\alpha_j) \frac{3}{(AD)^2}}{\alpha_j^2 \Delta X_{j-1}^2 A} + \frac{2\alpha_j \mu \frac{3}{(AD)^2}}{(1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} + \frac{\mu}{4} \left[\left(\frac{q}{A} \right)_j + \left(\frac{q}{A} \right)_{j-1} \right] \\
c_j &= \frac{\Delta X_j}{3 \sum \Delta X \Delta t} + \frac{\mu (Q/A)}{\alpha_j (1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}} - \frac{2\mu \frac{j,j+1}{(AD)^2}}{\alpha_j^2 (1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} + \frac{2(1-\alpha_j) \mu \frac{3}{(AD)^2}}{\alpha_j^2 (1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} + \frac{\mu}{4} \left(\frac{q}{A} \right)_j
\end{aligned} \quad (8)$$

$$R_j = a_j' S_{j-1} + b_j' S_j + c_j' S_{j+1} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
a_j' &= \frac{\Delta X_{j-1}}{3 \sum \Delta X \Delta t} + \frac{(1-\mu) \alpha_j (Q/A)}{(1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}} + \frac{2(1-\mu)(1-\alpha_j) \frac{3}{(AD)^2}}{(1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} + \frac{2(1-\mu) \alpha_j \frac{j-1,j}{(AD)^2}}{(1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} - \frac{(1-\mu)}{4} \left(\frac{q}{A} \right)_{j-1} \\
b_j' &= \frac{2}{3 \Delta t} + \frac{(1-\mu)(1-\alpha_j) (Q/A)}{\alpha_j \Delta X_{j-1}} - \frac{2(1-\mu) \frac{j,j+1}{(AD)^2}}{\alpha_j^2 (1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} + \frac{2(1-\mu)(1-\alpha_j) \frac{3}{(AD)^2}}{\alpha_j^2 \Delta X_{j-1}^2 A} - \frac{2\alpha_j (1-\mu) \frac{3}{(AD)^2}}{(1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} - \frac{(1-\mu)}{4} \left[\left(\frac{q}{A} \right)_{j-1} + \left(\frac{q}{A} \right)_j \right] \\
c_j' &= \frac{\Delta X_j}{3 \sum \Delta X \Delta t} - \frac{(1-\mu) \alpha_j (Q/A)}{\alpha_j (1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}} + \frac{2(1-\mu) \frac{j,j+1}{(AD)^2}}{\alpha_j^2 (1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} - \frac{2(1-\alpha_j)(1-\mu) \frac{3}{(AD)^2}}{\alpha_j^2 (1+\alpha_j) \Delta X_{j-1}^2 A} - \frac{(1-\mu)}{4} \left(\frac{q}{A} \right)_j
\end{aligned} \quad (10)$$

2) Đối với trường hợp $q < 0$:

Các hệ số a_j , b_j , c_j , a_j' , b_j' , c_j' có công thức như trên, chỉ bỏ số hạng liên quan đến q do $S = S^*$ nên trong phương trình (3) vế phải = 0.

Trong các công thức trên: $\alpha_j = \Delta X_j / \Delta X_{j-1}$, $\sum \Delta X = \Delta X_{j-1} + \Delta X_j$, $\mu = 2/3$

Các đại lượng có dấu (') được xác định tại thời điểm sau t ; các đại lượng không có dấu (') được xác định tại thời điểm trước t ; các đại lượng có hai gạch ngang (=) là trung bình 6 điểm, các đại lượng có một gạch ngang và số 3 là trung bình 3 điểm cùng thời gian, 1 gạch với $j-1$, j hoặc $j+1$ là trung bình 2 điểm cùng thời gian; 1 gạch và $j-1$ hoặc j là trung bình 2 điểm cùng thời gian trên đoạn ΔX_{j-1} hoặc ΔX_j .

Phương pháp sai phân và thuật toán mô tả trên đã được sử dụng cho mô hình triều mặn ở thành phố Vơ-ni-zơ (Italia). Trần Văn Phúc [1], (1990 - 1992) đã áp dụng cơ sở thuật toán này để xây dựng mô hình xâm nhập mặn một chiều SIMRR và ứng dụng cho kết quả khá tốt cho Đồng bằng sông Cửu Long.

Để phục vụ cho việc tính toán và dự báo xâm nhập mặn hệ thống sông Hồng - sông Thái Bình, thuật toán trên được áp dụng để thiết lập một mô hình với mục đích tính toán và dự báo xâm nhập mặn cho mạng sông có độ phân nhánh phức tạp. Mô hình có tên là SALMOD được viết trên ngôn ngữ FORTRAN 77 và sử dụng được trên máy tính PC có cấu hình từ PC 486 trở lên.

4. Áp dụng mô hình SALMOD cho mạng lưới sông Hồng - sông Thái Bình

a. Tính toán hiệu chỉnh mô hình

1) Chọn đợt xâm nhập mặn

Khi lựa chọn nhiều trạm đo có số liệu mặn từ năm 1966 đến 1980, tác giả chỉ chọn được 1 thời kỳ có chuỗi số liệu tương đối đồng bộ: thời kỳ 2 ngày 24 - 25/ III/ 1976.

Các trạm chọn để thử nghiệm mô hình là Kinh Khê trên sông Văn Úc, Cống Rõ trên sông Thái Bình, Cửa Cấm trên sông Cấm.

Việc hiệu chỉnh mô hình cũng được thực hiện qua hai bước: bước 1 là hiệu chỉnh mô hình triều, bước 2 là hiệu chỉnh mô hình mặn.

2) Thiết lập sơ đồ mạng sông

Phạm vi tính toán bao gồm toàn bộ mạng sông Hồng - Thái Bình. Cụ thể cho từng hệ thống sông như sau:

- Hệ thống sông Hồng, bao gồm các sông Đà, Thao, Lô, Chảy, Đuống, Luộc, Hoá, Trà Lý, Ninh Cơ, Đào và hệ thống sông Đáy.

- Hệ thống sông Thái Bình, sông Cầu, Thương, Lục Nam, Thái Bình, Kinh Thầy, Đá Bạch, Cửa Cấm, Lạch Tray, Văn Úc, sông Gù, sông Mía, sông Mối, Kinh Môn.

Xem sơ đồ tính toán trên hình 1.

3) Điều kiện biên thuỷ văn

Do tính mềm dẻo của mô hình, các biên có thể chọn hoặc mực nước hoặc quá trình lưu lượng tuỳ theo số liệu hiện có.

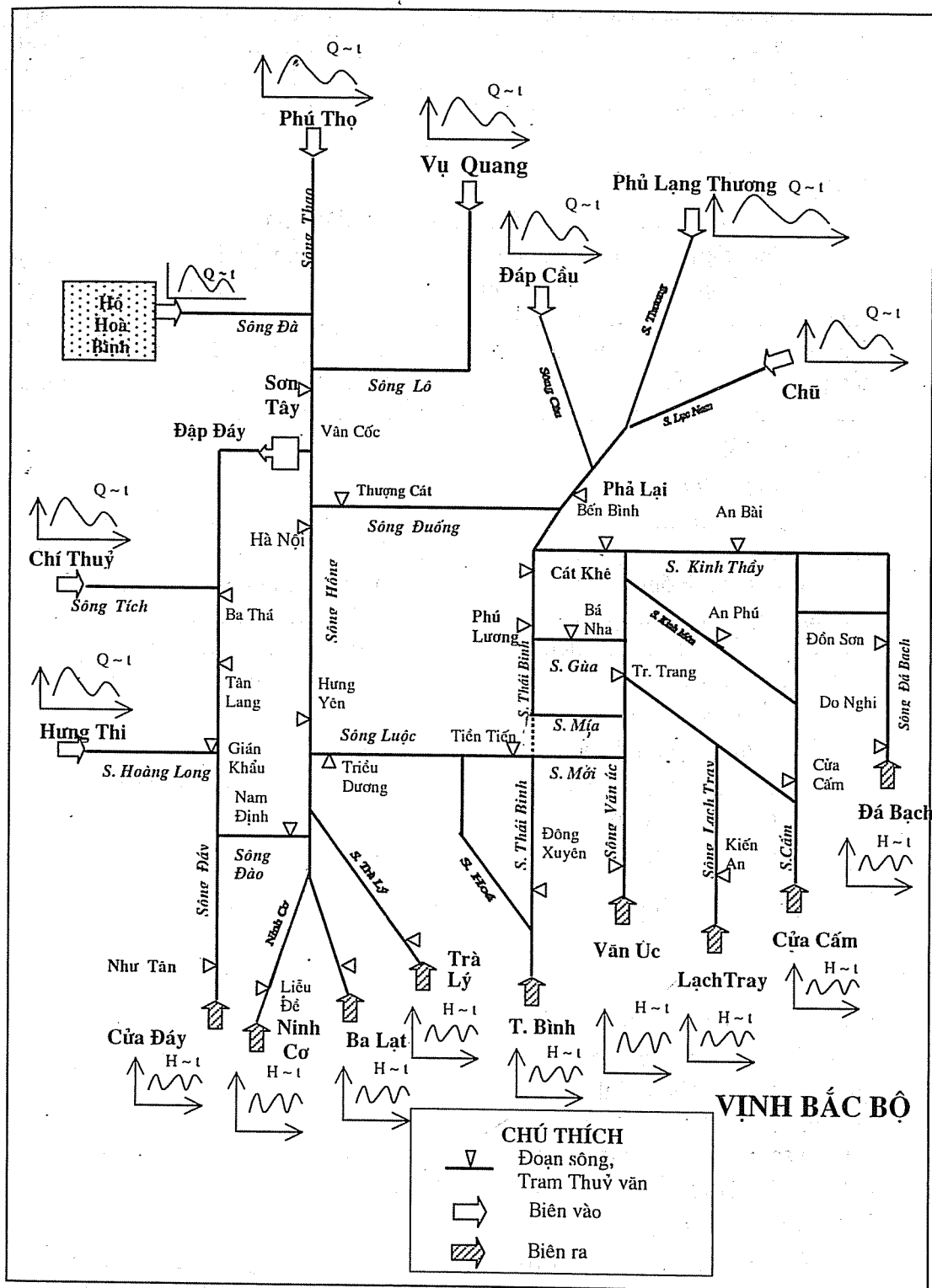
Điều kiện biên trên (biên vào hệ thống): 8 biên

- + Biên quá trình lưu lượng ($Q \sim t$): lưu lượng xả từ đập Hoà Bình (sông Đà). Quá trình lưu lượng này biểu thị lưu lượng xả ra từ hồ Hoà Bình theo quy định vận hành của công trình điều tiết mùa.

- + 7 biên thượng nguồn tiếp theo là các trạm thuỷ văn không ảnh hưởng thuỷ triều trên các sông nhập lưu chính của hệ thống sông Hồng - Thái Bình. Biên được chọn là quá trình mực nước giờ ($H \sim t$), cụ thể: 1. Phú Thọ (sông Thao); 2. Vụ Quang (sông Lô); 3. Đáp Cầu (sông Cầu); 4. Phủ Lạng Thương (sông Thương); 5. Chũ (sông Lục Nam); 6. Chí Thuỷ (sông Tích); 7. Hưng Thi (sông Bôi).

Điều kiện biên mực nước dưới

Điều kiện biên dưới là quá trình mực nước và mặn thực đo tại các mặt cắt biên tại cửa sông của mỗi sông với điều kiện *không chịu tác động của dòng chảy sông*. Do thực tế hiện nay không có mực nước thực đo ngay tại các mặt cắt sát cửa sông, chỉ có các trạm mực nước cơ bản phía trong cách cửa sông từ 6 - 9 km. Hiện có nhiều phương pháp tính toán tạo biên cho mỗi cửa sông như sử dụng mô hình số trị tính toán mực nước triều vịnh Bắc Bộ hoặc phương pháp phân tích điều hoà. Tuy nhiên, một giải pháp đơn giản, nhưng có hiệu quả là lập quan hệ tương quan giữa Trạm Hòn Dấu với các trạm mực nước hiện có của mỗi cửa sông và nội suy quá trình mực nước tại cửa sông.



Hình 1. Sơ đồ tính xâm nhập mặn hệ thống sông Hồng - Thái Bình

Dưới đây là các biên dưới (trạm thủy văn lập tương quan) cho 9 cửa sông: 1. Do Nghi (sông Đá Bạch); 2. Cửa Cấm (sông Cấm); 4. Kiến An (sông Lạch Tray); 4. Quang Phục (sông Văn Úc); 5. Đông Xuyên (sông Thái Bình); 6. Trà Lý (sông Trà Lý); 7. Ba Lạt (sông Hồng); 8. Phú Lễ (sông Ninh Cơ); 9. Như Tân (sông Đáy).

4) Điều kiện biên mặn

- Điều kiện biên vào: quá trình mặn ở các biên thượng lưu = 0.
- Điều kiện biên dưới: về điều kiện biên mặn cũng phải lấy đồng nhất tại Hòn Dấu và hiệu chỉnh mô hình sao cho kết quả tương đối phù hợp với độ mặn thực đo tại các trạm mặn cơ bản. Hơn nữa, trong mùa cạn, độ mặn Trạm Hòn Dấu thay đổi không nhiều, nên có thể xem là hợp lý nếu dùng một độ mặn là hằng số tại đây. Tuy nhiên, cần phải có thêm tài liệu thực đo và đưa vào một phương pháp tính toán mới (sẽ đề cập ở phần tiếp theo) để kiểm nghiệm việc hiệu chỉnh này.

5) Số liệu địa hình

Tài liệu địa hình được sử dụng cho mô hình này là các tài liệu mặt cắt thực đo trên toàn bộ hệ thống sông Hồng - sông Thái Bình do Đoàn khảo sát Thủy văn sông Hồng - Thái Bình thực hiện trong khuôn khổ Chương trình “Phòng chống lũ sông Hồng - Thái Bình”, 1999- 2001 do Bộ NN&PTNT là chủ đầu tư. Đây là bộ số liệu đầy đủ, đồng bộ nhất từ trước đến nay trên hệ thống sông. Tài liệu được thẩm định chặt chẽ, có độ tin cậy cao để sử dụng trong các bài toán thủy lực.

6) Kết quả tính toán hiệu chỉnh mô hình

- Kết quả tính toán cho thấy phù hợp tương đối tốt giữa kết quả tính toán và thực đo cho cả 3 trạm.
- Phù hợp với quy luật thủy triều: đỉnh mặn xuất hiện sau đỉnh triều 2 - 4 giờ.
- Dao động đồng pha giữa mực nước triều và quá trình mặn,

7) Đánh giá sai số

- Sai số về trị số lớn nhất cả 3 trạm cho kết quả khá tốt. Trị số sai số lớn nhất là 0,30 ‰, với chênh lệch xuất hiện trong khoảng 1,2 đến 1,5 giờ.
- Mức độ phù hợp giữa đường quá trình tính toán và thực đo được đánh giá qua tỷ số S/σ . Theo kinh nghiệm nghiên cứu độ mặn một số vùng ở nước ta, giới hạn đến mức có thể chấp nhận được của tỷ số S/σ ở mức 0,50 - 0,55. Như vậy, so sánh với trị số kinh nghiệm, độ phù hợp của 3 trạm tính toán kiểm định trên ở mức hợp lý và chấp nhận được (bảng 1).

b. Tính toán kiểm định mô hình

Khi hiệu chỉnh thông số với đợt xâm nhập mặn ngày 24 - 25/III/1976, mô hình được tính toán kiểm tra với đợt đo đạc xâm nhập mặn từ ngày 17/XII đến 31/ XII/ 1998 trên hệ thống sông Văn Úc. Sơ đồ hệ thống và các điều kiện tính

toán giữ nguyên trong bài toán hiệu chỉnh mô hình. Kết quả tính toán kiểm tra được lập trong bảng 2.

Bảng 1. Kết quả đánh giá sai số về độ mặn tính toán và thực đo

TT	Tên trạm	Sông	Độ mặn lớn nhất (%)			$\Delta t_{\text{đỉnh}}$ (giờ)	S/ σ
			Tính toán	Thực đo	$\Delta S(\text{‰})$		
1	Kinh Khê	Văn Úc	5,62	5,85	-0,13	2,5	0,39
2	Cống Rỗ	Thái Bình	2,48	2,36	0,12	2,0	0,41
3	Cửa Cấm	Cấm	22,20	21,90	0,30	1,8	0,32

Bảng 2. Kết quả tính toán và thực đo cho đợt đo đạc từ 17/XII đến 31/ XII/ 1998 trên sông Văn Úc

TT	Trạm/Vị trí	Sông	Độ mặn lớn nhất(‰)			$\Delta t_{\text{đỉnh}}$ (giờ)	S/ σ
			Tính toán	Thực đo	$\Delta S(\text{‰})$		
1	Trung Trang	Văn Úc	0,14	0,08	0,06	2	-
2	Cấm Văn	Văn Úc	0,38	0,50	-0,12	1,8	-
3	Hàm Long	Văn Úc	0,65	0,87	-0,22	1,8	0,38
4	Bến Than	Văn Úc	2,61	2,50	0,11	1,8	0,37
5	Quang Phục	Văn Úc	9,78	10,01	0,23	1,7	0,35
6	Bến Sứa	Văn Úc	16,00	17,55	-1,55	1,5	0,32

Nhận xét:

Các trị số S/ σ dao động trong khoảng từ 0,32 đến 0,38. Riêng hai trạm Trung Trang và Cấm Văn có giá trị độ mặn thực đo xấp xỉ bằng 0, nên không đánh giá sai số. Thời gian chênh lệch về xuất hiện đỉnh mặn chỉ dao động trong khoảng 1,5 đến 2 giờ. Như vậy, tất cả các vị trí được hiệu chỉnh có độ phù hợp tương đối tốt giữa tính toán và thực đo.

5. Lập phương án dự báo xâm nhập mặn

a. Đặt vấn đề

Qua kết quả tính toán hiệu chỉnh và kiểm tra cho thấy có sự phù hợp tương đối tốt giữa tính toán và thực đo nên có thể sử dụng mô hình SALMOD để dự báo xâm nhập triều mặn. Bài toán dự báo xâm nhập mặn thực chất là bài toán tính toán quá trình xâm nhập mặn trong sông khi dự báo được hệ thống biên vào (quá trình thủy văn vào các biên trên) và hệ thống biên cửa sông (mực nước triều và quá trình nồng độ mặn xâm nhập vào mỗi cửa sông). Do vậy, thời gian dự kiến phụ thuộc vào thời gian dự báo đồng thời các biên vào và ra như

trình bày trên.

b. Sơ đồ hệ thống sông: Theo sơ đồ trên hình 1.

c. Điều kiện biên trên

Quá trình lưu lượng, mực nước dự báo theo thời gian dự kiến được quy định trong hệ thống dự báo chung của các sông thượng lưu thuộc hệ thống sông Hồng - Thái Bình.

d. Điều kiện biên dưới

Mực nước triều và quá trình nồng độ mặn dự báo ở 9 cửa sông. Việc xác định quá trình mực nước dự báo tại 9 cửa sông yêu cầu có độ tin cậy cao, vì vậy có thể áp dụng hai phương pháp:

1) *Cách thích hợp nhất là giải bài toán tổng hợp*

Mô hình dự báo xâm nhập triều SALMOD (1 chiều) kết hợp giải đồng thời với mô hình hai chiều diễn toán quá trình truyền triều từ trạm hải văn Hòn Dấu, tại đây đã có dự báo thủy triều hàng năm qua Lịch Thủy triều đã được Nhà nước cho công bố chính thức.

2) *Dùng phương pháp truyền triều qua hệ số thủy triều đến các vị trí của sông*

Các hệ số thủy triều có thể xác định được qua phân tích thực nghiệm chuỗi quan trắc đồng thời nhiều năm giữa trạm Hòn Dấu và các trạm gần cửa sông nhất.

Phương pháp thứ nhất có độ mức độ tin cậy hơn vì thể hiện đúng bản chất vật lý của hiện tượng nhưng chi phí sử dụng số liệu lớn và cần thiết phải có một mô hình động lực thủy triều đủ mạnh để áp dụng.

Phương pháp thứ hai tuy mức độ tin cậy kém hơn nhưng rất phù hợp thực tế khi sử dụng các nguồn tài liệu thực đo. Vì vậy, phương pháp này đang được đề xuất sử dụng rộng rãi trong khi phương pháp thứ nhất vẫn còn ở mức thử nghiệm.

Độ mặn dự báo: quá trình biến đổi nồng độ mặn ở vịnh Bắc Bộ ít biến đổi hơn so với quá trình mực nước triều. Vì vậy, qua phân tích thống kê có thể chọn các dạng biến đổi mặn theo các con triều điển hình như biến đổi theo mùa, kỳ nước kém, trung bình, triều cường để làm các biên dự báo.

6. Kết luận và kiến nghị

- Quá trình xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Hồng - Thái Bình diễn ra rất phức tạp với cơ chế chính là trộn vừa và trộn đều. Chỉ tiêu phân tầng nói chung là nhỏ hơn 0,5, đa số trường hợp nằm trong khoảng 0,1 - 0,3. Vì vậy, mô hình mặn một chiều trên cơ sở phương trình khuếch tán - đối lưu bảo toàn lượng mặn và hệ phương trình Saint - Venant là mô hình phù hợp hiện nay để tính toán cũng như dự báo xâm nhập mặn ở các vùng này.

- Mô hình SALMOD tính xâm nhập mặn cho các sông chính của Đồng bằng sông Hồng - sông Thái Bình đã cho những kết quả tương đối tốt cả về tính toán lưu lượng mực nước và độ mặn. Qua tính toán kiểm nghiệm và dự báo thử cho một vài con triều cho thấy, mô hình này có thể áp dụng cho tính toán và dự báo xâm nhập mặn cho các vùng cửa sông Hồng - Thái Bình.

- Mô hình SALMOD là chương trình do các chuyên gia trong nước tự xây dựng để giải một bài toán thực tế trong điều kiện cụ thể ở nước ta. Với thời gian xây dựng không dài, kinh nghiệm lập trình của các chuyên gia còn hạn chế, tác giả hy vọng rằng với bộ chương trình nguồn mở hiện có sẽ tiếp tục cải tiến, hoàn thiện để tăng khả năng tính toán với độ tin cậy tốt hơn.

Tài liệu tham khảo chính

1. Trần Văn Phúc. *Mô hình hoá quá trình xâm nhập mặn Đồng bằng sông Hồng và sông Cửu Long*. Đề tài NCKH cấp Tổng cục, 1990 - 1992.
2. Nguyễn Như Khuê. *Xây dựng mô hình toán dòng chảy và nồng độ chất hoà tan*, hướng dẫn thực hành, Hà Nội 1994.
3. Sở NN&PTNT TP Hải Phòng & CTV. *Điều tra nghiên cứu dự báo xâm nhập mặn trên sông phục vụ cho quy hoạch và sản xuất nông nghiệp ở Hải Phòng*. Đề tài NCKH cấp Thành phố, 1999 - 2001.
4. Lã Thanh Hà. *Đánh giá khả năng phân lũ sông Đáy và sử dụng lại các khu chậm lũ, đề xuất các phương án xử lý khi gặp lũ khẩn cấp*. Dự án cấp Nhà nước, thuộc Chương trình Phòng chống lũ sông Hồng - Thái Bình, 2000 - 2001.