

TÍNH TOÁN, DỰ BÁO MỰC NƯỚC VÀ ĐỘ MẶN CHO KHU VỰC CỬA SÔNG BẰNG MÔ HÌNH SỐ TRỊ

NCS. **Nguyễn Xuân Hiền**, CN. **Hoàng Văn Đại**,
CN. **Khương Văn Hải**, CN. **Phạm Văn Tiến**

Trung tâm Nghiên cứu Biển và Tương tác Biển khí quyển
Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường

Xâm nhập mặn ảnh hưởng đến sự suy thoái nguồn nước, mặn hóa đất trồng và làm giảm giá trị thổ nhưỡng. Dự báo xâm nhập mặn chính xác có vai trò rất lớn đối với việc chủ động phát triển nông – ngư nghiệp, và quy hoạch sử dụng đất vùng kinh tế ven biển. Nghiên cứu, dự báo xâm nhập mặn đã và đang là một trong những vấn đề được nhiều nhà khoa học trong nước cũng như trên thế giới quan tâm nghiên cứu. Các nhân tố ảnh hưởng đến dự báo xâm nhập mặn là độ mặn ngoài khơi, chế độ thủy triều, lưu lượng nước trên thượng nguồn và mưa. Bài báo này, trình bày các kết quả nghiên cứu về mô hình số trị hai chiều tính toán, dự báo độ mặn và mực nước triều tại khu vực cửa sông. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm với số liệu thực đo và sau đó tính toán, dự báo cho khu vực cửa sông thuộc đồng bằng sông Hồng.

1. Giới thiệu chung

Việc nghiên cứu xâm nhập mặn luôn là một trong những vấn đề được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Cho đến nay, trên thế giới đã có rất nhiều các nghiên cứu liên quan đến tính toán, dự báo quá trình xâm nhập mặn. Trong nghiên cứu về mô hình thủy động lực học, Prichard (1971) đã dẫn xuất hệ phương trình 3 chiều để diễn toán quá trình xâm nhập mặn và đã cho những kết quả ban đầu. Tuy vậy, việc xác định chính xác các thông số trong nghiên cứu này cũng còn có nhiều hạn chế, ngoài ra, 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. Các nghiên cứu khác như: Sanker và Fischer, Masch (1970) và Leendertee (1971) dựa vào việc xây dựng các mô hình 2 chiều và 1 chiều để giải các bài toán lan truyền và xâm nhập mặn và đã cho những kết quả tích cực. Gần đây, các nghiên cứu của Brett F. Sanders và Michael Piasecki (2002), Eric Wolanski và Bernard Cassagne (2004), K. Inoue, K. Toda và M. Tanaka (2005) và trên cơ sở các mô hình thủy động lực, đã nghiên cứu, đưa ra các giải pháp tối ưu cho việc khai thác nước ngọt, chống mặn hóa trên các lưu vực sông cụ thể. Cùng

với sự phát triển của công nghệ thông tin và thương mại hóa, hiện nay, có rất nhiều bộ mô hình thủy động lực học có thể tính toán, mô phỏng và dự báo xâm nhập và ô nhiễm mặn với độ chính xác cao. Các bộ mô hình thương mại hay được sử dụng trên thế giới hiện nay có thể kể đến như DELFT 3D, SMS, MIKE hoặc những bộ mô hình mã nguồn mở thông dụng như POM, ROM, GHER đều có thể mô phỏng tốt các yêu cầu này.

Ở Việt Nam, năm 1980, dưới sự tài trợ của Ủy ban sông Mê Công, một số mô hình tính xâm nhập triều, mặn đã được xây dựng. Các mô hình này đã được ứng dụng vào việc nghiên cứu quy hoạch phát triển châu thổ sông Mê Công, 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. Các nhà khoa học Việt Nam đi đầu trong nghiên cứu về xâm nhập mặn có thể kể đến là Nguyễn Như Khuê, Nguyễn Ân Niên. Việc nghiên cứu và sử dụng mô hình để tính toán xâm nhập mặn ở đồng bằng sông Hồng - Thái Bình ít được chú ý hơn. Năm 1994 - 1995, Trần Văn Phúc đã xây dựng mô hình SIMRR để tính toán thử nghiệm xâm nhập mặn ở khu vực một số cửa sông. Lã Thanh Hà đã cải tiến SIMRR với mục đích dự

Người ph biện: TS. **Nguyễn Kỳ Phùng**

báo thử nghiệm xâm nhập mặn cho khu vực đồng bằng sông Hồng – Thái Bình và đã có những thành công nhất định. Tuy vậy, do khó khăn trong việc dự báo chính xác điều kiện biên tại các cửa sông nên việc tính toán, dự báo xâm nhập mặn cho vùng cửa sông gặp nhiều hạn chế.

Để đáp ứng yêu cầu của thực tế, các tác giả đã tiến hành nghiên cứu, sử dụng mô hình MIKE với việc kết hợp giữa mô hình MIKE 21 và mô hình MIKE 11 thông qua mô đun Couple để tính toán, dự báo độ mặn và mực nước triều cho khu vực cửa

sông, áp dụng thử nghiệm cho khu vực cửa sông Hồng.

2. Cơ sở lý thuyết

Mô hình MIKE do Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI phát triển), là một gói phần mềm dùng để mô phỏng dòng chảy, lưu lượng, chất lượng nước và vận chuyển bùn cát và các chất ô nhiễm ở các cửa sông, sông, hồ, biển và các khu vực chứa nước khác.

Hệ phương trình sử dụng là hệ phương trình Saint Venant cho bài toán không gian hai chiều, gồm phương trình liên tục và 2 phương trình động lượng:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \tag{1}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q + fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (P_a) = 0 \tag{3}$$

Trong đó: *h* là độ sâu mực nước yên tĩnh; *d* là độ sâu tổng cộng; ζ là dao động mực nước bề mặt; *p* và *q* là thông lượng vận tốc theo các phương *x* và *y*; *C* là hệ số nhám, *g* là gia tốc trọng trường; *f*(*V*) là ma sát gió; *V*, *V_x* và *V_y* vận tốc gió và các thành phần theo các phương *x*, *y*; *P_a* là áp suất không khí;

Ω là thông số Coriolis ρ_w là mật độ nước và τ_{xx} , τ_{yy} , τ_{xy} là các thành phần ứng suất.

Phương trình tải khuếch tán: hay còn gọi là phương trình bảo toàn khối lượng chất hòa tan hai chiều có dạng như sau:

$$\frac{\partial}{\partial t} (hc) + \frac{\partial}{\partial x} (uhc) + \frac{\partial}{\partial y} (vhc) = \frac{\partial}{\partial x} \left(hD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(hD_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - FhC + S \tag{4}$$

Trong đó: *C* là nồng độ chất khuếch tán; *u*, *v* là thành phần vận tốc theo phương trục *x*, *y*; *h* là độ sâu mực nước; *D_x*, *D_y* hệ số khuếch tán theo hướng trục *x*, *y* và *F* là hệ số ngưng kết.

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\alpha}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\beta}{g} V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{V|V|}{Cz^2 R} = 0 \tag{6}$$

Phương trình tải khuếch tán sử dụng trong mô hình có dạng như sau:

Hệ phương trình sử dụng trong mô hình một chiều là hệ phương trình Saint Venant gồm: phương trình liên tục và phương trình động lượng:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \tag{5}$$

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_s q \tag{7}$$

Trong đó: *h* là cao trình mực nước ở thời đoạn

tính toán (m); t là thời gian tính toán (s); Q là lưu lượng dòng chảy qua mặt cắt (m^3/s); V là tốc độ nước chảy qua mặt cắt ngang sông; X là không gian (dọc theo dòng chảy) (m); β là hệ số phân bố lưu tốc không đều trên mặt cắt; A là diện tích mặt cắt ướt (m^2); q là lưu lượng ra nhập dọc theo đơn vị chiều dài (m^2/s); C là nồng độ chất tan; C_2 là nồng độ chất hòa tan tại nguồn, D là hệ số phân tán C_2 là hệ số Chezy.

3. Ứng dụng mô hình MIKE 21 và mô hình MIKE 11 nghiên cứu diễn biến mặn vùng hạ lưu sông Hồng – Thái Bình.

a. Điều kiện địa hình, miền tính và lưới tính

Nghiên cứu được tính toán, mô phỏng cho đoạn cửa sông Hồng với việc kết hợp 2 mô hình MIKE 11 và MIKE 21 thông qua mô đun Couple. Địa hình miền tính cho mô hình MIKE 21 được lấy từ số liệu đo đạc của Bộ Tư lệnh Hải quân, từ $18^{\circ}40'N$ đến $21^{\circ}55'N$ và $105^{\circ}31'E$ đến $110^{\circ}42'E$ bao gồm 290000 nút lưới, bước lưới là 1 km, địa hình mặt cắt sông trong MIKE 11 do Đoàn Khảo sát sông Hồng cung cấp bao gồm 19 mặt cắt từ cống Mom Ro đến cửa Ba Lạt, dài 34 km.

b. Điều kiện biên của mô hình

Các biên của bài toán bao gồm 2 loại biên cho mô hình MIKE 11 và MIKE 21. Với mô hình MIKE 21, biên mực nước được lấy theo số liệu hằng số điều hòa từ mô phỏng thủy triều trên quy mô toàn cầu, giá trị độ mặn ngoài biên được lấy theo độ mặn trung bình nhiều năm cho tại ngoài khơi khu vực Vịnh Bắc Bộ ($\approx 33\%$). Biên trên của mô hình 1 chiều là số liệu lưu lượng thực đo cách cửa sông 34 km (Mom Ro) và độ mặn được lấy bằng hằng số 0 ‰.

c. Kết hợp mô hình MIKE 11 và MIKE 21 bằng mô đun Mike Couple

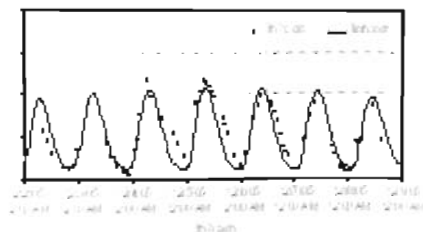
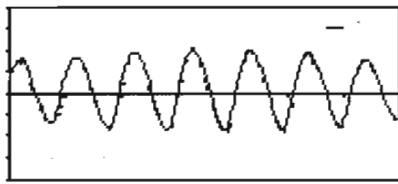
Mô hình MIKE 21 và MIKE 11 sau khi được tính toán, hiệu chỉnh riêng rẽ để có được bộ thông số thủy lực phù hợp sẽ được kết hợp trong mô đun Mike Couple. Trong đó, biên dưới của mô hình MIKE 11 được lấy từ kết quả tính toán tại vị trí tương ứng trong mô hình MIKE 21 và ngược lại, biên nhập lưu của mô hình MIKE 21 sẽ được lấy từ kết quả tính lưu lượng tại vị trí cửa sông của mô hình MIKE 11. Cả hai mô hình được tính toán với cùng bước thời gian. Kết quả tính toán mực nước và độ mặn tại trạm thủy văn Ba Lạt (cách cửa sông 10 km) sẽ được sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình Mike Couple.

d. Hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình

Mùa cạn trên sông Hồng kéo dài từ tháng 4 đến tháng 5 năm sau. Để hiệu chỉnh bộ thông số mô hình, nghiên cứu này sử dụng tài liệu thực đo tại các trạm thủy văn từ 2/12/2005 đến 8/12/2005. Việc kiểm nghiệm mô hình được tiến hành với chuỗi số liệu thực đo từ 20/4/2006 đến 24/4/2006.

1) Kết quả hiệu chỉnh mô hình

Điều kiện biên trên cho mô hình MIKE 11 là lưu lượng và độ mặn tại Mom Ro trong chuỗi số liệu thực đo từ 0 giờ ngày 2 tháng 12 năm 2005 đến 23 giờ ngày 8 tháng 12 năm 2005. Biên ngoài khơi cho mô hình MIKE 21 là mực nước được tính từ hằng số điều hòa cùng thời gian trên. Độ mặn ngoài khơi được lấy bằng hằng số (33 ‰). Với việc hiệu chỉnh các thông số tính toán thủy lực và tải khuếch tán của cả hai mô hình MIKE21 và MIKE 11. Kết quả tính toán độ mặn và mực nước khu vực cửa sông Hồng tại trạm Ba Lạt được thể hiện trong hình 1.

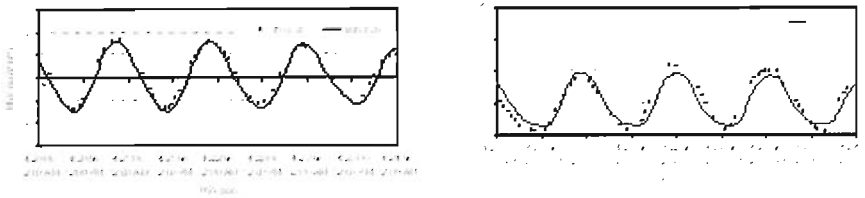


Hình 1. Đường quá trình mực nước và độ mặn tính toán và thực đo tại trạm Ba Lạt khi hiệu chỉnh mô hình

Từ hình vẽ, có thể thấy rằng, đường quá trình mực nước và độ mặn tính toán gần trùng với đường quá trình mực nước và độ mặn thực đo, cả biên độ và pha đều có sự thống nhất cao. Kết quả tính sai số cho thấy sai số về trị số lớn nhất là 3% tại đỉnh triều, lệch đỉnh nhiều nhất là 2 giờ, đây là các sai số có thể chấp nhận được. Chỉ số Nash giữa kết quả tính toán và thực đo của mực nước là 0,96, của độ mặn là 0,86 là những chỉ số cao, cho thấy sự hiệu chỉnh đạt hiệu quả tốt.

2) Kết quả kiểm nghiệm mô hình

Với bộ thông số đã được hiệu chỉnh, mô hình được kiểm nghiệm trong thời gian từ ngày 20 tháng 4 năm 2006 đến ngày 24 tháng 4 năm 2006. Biên mực nước và độ mặn được sử dụng là kết quả khảo sát tại trạm Mom Rô, biên ngoài khơi cho mô hình MIKE 21 là mực nước được tính từ hằng số điều hòa cùng thời gian trên. Độ mặn ngoài khơi được lấy bằng hằng số (33 ‰). Kết quả thể hiện trong hình 2.



Hình 2. Đường quá trình mực nước và độ mặn tính toán và thực đo tại trạm Ba Lạt khi kiểm nghiệm mô hình

Kết quả cho thấy, đường quá trình mực nước và độ mặn tính toán trong kiểm nghiệm mô hình cũng đạt tương đồng cao với số liệu thực đo. Kết quả tính sai số cho thấy sai số về trị số lớn nhất là 4 ‰ tại đỉnh triều, lệch đỉnh nhiều nhất là 1 giờ. Chỉ số Nash giữa kết quả tính toán và thực đo của mực nước là 0,98, của độ mặn là 0,94 đều là những chỉ số rất cao, cho thấy mô hình đạt kết quả cao trong kiểm nghiệm, có thể được sử dụng phục vụ dự báo mực nước và độ mặn cho khu vực cửa sông.

4. Thiết lập bài toán dự báo mực nước và độ mặn cho vùng cửa sông

Kết quả tính toán hiệu chỉnh và kiểm nghiệm cho thấy có sự phù hợp cao giữa tính toán và thực đo nên đây là cơ sở quan trọng để có thể sử dụng bộ mô hình kết hợp giữa MIKE 21 và MIKE 11 phục vụ dự báo mực nước triều và xâm nhập mặn cho vùng cửa sông.

Trong bài toán dự báo thì vấn đề được quan tâm nhiều nhất vẫn là thời gian dự báo. Để kéo dài thời gian dự báo cho các điểm cần dự báo thì cách đơn giản nhất là kéo dài thời gian dự báo của các biên. Đối với việc dự báo biên triều và độ mặn ở ngoài

khơi như trong nghiên cứu này thì thời gian dự kiến có thể rất dài và như vậy hoàn toàn thỏa mãn các điều kiện trên. Đối với các biên thuộc đất liền việc kéo dài thời gian dự kiến sẽ dựa vào việc lấy các biên trên cách xa vị trí dự báo. Hiện tại, các biên trên trong nghiên cứu này cách biển khoảng 34 km và đây cũng là biên hoàn toàn có thể dự báo được dựa vào mô hình một chiều MIKE 11.

Biên trên của mô hình một chiều là quá trình lưu lượng dự báo tại các trạm thủy văn thượng lưu, có thể được kết hợp với mô hình mưa dòng chảy, điều hành hồ chứa, ... v.v. Cho đến nay, việc dự báo mực nước, lưu lượng tại Hà Nội đã có thời gian dự kiến từ 24 đến 72 giờ. Đồng thời độ mặn của các biên thượng lưu này được lấy bằng 0 ‰ thỏa mãn các yêu cầu của công tác dự báo mặn vùng cửa sông. Bên cạnh đó, việc kết hợp với biên ngoài khơi là mực nước được tính từ bộ hằng số điều hòa và độ mặn được lấy trung bình theo thời gian giúp quá trình dự báo mực nước và độ mặn cho vùng cửa sông nhanh và chính xác, nó góp phần giải quyết các khó khăn của các dự báo viên trong việc xác định các điều kiện biên mực nước và độ mặn dự báo tại cửa sông trong mô hình một chiều trước đây.

Như vậy, việc dự báo mặn tại các vùng cửa sông Hồng, Đáy, Ninh Cơ với thời gian dự kiến ít nhất là 24 giờ, có thể đến 120 giờ với độ chính xác đảm bảo sẽ giúp cơ quan quản lý và người dân có thể đưa ra các quyết định chính xác trong các hoạt động kinh tế và khoa học có liên quan.

Ngoài ra, với mô hình 2 chiều MIKE 21, chúng ta còn có thể kết hợp tính toán đến các yếu tố khí tượng thủy văn khác cũng gây ảnh hưởng đến mực nước và quá trình xâm nhập mặn như gió mùa, bão và sóng gây nên các hiện tượng nước dâng và xáo trộn độ mặn trong vùng cửa sông.

5. Kết luận và kiến nghị

Các kết quả hiệu chỉnh và kiểm nghiệm và những luận cứ trên cho thấy, bằng việc sử dụng mô hình số trị kết hợp giữa mô hình 2 chiều và mô hình 1 chiều trong bộ mô hình MIKE, hoàn toàn có thể được tính toán, dự báo mực nước và độ mặn cho khu vực cửa sông trên hệ thống sông Hồng và các cửa sông thuộc khu vực khác.

Một trong những khó khăn khi dự báo mực nước, độ mặn bằng mô hình một chiều là việc dự báo biên thủy triều. Với nghiên cứu này, thiết nghĩ, trong tương lai, cần phát triển và hoàn thiện các hệ thống mô hình thông qua việc gắn kết giữa mô hình 2

chiều MIKE 21 tính toán lan truyền triều và độ mặn từ ngoài khơi và mô hình 1 chiều MIKE 11 đã được thực hiện cho dự báo mực nước và lưu lượng. Như vậy, với biên trên của mô hình 1 chiều là quá trình lưu lượng dự báo tại các trạm thủy văn thượng lưu, độ mặn bằng 0 ‰ và biên ngoài khơi là mực nước được tính từ bộ hằng số điều hòa và độ mặn được lấy trung bình theo thời gian góp phần giải quyết các khó khăn trong việc xác định các điều kiện biên mực nước và độ mặn dự báo tại cửa sông trong mô hình một chiều trước đây. Bên cạnh đó, với mô hình 2 chiều, chúng ta còn có thể kết hợp tính toán đến các yếu tố khí tượng thủy văn khác cũng gây ảnh hưởng đến mực nước và quá trình xâm nhập mặn như gió mùa, bão và sóng gây nên các hiện tượng nước dâng và xáo trộn độ mặn trong vùng cửa sông.

Hiện nay, biến đổi khí hậu đã, đang và sẽ gây ra mực nước biển dâng, dẫn đến những biến đổi về diện tích sử dụng đất và quá trình xâm nhập mặn cho vùng cửa sông, ven biển. Nghiên cứu này có thể góp phần giúp đánh giá và dự báo ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng đến xâm nhập mặn cho khu vực cửa sông, đặc biệt là cho 2 khu vực đồng bằng sông Hồng – Thái Bình và đồng bằng sông Cửu Long.

Tài liệu tham khảo

1. *Lã Thanh Hà, Nghiên cứu khả năng dự báo mặn vùng đồng bằng sông Hồng - Thái Bình bằng mô hình toán, Tuyển tập báo cáo khoa học lần thứ 9, 2004.*
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. *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.*
4. *Brett F. Sanders¹ và Michael Piasecki, Mitigation of Salinity Intrusion in Well-mixed Estuaries by Optimization of Freshwater Diversion Rates, J. Hydr. Engrg. Volume 128, Issue 1, pp. 64-77;*
5. *Eric Wolanski và Bernard Cassagne, Salinity intrusion and rice farming in the mangrove-fringed Konkoure River delta, Guinea, Wetlands Ecology and Management, Volume 8, 28 – 36;*
6. *Muralikrishna, Rathna Devanathan; Circulation and salinity distribution in coastal inlets, Coastal Engineering, Volume 2, 1978, Pages 119-131;*