

NỐI GHÉP MÔ HÌNH MỘT CHIỀU TRONG SÔNG VỚI MÔ HÌNH HAI CHIỀU NGANG TRÊN BIỂN CHO TÍNH TOÁN THỦY LỰC VÀ MẶN ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG KHI KỂ TỚI BIẾN ĐỔI THƯỜNG LƯU, KHAI THÁC TRÊN ĐỒNG BẰNG VÀ CÁC ĐIỀU KIỆN KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN NGOÀI BIỂN ⁽¹⁾

PGS-TS Nguyễn Tất Đắc, ThS-NCS Lương Quang Xô, Viện Quy Hoạch Thủy Lợi miền Nam

Tóm tắt

Báo cáo này trình bày tóm tắt một mô hình ghép nối mô hình thủy lực một chiều trong sông với mô hình 2 chiều ngang trên biển dùng trong tính toán dòng chảy chảy và mặn của các phương án quy hoạch, khai thác và sử dụng tài nguyên nước trên ĐBSCL khi kể tới biến đổi dòng chảy ở thượng lưu, sự phát triển của Đồng bằng và các thay đổi ngoài biển như gió chướng, nước dâng. Một sơ đồ cụ thể cho Đồng bằng và vùng cửa sông ĐBSCL đã được xây dựng và đã được tính thử cho điều kiện thực tháng 3-4/2004. Kết quả tính toán cho thấy mô hình đã phản ánh khá hợp lý bản chất vật lý của hiện tượng cần mô phỏng. Về mặt học thuật báo cáo giới thiệu cách xây dựng mới mô hình 2 chiều ngang trên biển bằng phương pháp phân tử hữu hạn lưới tam giác và cách sử dụng kết quả của mô hình chiều đã có với một số cải biên để có thể ghép nối được 2 mô hình với nhau theo điều kiện bảo toàn lưu lượng ở cửa sông.

I- Đặt vấn đề

Mô hình toán là công cụ không thể thiếu được trong tính toán các phương án khai thác và phát triển tài nguyên nước ở Đồng Bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Cho đến nay các mô hình thủy lực và mặn một chiều (của cả trong nước và nước ngoài) được sử dụng phổ biến để tính toán các phương án quy hoạch. Với các mô hình này điều kiện biên là lưu lượng thượng lưu tại Kratie, Cầm Pu Chia, còn biên hạ lưu là mực nước và độ mặn thực đo tại các cửa sông của ĐBSCL. Về mặt toán học điều kiện biên (đặc biệt mực nước và độ mặn tại các cửa sông) phải là các giá trị không bị chi phối bởi sự biến đổi bên trong Đồng bằng, các điều kiện khí tượng thủy văn ngoài biển. Trên thực tế để tính toán cho các phương án quy hoạch trong tương lai ta không thể có được các giá trị biên thực đo ở cửa sông, đặc biệt khi có gió chướng hay nước biển dâng. Mặt khác các cửa sông thường rất rộng (từ 1 đến vài km) không thể đo đạc được độ mặn đặc trưng, mà có thực hiện đo đạc cũng rất tốn kém. Mặt khác sự khai thác Đồng bằng ngày càng gia tăng (làm cầu cống mới, đào kênh mới, cần nhiều nước cho nông, công nghiệp, thủy sản), các nước thượng lưu cũng gia tăng khai thác và lấy nước (thủy điện, nông nghiệp, thay đổi điều tiết của biển Hồ,...) làm cho lưu lượng thượng lưu về Đồng bằng cũng thay đổi. Sự thay đổi đó làm thay đổi mạnh độ mặn (và cả mực nước) ở các cửa sông. Vì thế cần phải tạo được một công cụ có thể tính toán được các thay đổi nêu trên trong các phương án quy hoạch. Hình 1 là một cách sơ đồ hóa mối quan hệ giữa ĐBSCL với các yếu tố chi phối.

Ta biết rằng ở khá xa ngoài biển (cách bờ cỡ 100km đối với ĐBSCL) độ mặn thường không đổi theo mùa (cỡ 34-36g/L) và có thể dùng phương pháp hằng số điều

hòa để dự báo mực nước triều (ở mức độ chính xác nào đó). Nếu như biết các điều kiện ở cửa sông thì sử dụng mô hình toán 2 chiều ngang với vùng biển cửa sông ta có thể tính được ảnh hưởng của gió chướng thổi trực tiếp vào cửa sông, lực quay trái đất (Coriolis), nước biển dâng đến sự thay đổi độ mặn và mực ở cửa sông (khi triều vào), đồng thời cũng tính được sự ảnh hưởng của lưu lượng trong sông đến sự thay đổi độ mặn và mực nước cửa sông khi triều rút. Mô hình 1 chiều trong sông đã khá tốt và quen thuộc với các kỹ sư, vấn đề còn lại là làm thế nào nối kết được mô hình 2 chiều trên biển với mô hình một chiều trong sông có kể được các tương tác sông biển.

(z) Đây là một phần kết quả của đề tài cấp Bộ “ Nghiên cứu xác định biên tính toán thủy lực và mặn ĐBSCL”, đã được nghiệm thu 4-2007; đồng thời cũng là một phần nội dung của luận án TS của NCS Lương quang Xô, đã được Bộ GDĐT đồng ý cho bảo vệ cấp Nhà nước.

Nội dung của báo cáo này nhằm giới thiệu việc xây dựng một mô hình ghép nối theo ý tưởng trên và việc áp dụng cho ĐBSCL.



Hình 1: Mối quan hệ giữa ĐBSCL và các yếu tố tác động

Mô hình ghép nối 1 chiều trong sông và 2 chiều ngang trên biển:

Để xây dựng một mô hình toán cần một số bước sau: i) Lựa chọn phương trình cơ bản, điều kiện biên và điều kiện đầu; ii) Lựa chọn thuật toán số để giải các phương trình cơ bản. Bước này rất quan trọng, nó phản ánh độ chính xác của mô hình và bản chất vật lý hiện tượng được mô phỏng, đồng thời cũng quyết định cách lập trình và thời gian tính toán trên máy; iii) Lập trình trên máy tính để thể hiện thuật toán. Hiện tại có rất nhiều ngôn ngữ lập trình và các công cụ GIS hỗ trợ. Việc lựa chọn ngôn ngữ, viết giao diện, sử dụng công cụ GIS để biểu diễn kết quả cũng là bước cần được xem xét trong xây dựng mô hình; iv) Tiếp theo là thử nghiệm mô hình đã xây dựng với một số bài toán mẫu nhằm kiểm tra định tính các yêu cầu được đặt ra với mô hình (như tính không âm của nồng độ, sự bảo toàn,..); v) Nếu đã qua được 4 bước trên thì có thể dùng cho bài toán cụ thể để xác định một số tham số trong mô hình. Nếu chưa qua được bước iv) thì cần xem xét lại, chủ yếu từ thuật toán. Nếu đã qua được 5 bước trên thì ta có một mô hình làm việc (operational model). Do tính phức tạp của các bước nêu trên đối với bài

tóan ghép nối 1-2 chiều ta chỉ nêu vắn tắt các điểm chính. Để biết chi tiết xin xem trong [2].

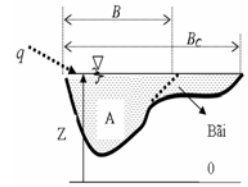
Hệ phương trình cơ bản và phương pháp giải

a) Hệ Saint-Venant và lan truyền chất một chiều cho bài toán trong sông:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{gn^2 B^{4/3} Q|Q|}{A^{7/3}} - BL_1 W^2 \cos \psi = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial S}{\partial x} \right) - \frac{q + Q_r + Q_m}{A} S + \frac{qS_q + Q_r S_r}{A} \quad (3)$$



Hình 2: Mặt cắt ngang sông

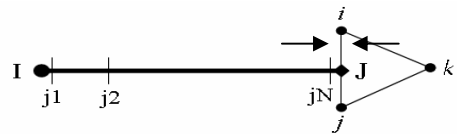
Trong (1), (2), (3) Z, Q, A, S tương ứng là mực nước, lưu lượng, diện tích mặt cắt ngang (hình 2), độ mặn; q là lưu lượng gia nhập; Q_r, Q_m tương ứng là lưu lượng trao đổi ruộng-kênh, lượng mưa; W, ψ tương ứng là vận tốc gió và góc gió; D là hệ số phân tán (dispersion); n là hệ số nhám Manning; S_q, S_r tương ứng là độ mặn trong dòng gia nhập và trong ruộng.

Sau khi sử dụng sơ đồ sai phân 4 điểm của Preissmann cho (1), (2) và tuyến tính hóa (bỏ đi các đại lượng nhỏ bậc 2) ta được hệ phương trình sai phân tuyến tính hóa sau đây cho từng đoạn sông nằm giữa 2 mặt cắt bất kỳ i và i+1.

$$\begin{cases} A1.Z_i + B1.Q_i + C1.Z_{i+1} + D1.Q_{i+1} = E1 \\ A2.Z_i + B2.Q_i + C2.Z_{i+1} + D2.Q_{i+1} = E2 \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó A1, B1, ..., E1, E2 là các hệ số đã biết, Z, Q là các ẩn số. (4) được giải bằng cách trước tiên tìm mực nước tại các hợp lưu, sau đó mới tìm Z, Q cho từng mặt cắt trong nhánh theo các công thức truy trính (Chi tiết xem trong [1]). Công thức truy trính sau đây sẽ được dùng cho nối ghép:

$$Q_{jN} = \frac{\zeta_i + \zeta_j}{2p_{jN}} - \frac{q_{jN}}{p_{jN}} Z_I - \frac{r_{jN}}{p_{jN}} = Q_{sea} \quad (5)$$



Hình 3: Nhánh sông J_I, J_N nối với phần tứ tam giác (i,j,k) ngoài biển

Trong (5) Q_{jN} là lưu lượng từ sông chảy ra, Q_{sea} là lưu lượng từ biển chảy vào/ra Z_I là mực nước hợp lưu I, còn ζ_i, ζ_j là mực nước tại hai đỉnh tam giác ngoài biển (hình 3). p, q, r là các hệ số truy trính.

Hệ phương trình có ẩn số là mực nước tại các hợp lưu sông sẽ có dạng:

$$A_{II} Z_I + \sum_{I \neq J}^{LN} A_{IJ} Z_J + \sum_K B_{IK} \zeta_K = C_I \quad I = 1, 2, \dots, LN \quad (6)$$

với LN là tổng số nút hợp lưu. A_{IJ} , B_{IK} là các hệ số của ma trận, C_I là hệ số của véc tơ cột về phải. Mỗi một nút hợp lưu ta có một phương trình (6), và với LN nút có LN phương trình với các ẩn số Z_1, Z_2, \dots, Z_{LN} và các mực nước ζ của các phần tử 2 chiều lân cận. Đây là phần nối kết, mà để giải được cần phải giải đồng thời phần 2 chiều sẽ được trình bày trong phần dưới. Trong bài toán một chiều của các mô hình trong sông trước đây các giá trị mực nước ζ ở cửa sông được cho trước (bằng thực đo) và như vậy có thể giải được hệ (6). Lưu ý rằng LN là tổng số các hợp lưu không kể biên và điểm nối cho nên bậc của rất nhỏ so với tổng số mặt cắt nếu giải trực tiếp hệ sai phân (4) cho toàn hệ sông. Cách giải hệ (6) được trình bày trong [1,3] khi thiết lập hệ phương trình đầy đủ cho cả 1 và 2 chiều. Khi đã giải được hệ (6) ta biết được mực nước tại tất cả các nút hợp lưu thì có thể dùng công thức truy đuổi để tính mực nước và lưu lượng tại các mặt cắt trong từng nhánh sông.

Phương trình (3) được giải bằng phương pháp đường đặc trưng với việc sử dụng nội suy spline bậc 3.

b) Hệ phương trình Saint-Venant 2 chiều ngang cho dòng chảy:

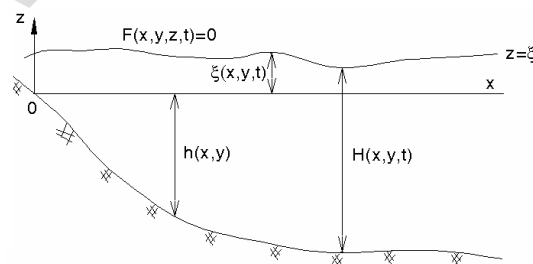
$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HU) + \frac{\partial}{\partial y}(HV) = q \quad (7)$$

$$\delta_U \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial t} + \xi \left(U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \sigma U - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = \lambda_1 + N \Delta(HU) \quad (8)$$

$$\delta_V \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \left[\frac{\partial V}{\partial t} + \xi \left(U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} \right) \right] + fU + \sigma V + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \lambda_2 + N \Delta(HV) \quad (9)$$

$$\delta_U = 1 + \frac{\bar{U}(1-\xi)}{H} ; \delta_V = \frac{\bar{V}(1-\xi)}{H} ; \lambda_1 = \frac{\rho_a C_d}{H\rho} W^2 \cos \psi ; \lambda_2 = KW^2 \sin \psi \quad (10)$$

Hình 4: Sơ đồ cho bài toán 2 chiều ngang



Trong (7) đến (10) ζ là mực nước biên, H là độ sâu, U , V là các thành phần vận tốc; f là hệ số Coriolis; σ liên quan tới hệ số cản; W , ψ là vận tốc và góc gió. Một số các hệ số khác xem trong [2]. Chú ý rằng về mặt học thuật các phương trình (8), (9) có thêm

các số hạng δ_U , δ_V và N so với các mô hình hai chiều hiện có và trong [3] đã khảo sát ảnh hưởng của số hạng này đến kết quả tính toán.

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn lưới tam giác để giải (7) đến (9). Sau khi áp dụng tích phân Galerkin cho 3 phương trình trên ta được một hệ phương trình đại số cho từng phần tử tam giác sau đây (chi tiết về việc thu nhận các phương trình này xem trong [3]):

$$\begin{cases} A1.\zeta + B1.U + C1.V + D1.Z = E1 \\ A2.\zeta + B2.U + C2.V = E2 \\ A3.\zeta + B3.U + C3.V = E3 \end{cases} \quad (11)$$

trong (11) ζ , U , V là mực nước và vận tốc theo hướng x và y trong miền 2 chiều, còn Z là mực nước tại các nút hợp lưu sông nối với biển. Các ma trận hệ số $A1$, $B1$, $C1$, $D1$, $A2$, $B2$, $C2$, $A3$, $B3$, $C3$ có bậc 3; còn ζ , U , V , Z , $E1$, $E2$, $E3$ là các véc tơ cột có 3 thành phần i , j , k . Các ma trận hệ số và các véc tơ sẽ có các dạng tương ứng với các điều kiện biên. Hệ phương trình (6) và (11) được liên kết với nhau nhờ điều kiện (5) và ta có được hệ phương trình ở dạng ma trận:

$$\begin{cases} A.Z + B.\zeta + 0.U + 0.V = F1 \\ 0.Z + C.\zeta + D.U + E.V = F2 \end{cases} \quad (12)$$

trong (12) A, B, C, D, E là các ma trận hệ số, còn Z , ζ , U , V , $F1$, $F2$ là các véc tơ cột. Việc xây dựng các ma trận và giải hệ (12) cũng là một vấn đề không dễ dàng cho thực hành và cho lập trình. Vấn đề này được bàn trong [2,3].

Phương trình 2 chiều ngang cho độ mặn C :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial x} (HD_x \frac{\partial C}{\partial x}) - \frac{1}{H} \frac{\partial}{\partial y} (HD_y \frac{\partial C}{\partial y}) = \frac{q(C_q - C)}{H} \quad (13)$$

Trong đó D là các hệ số phân tán, U , V là các thành phần vận tốc, C_q là độ mặn trong nguồn gia nhập q trên một đơn vị diện tích mặt; H là chiều sâu. Phương pháp phần tử hữu hạn lưới tam giác cũng được áp dụng cho (13). Xem chi tiết trong [2,3].

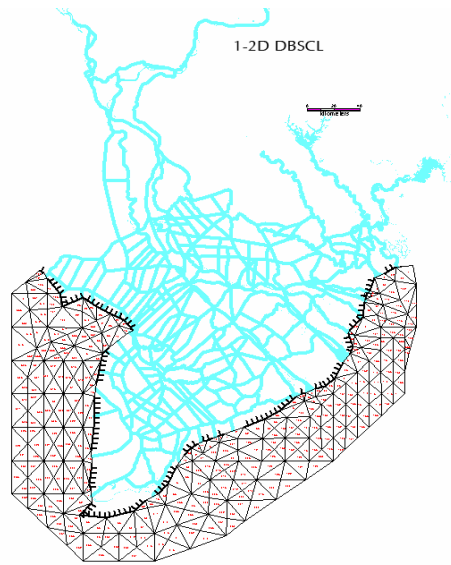
Mô hình nối ghép 1-2 chiều cho ĐBSCL:

Dựa trên thuật toán nêu tóm tắt ở trên một chương trình máy tính mang tên 1-2D Coupling đã được xây dựng và được tính thử cho ĐBSCL.

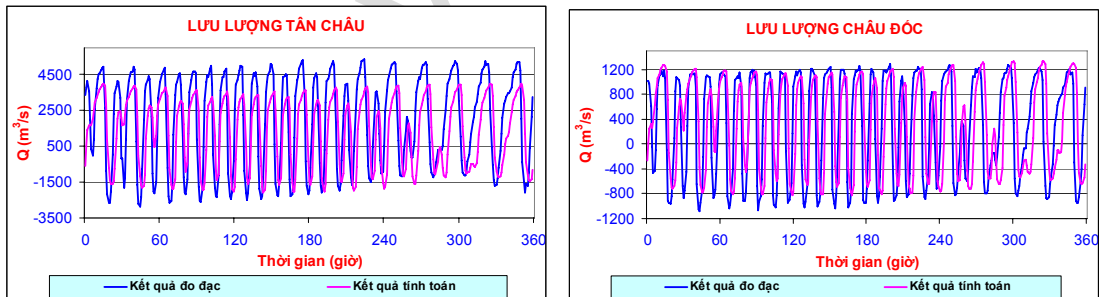
Một sơ đồ nối ghép 1-2 chiều cho ĐBSCL gồm cả hệ Sài Gòn-Đồng Nai đã được xây dựng gồm 508 nhánh sông chính với 1699 mặt cắt. Biên thượng lưu gồm Kratie, Dầu tiếng, Tri an, Gò Dầu, các nhập lưu biển Hồ. Các công kiểm soát mặn chính trên Bán đảo Cà Mau và vùng Tứ giác Long Xuyên. 271-285 điểm lấy nước (tùy thuộc từng tháng). Phần 2 chiều gồm 353 phần tử tam giác, 224 điểm nút, 33 nút biên biển, 19

điểm cửa sông nối biển. Sơ đồ tính như trên hình 5. Quá trình tính toán được thực hiện cho 3 tháng 2,3, 4 năm 2004. Lượng nước lấy tưới trong tháng 4 là 1084m³/s. Gió ngoài biển dựa trên số liệu trạm Bạch Hổ và sử dụng các hệ số gió cho từng điểm như trình bày trong mô hình phân tích điều hòa [2]. Tài liệu kiểm chứng gồm 4 trạm lưu lượng Tân châu, Châu đốc, Cần thơ, Mỹ thuận, 8 trạm mực nước tại Tân châu, Mỹ thuận, Cần thơ, Vàm kênh, Bến trại, Mỹ thanh, Gành Hào, Rạch giá; chỉ có 1 trạm mặn giò tại Vàm kênh .

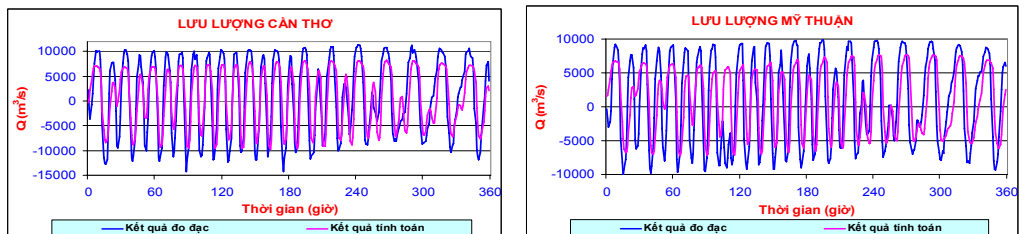
Hình 5:
Sơ đồ mạng sông và các điểm ngoài biển trong sơ đồ ghép nối 1-2 chiều cho ĐBSCL



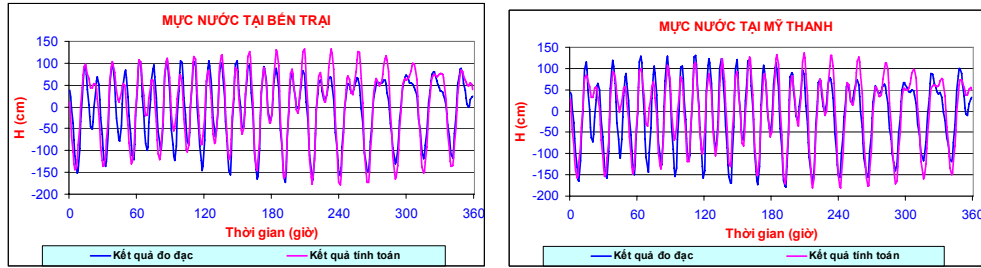
Một số kết quả tính toán ban đầu về mực nước và độ mặn được nêu dưới đây.



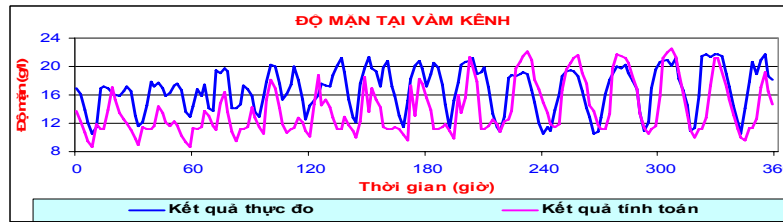
Hình 6: Q tính toán và thực đo trạm Tân Châu và Châu Đốc



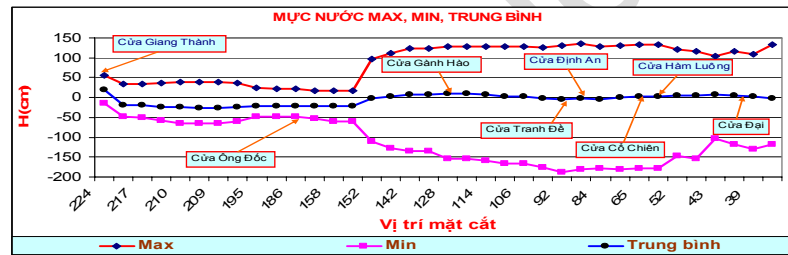
Hình 7: Q tính toán và thực đo trạm Cần Thơ và Mỹ Thuận



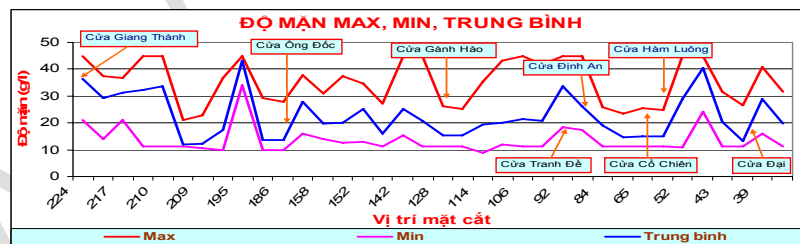
Hình 8: H tính toán và thực đo trạm Bến Trại, Mỹ Thanh



Hình 9: Độ mặn S tính toán và thực đo trạm Vàm Kênh



Hình 10: Biến đổi mực nước Max, Min, TB ven biển ĐBSCL



Hình 11: Biến đổi S_{Max} , S_{Min} , S_{TB} ven biển ĐBSCL

Nhận xét kết luận:

1. So sánh kết quả tính toán và thực đo cho thấy chương trình 1-2D Coupling chạy ổn định, nhanh (1 phút /1tháng cho sơ đồ trên) và phản ánh đúng hiện tượng vật lý xảy ra trong thực tế.
2. Kết quả về mực nước giữa tính toán và thực đo của các trạm Tân châu, Mỹ thuận, Cần thơ hoàn toàn phù hợp về pha, nhưng giá trị trung bình còn sai khác từ 10-12cm.

3. Tại các trạm ven biển như Vàm kênh, Bến trại, Mỹ thanh, Gành Hào, Rạch giá thì kết quả tính toán và thực đo gần như phù hợp cả về pha và biên độ. Giá trị H_{max} , H_{min} sai khác từ 8-10cm.
4. Độ mặn tính toán và thực đo (hình 9) tương đối phù hợp về pha và biên độ. Độ mặn max sai khác từ 0.7 đến 1.3g/L.
5. Các hệ số ξ , N trong công thức (8) đến (10) có ảnh hưởng tới kết quả tính toán
6. Kết quả tính toán cho H_{max} , H_{min} , H_{bq} , S_{max} , S_{bq} , S_{min} trên hình 10, 11 cho vùng ven biển ĐBSCL từ Sòai rập đến Hà tiên cho thấy việc lấy các trạm biên cho cả một vùng lớn như trong mô hình một chiều hiện nay là không phù hợp, đặc biệt đối với vùng biển Tây từ Ông Đốc-Rạch giá-Hà tiên
7. Triết giảm độ mặn ở cửa sông là rất lớn nhưng mực nước hầu như không đáng kể. Khi lưu lượng Kratie tăng lên cỡ 600m³/s thì độ mặn đã giảm từ 0.8 đến 4g/L tùy từng vị trí cách cửa biển nhưng mực nước hầu như không thay đổi.
8. Một số khảo sát định tính cho thấy độ mặn hai bờ cửa sông có khác nhau, độ mặn nhạy với gió chướng ngoài biển,...

Tóm lại: Kết quả của việc thử nghiệm cho ĐBSCL cho thấy mô hình ghép nối 1-2 chiều cho nhiều kết quả thú vị và bổ xung những điểm còn yếu của mô hình một chiều, nhất là các giá trị biên ở cửa sông khi giải quyết các bài toán quy hoạch. Để có thể thay thế mô hình một chiều trong các tính toán quy hoạch cần có thử nghiệm thêm đặc biệt cho mùa lũ.

Tài liệu tham khảo

- 1- Nguyễn Tất Đắc, Mô hình toán cho dòng chảy và chất lượng nước trên hệ thống kênh sông. NXB Nông nghiệp 2005.
- 2- Nguyễn Tất Đắc, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Bộ “ Nghiên cứu xác định biên tính toán thủy lực và mặn cho ĐBSCL”, tháng 4-2007
- 3- Lương Quang Xô (2007), Nghiên cứu tính toán triều mặn vùng cửa sông Cửu Long có tính đến tương tác sông biển, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật.