

MÔ HÌNH HOÁ QUÁ TRÌNH XÂM NHẬP MẶN Ở SÔNG CÁI - NHA TRANG VÀO MÙA KHÔ BẰNG CÁC MÔ HÌNH 1D, 2D

PHẠM XUÂN DƯƠNG

Tóm tắt: Trong bài báo này chúng tôi nêu kết quả áp dụng mô hình số trị giải bài toán xâm nhập mặn ở sông Cái - Nha Trang trong mùa khô bởi mô hình một chiều (1D) và hai chiều (2D). Mô hình cho các kết quả tính toán rất khả quan, phù hợp về mặt định tính cũng như về mặt định lượng. Các kết quả tính toán được kiểm chứng bằng các số liệu thực đo, các kết quả tính toán và đo đạc có nhiều điểm phù hợp. Sự phù hợp này đã chứng tỏ mô hình và thuật toán có độ tin cậy cần thiết có thể được sử dụng để tính toán, dự báo xâm nhập mặn trong sông Cái - Nha Trang.

I. MỞ ĐẦU

Sông Cái - Nha Trang bắt nguồn từ vùng núi cao ở phía Tây của tỉnh Khánh Hoà, có độ cao 1.500 – 2.000 m. Lưu lượng trung bình của nước sông 55,7 m³/s, lưu lượng mùa kiệt 7,32 m³/s [2], [6], [9], [11].

Nước mặn xâm nhập sâu vào trong đất liền đang diễn ra gay gắt, phức tạp theo chiều dài của sông Cái - Nha Trang, đặc biệt là thời kỳ khô hạn kéo dài. Tình trạng hạn hán xảy ra trên diện rộng và nước mặn xâm nhập vào sâu trong đất liền hơn 9 km đường sông, độ mặn đã lên tới 11– 12 ‰ (thời điểm cao nhất tới 16 ‰) trong khi mức cho phép chỉ là 4 – 5 ‰.

Để hạn chế thấp nhất những thiệt hại cho sản xuất và đời sống của người dân trong vùng có nguy cơ bị xâm nhập mặn, cần phải có nhiều biện pháp phòng chống. Một trong các biện pháp đó là dự báo quá trình xâm nhập mặn bằng mô hình tính toán. Có thể nói đây là con đường tính toán nhanh nhất và tiết kiệm nhất, các kết quả nghiên cứu đạt được mang tính khái quát cao.

II CƠ SỞ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Mô hình 1 D

1.1. Cơ sở nghiên cứu

Hệ phương trình cơ bản mô tả hiện tượng

- Phương trình liên tục và chuyển động của dòng không ổn định, không chế bởi hai mặt cắt ngang [3], [4] [12], [14] sẽ là:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial Z}{\partial t} \pm q = 0 \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{Q}{gA_s^2} \frac{(\alpha B + \beta B_s)}{B} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\beta}{gA_s} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{RA_s^2 C^2} + \frac{f_c Q}{H} = 0 \quad (2.2)$$

- Phương trình khuếch tán đối lưu

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{Q}{A_t} \frac{\partial S}{\partial x} - \frac{1}{A_t} \frac{\partial}{\partial x} \left(DA_t \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{f_c Q}{H} S = \frac{q(S^* - S)}{RA_s^2 C^2} \quad (2.3)$$

Trong đó : $Q = U \cdot \omega$ là lưu lượng nước (cm^3 / s), $\omega = B \cdot h = B \cdot (H + \zeta)$ là diện tích mặt cắt ngang (cm^2), q là lưu lượng gia nhập ($q > 0$) hoặc chảy đi ($q < 0$). S là độ mặn của nước sông và S^* là độ mặn nước ra nhập hay lấy đi ($^0/0$).

ζ : Dao động mực nước (cm), U : Tốc độ dòng chảy (cm/s), B : Chiều rộng sông (cm), H : chiều sâu trung bình (cm), B_s , A_s là chiều rộng và diện tích mặt cắt ngang dòng chính (cm, cm^2), B , A_t là chiều rộng và diện tích mặt cắt ngang toàn dòng (cm, cm^2)

α, β là hệ số hiệu chỉnh động năng và động lượng, f_c là hệ số trở kháng của dòng chảy gây ra bởi ma sát đáy và các chướng ngại vật như nhà cửa, cây cối, các khu đất cao v.v, R là bán kính thủy lực, C là hệ số Chezy, n là hệ số nhám, K_1, K_2 là các thông số điều chỉnh, D là hệ số khuếch tán (cm^2 / s) và được tính như sau:

$$D = K_1 n \left| \frac{Q}{A_t} \right| R^{\frac{1}{6}} + K_2 \left| \frac{\partial S}{\partial x} \right| \quad (2.4)$$

Các điều kiện ban đầu và các điều kiện biên

Điều kiện ban đầu thường được đặt có dạng :

- Lưu lượng ban đầu trên toàn hệ thống sông

$$Q(x, t_0) = Q(x, 0) = Q_0(x) \quad (2.5 a)$$

- Mực nước ban đầu trên toàn hệ thống sông

$$Z(x, t_0) = Z(x, 0) = Z_0(x) \quad (2.5 b)$$

- Độ mặn ban đầu trên toàn hệ thống sông

$$S(x, t_0) = S(x, 0) = S_0(x) \quad (2.5 c)$$

Các điều kiện biên:

- Điều kiện biên lòng hướng biển (các kí hiệu xem [3], [4], [5], [15])

$$Z(t) = H_0 + \sum_{i=1}^N H_i F_i \cos[q_i t + \varphi_i + p_i(t)] \quad (2.6 a)$$

Điều kiện biên lòng phía thượng nguồn

$$Q(t) = Q_{\text{Thuongnguồn}} \quad (2.6 b)$$

1.2 Phương pháp nghiên cứu

Hệ phương trình sai phân (2.1), (2.2), (2.3) viết cho đoạn ΔX_{m-1} giữa hai mặt cắt m-1 và m, các thành phần đạo hàm được tính gần đúng theo sơ đồ bằng các công thức như sau:

$$\frac{\partial Z}{\partial x} \approx \frac{Z_m - Z_{m-1}}{\Delta x}, \quad \frac{\partial Z}{\partial t} \approx \frac{(Z_m^{t+1} - Z_m^t) + (Z_{m-1}^{t+1} - Z_{m-1}^t)}{\Delta t} \quad (2.7)$$

Tương tự như vậy đối với lưu lượng, phương trình sai phân (2.1), (2.2) được viết dưới dạng như sau:

$$Z_m^{t+1} - Z_{m-1}^{t+1} + \eta_{m-1} Q_m^{t+1} + \theta_{m-1} Q_{m-1}^{t+1} = \mu_{m-1} \quad (2.8)$$

$$\gamma_{m-1} (Z_m^{t+1} + Z_{m-1}^{t+1}) + Q_m^{t+1} - Q_{m-1}^{t+1} = \xi_{m-1} \quad (2.9)$$

Đối với phương trình khuếch tán độ mặn đối lưu (2.3) chúng ta cũng sử dụng các xấp xỉ sai phân như (2.7), thay vào (2.3) thu được phương trình sau:

$$a_m S_{m-1}^{t+1} + b_m S_m^{t+1} + c_m S_{m-1}^{t+1} = R_m \quad (2.10)$$

Từ các phương trình (2.8),(2.9),(2.10) kết hợp với các điều kiện (2.4), (2.5), (2.6) chúng ta có đủ cơ sở để lập chương trình tính toán xâm nhập mặn trong sông Cái - Nha Trang trên máy PC.

2. Mô hình 2 D

2.1 Cơ sở nghiên cứu

Hệ phương trình cơ bản mô tả hiện tượng

Phương trình chuyển động và phương trình liên tục

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gu(u^2 + v^2)^{1/2}}{c^2(\zeta + h)} \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gv(u^2 + v^2)^{1/2}}{c^2(\zeta + h)} \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} u(\zeta + h) + \frac{\partial}{\partial y} v(\zeta + h) + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (2.13)$$

Trong các phương trình trên [3], [4] [5], [15], ý nghĩa của các kí hiệu là:

u, v - các thành phần vận tốc dòng chảy trung bình theo độ sâu theo phương vĩ tuyến và kinh tuyến (cm/s).

h - độ sâu mực nước biển trung bình kể từ một mặt chuẩn nào đó hướng xuống đáy biển (cm). ζ - Dao động mực nước biển trung bình kể từ một mặt chuẩn đó hướng lên bề mặt biển tự do (cm).

f - tham số Côriôlis và $f = 2\Omega \sin \varphi$, với Ω là vận tốc góc quay của Trái đất, $\Omega = 7,2912 \cdot 10^{-4}$ (rad/s) và φ là vĩ độ địa lý trung bình, t - thời gian (s), C - là hệ số Chezy, g - gia tốc trọng trường ($g = 9,81 \cdot 10^2$ cm/s²).

Phương trình khuếch tán

Độ mặn trung bình theo chiều sâu có dạng như sau:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial S}{\partial y} \right) - \frac{q(S - S^*)}{(\zeta + h)} \quad (2.14)$$

Trong đó :

S là độ mặn của nước sông (⁰/₀₀), D_x là hệ số khuếch tán theo trục X (cm²/s), D_y là hệ số khuếch tán theo trục Y (cm²/s), S^* là độ mặn ra nhập hay lấy đi (⁰/₀₀).

D_x, D_y tính theo công thức dạng như sau:

$$D_x = K_1 n \left| \frac{Q}{A_t} \right| R^{\frac{1}{6}} + K_2 \left| \frac{\partial S}{\partial x} \right|, \quad D_y = K_1 n \left| \frac{Q}{A_t} \right| R^{\frac{1}{6}} + K_2 \left| \frac{\partial S}{\partial y} \right|$$

2.2 Các điều kiện ban đầu và các điều kiện biên

- Điều kiện ban đầu của mô hình thường được cho có dạng :

$$u(x, y, t_0) = v(x, y, t_0) = \zeta(x, y, t_0) = 0, \quad S(x, t_0) = S_0(x) \quad (2.15)$$

- Điều kiện biên lỏng hướng biển, sử dụng (2.6a)

- Điều kiện biên lỏng phía thượng nguồn

$$V|_{\text{Thượng Nguồn}} = \frac{Q}{D} \quad (2.16)$$

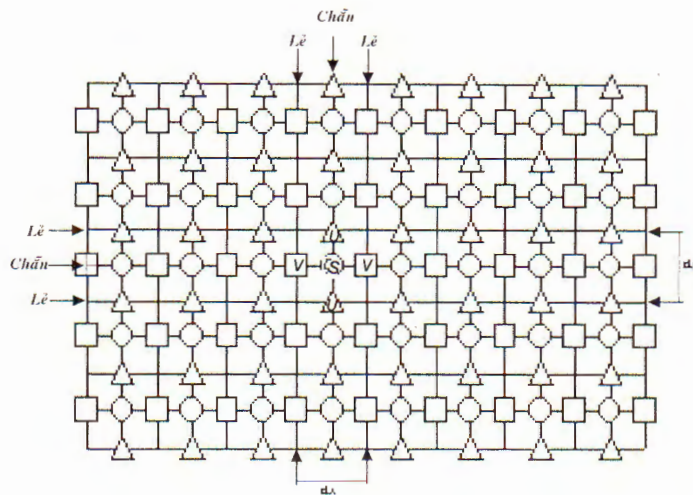
Trong đó Q : Lưu lượng nước sông, D : Diện tích mặt cắt ướn ngang sông

Tại biên cứng sử dụng điều kiện không xuyên qua

$$\overline{V}|_n = 0 \quad (2.17)$$

2.3 Cơ sở của phương pháp tính

Để giải hệ phương trình (2.11), (2.12), (2.13) chúng tôi sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn để giải bài toán và sử dụng lược đồ sai phân hiện. Miền tính được rời rạc hoá bằng mạng lưới hình chữ nhật. Dao động mực nước, các thành phần vận tốc dòng chảy được tính luân phiên như sơ đồ (hình 1) và dùng các xấp xỉ sai phân như [3], [4], [5], [12], [15].



Hình 1: Sơ đồ lưới tính cho dao động mực nước và các thành phần dòng

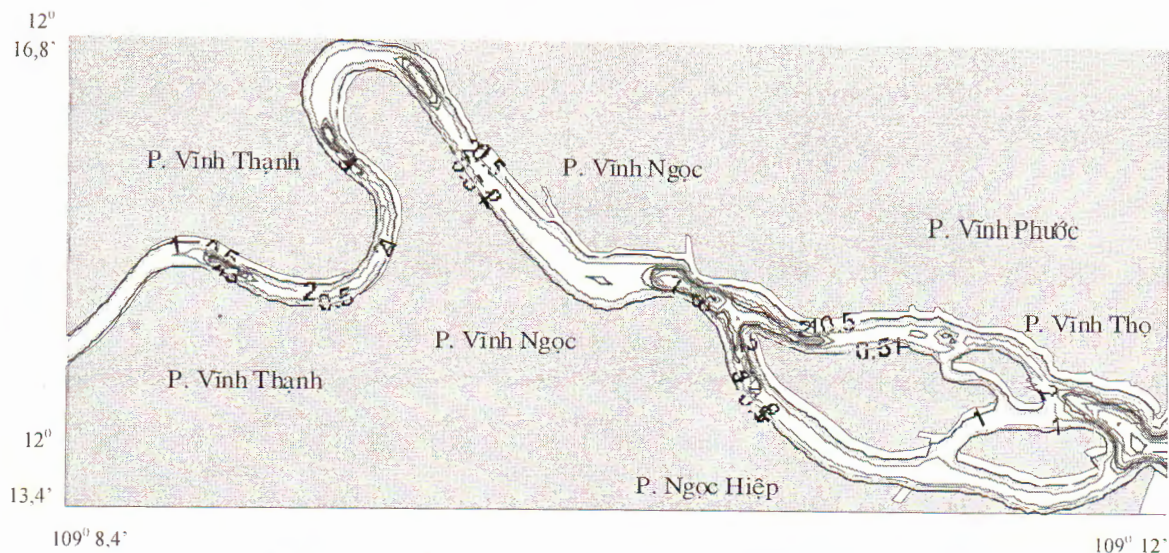
Các kí hiệu tại các điểm nút được tính các thông số sau:

- Thành phần độ dâng rút bề mặt nước ζ , S (điểm chắn, chắn)
- △ Thành phần vận tốc U (điểm lẻ, chẵn)
- Thành phần vận tốc V (điểm chẵn, lẻ)

Quá trình tính toán tuân theo trình tự các bước không gian và thời gian như sau:

a, Theo bước không gian:

Dao động mực nước, các thành phần vận tốc dòng chảy được tính luân phiên theo sơ đồ hình 2.1

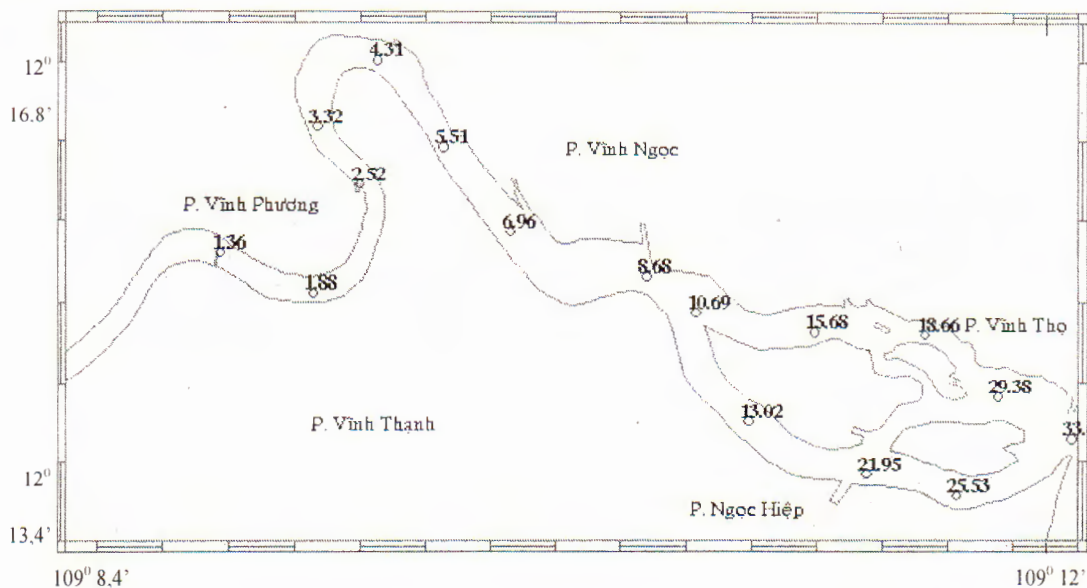


Hình 3: Sơ đồ đường đẳng sâu của sông Cái Nha Trang

1. Kết quả tính toán bằng mô hình 1D

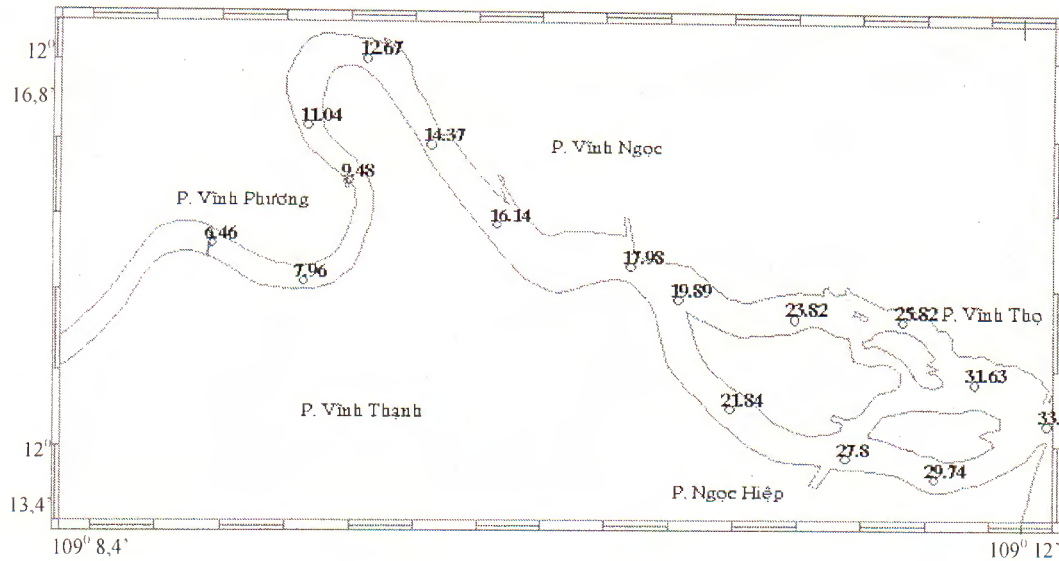
Mạng lưới sai phân không gian cho mô hình 1D có Δx rất linh hoạt dao động $\Delta x \approx 165m \div 550m$ và bước thời gian $\Delta t = 35s$.

Kết quả tính toán theo mô hình 1D cho thấy: Khi mực nước ở cửa sông ở mức 0.20 m (so với mực nước trung bình), thì độ mặn ở Hải Đảo 29.28 ‰, ở cầu Sắt 8.68 ‰, cầu Gõ Vinh Ngọc 6.96 ‰ và ở cầu Vĩnh Phương (ngay đập chắn mặn) 1.36 ‰ (hình 3.3, 3.1)



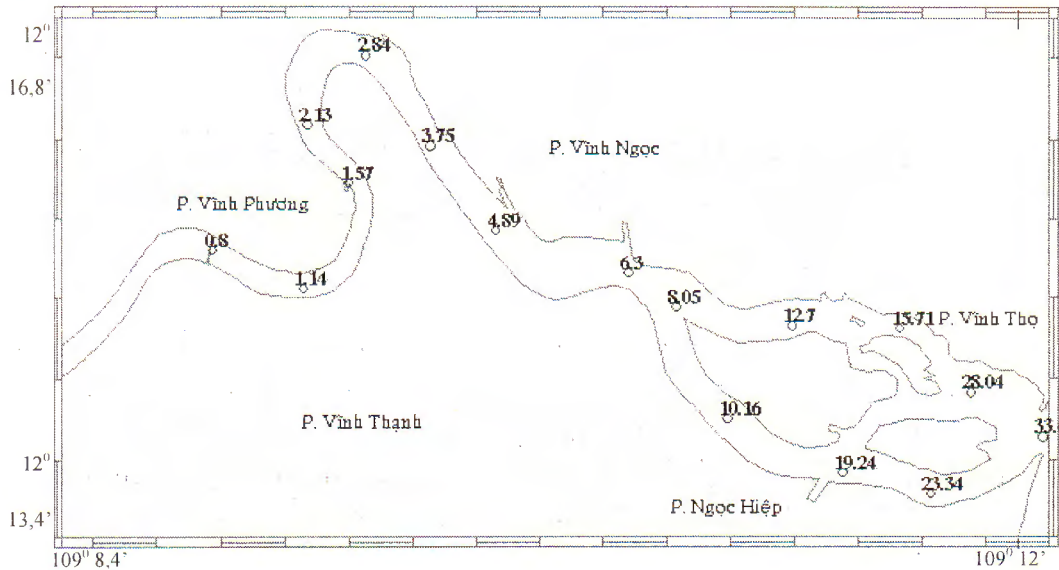
Hình 3: Sơ đồ phân bố độ mặn tính toán, khi mực nước tại biên là 0.20 m

Khi mực nước ở cửa sông lên đến mức 0.71 m, thời điểm này là thời điểm triều cao, kết quả cho thấy rằng, độ mặn ở cầu Trần Phú là 33.40 ‰, cầu Sắt 19.89 ‰ và ở cầu Vĩnh Phương độ mặn đã là 6.46 ‰ (hình 4, 2)



Hình 4: Sơ đồ phân bố độ mặn tính toán, khi mực nước tại biên là 0.71 m

Đến thời điểm mực nước ở cửa sông giảm dần dần cho đến mức -0.63 m (so với mực nước trung bình), cho thấy rất rõ ràng là độ mặn ở các thời điểm này giảm độ mặn ở Hải Đào chỉ còn 28.04 ‰, ở cầu Sắt là 6.30 ‰, cầu Gõ Vĩnh Ngọc là 4.89 ‰ và ở cầu Vĩnh Phương độ mặn là 0.80 ‰ (hình 6, 2)



Hình 6: Sơ đồ phân bố độ mặn tính toán, khi mực nước tại biên là -0.63 m

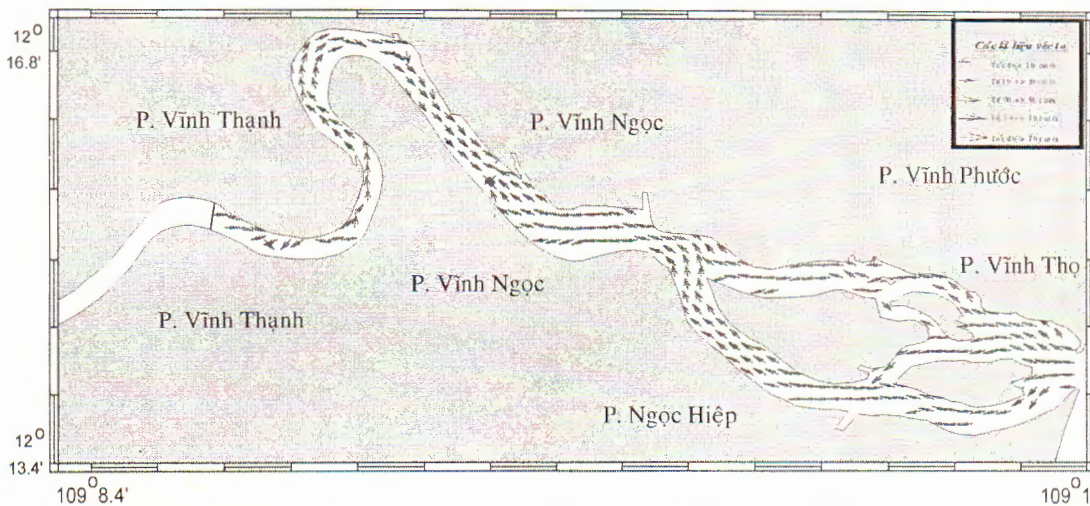
2. Kết quả tính toán bằng mô hình 2D

Vùng nghiên cứu được phủ kín bởi một mạng lưới dày đặc với mạng lưới số hoá 160×70 nút lưới có $\Delta x = 50m$, $\Delta y = 56m$ và bước thời gian $\Delta t = 12s$.

Biên lỏng cửa sông sử dụng hằng số điều hoà tháng 6 phân tích từ mực nước của trạm Cầu Đá Nha Trang. Biên lỏng phía thượng nguồn sử dụng lưu lượng đo trực tiếp tại cầu Vĩnh Phương.

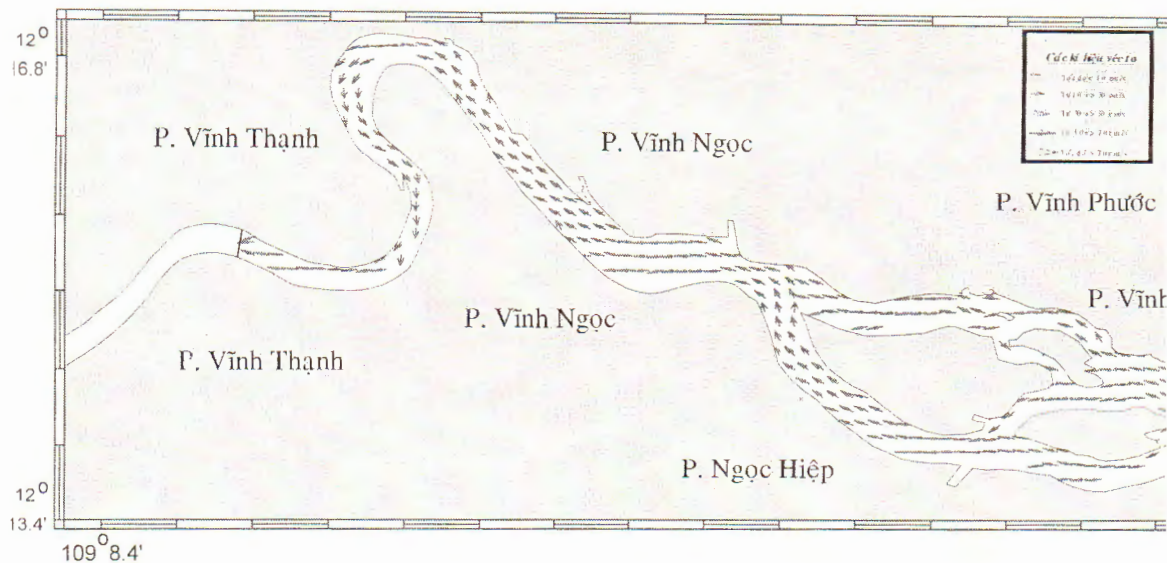
Độ mặn tại cửa sông lấy độ mặn trung bình là 33.42 ‰ .

Kết quả tính cho thấy: Khi mực nước ở cửa sông ở mức 0.32 m , véc tơ dòng chảy hướng về phía thượng nguồn, chảy uốn lượn, phân chia ra theo địa hình đường bờ của sông sau đó trường dòng chảy hội tụ nhau lại ở cầu Đường Sắt. Từ đây trường dòng chảy hướng lên phía thượng nguồn và đến đoạn cầu Gõ – Vĩnh Ngọc thì trường dòng chảy hướng lên này gặp trường dòng chảy theo hướng xuống phía hạ lưu sông (chỗ đó có thể được gọi là biên giới dòng triều), làm cho dòng nước cả hai phía gần như đứng lại ở đây (hình 7, 2).



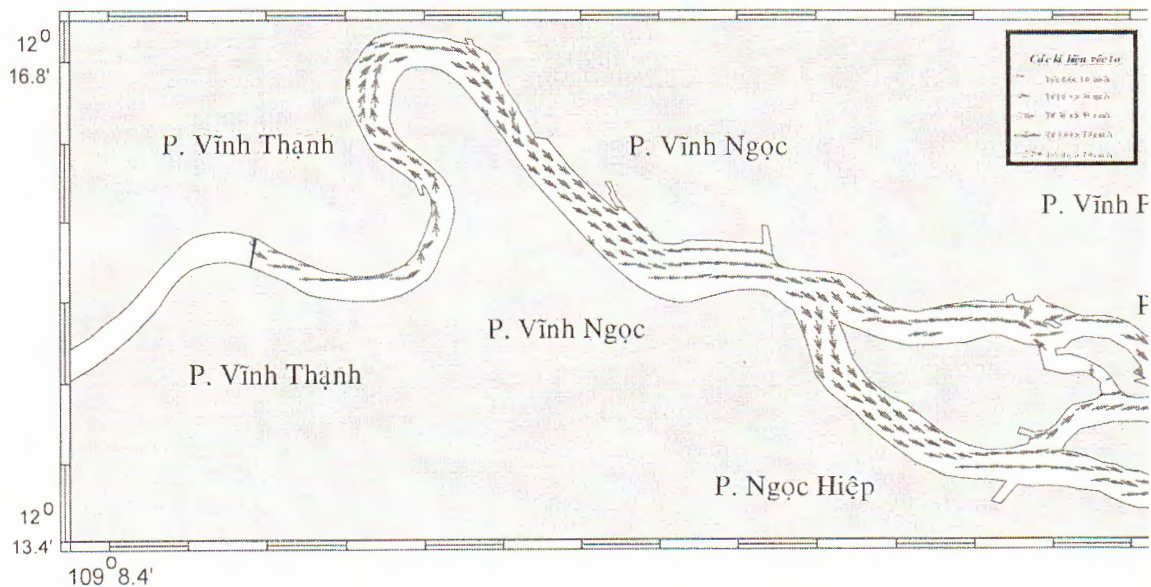
Hình 7 : Sơ đồ phân bố véc tơ dòng chảy, khi mực nước ở cửa sông ở mức 0.32 m

Đến mực nước ở cửa sông ở mức 0.68 m , trường dòng chảy phân bố theo luồng rõ rệt hơn, uốn lượn, phân chia ra theo địa hình đường bờ của sông theo hướng về phía thượng nguồn, sau đó dòng chảy hội tụ nhau lại ở ngã ba cầu Đường Sắt. Từ đây dòng chảy tiếp tục chảy mạnh theo hướng phía thượng nguồn và biên giới dòng triều gần như là bị loại bỏ (vì dòng hướng xuống phía hạ lưu rất mờ nhạt, hình 8, 2).



Hình 8 : Sơ đồ phân bố véc tơ dòng chảy, khi mực nước ở cửa sông là 0.68 m

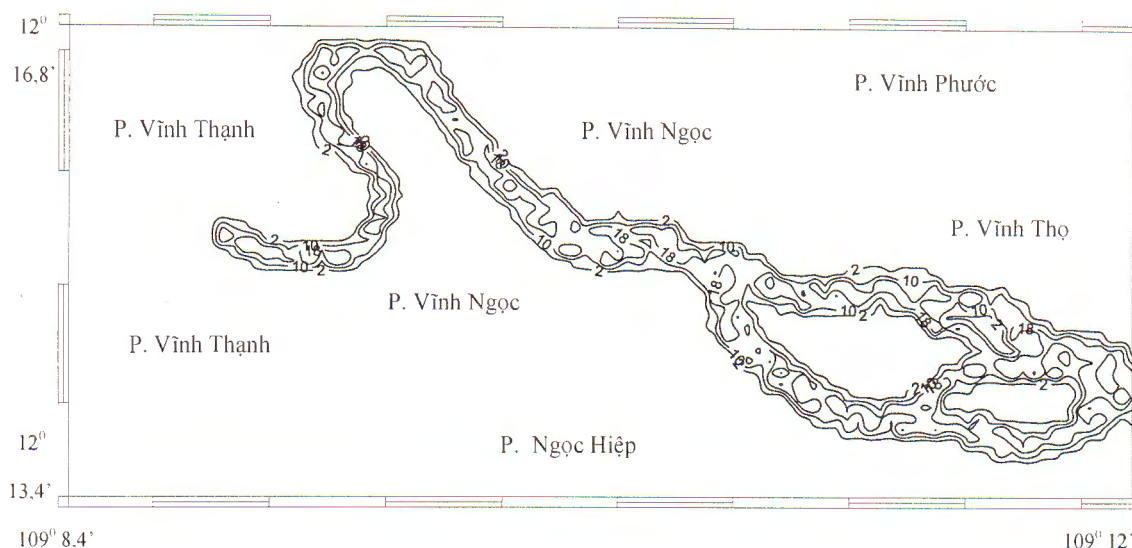
Thời điểm triều xuống, mực nước ở cửa sông xuống tới mức -0.61 m (so với mực nước trung bình), biên giới dòng triều (theo quan niệm, nơi vận tốc ngược của dòng triều bằng vận tốc dòng chảy trong sông gọi là biên giới dòng triều) lúc này không tồn tại (hình 9, 2).



Hình 9 : Sơ đồ phân bố véc tơ dòng chảy, khi mực nước ở cửa sông là -0.61 m

Như vậy: Qua tính toán dòng chảy triều theo mô hình 2D theo các thời điểm khác nhau của dao động mực nước từ ở biên lòng cửa sông cho chúng ta thấy được một số biên giới dòng triều ở các thời điểm khác nhau, lúc gần cửa lúc ở trên thượng nguồn nhiều lúc không xuất hiện.

Về độ mặn được thể hiện qua ma trận số của độ mặn 70 hàng * 160 cột và các đường đẳng độ mặn (các đường này trong sông hẹp rất khó phân biệt và khó biểu diễn, hình 10). Độ mặn ở khu vực gần cửa sông, qua ma trận chúng ta thường thấy lớn hơn ở các khu vực khác, nhưng trong một số khu vực khi chúng tôi tính toán thấy có hiện tượng độ mặn ở đây cao (tuy là xa vùng cửa sông có nguồn mặn cao) xấp xỉ gần bằng độ mặn ở vùng cửa sông (hình 7, 8, 9). Điều này, có lẽ là có sự tích lũy độ mặn ở nơi đây do địa hình lòng sông gây nên.



Hình 10: Sơ đồ đường đẳng độ mặn, khi mực nước cửa sông ở mức cao

3. Kiểm chứng

Các kết quả tính toán được kiểm chứng thông qua số liệu đo đạc độ mặn thực tế ở sông Cái - Nha trang của 2 năm 2005 và 2006. So sánh giữa các kết quả tính toán và thực tế đo (lấy giá trị trung bình độ mặn ở thời điểm triều cao nhất), cho thấy theo mô hình 1D sai số lớn nhất là 35.1 % ở cầu Vĩnh Phương và 36.2 % ở cầu sắt, còn theo mô hình 2D thì sai số lớn nhất là 24.6 % ở cầu Vĩnh Phương (bảng 1). Vì vậy các kết quả tính toán tỏ ra phù hợp không sai lệch so với thực tế nhiều.

Bảng 1 : So sánh giữa các kết quả tính toán theo mô hình và các kết quả thực tế đo đạc.

<i>Độ mặn</i> <i>Kiểm chứng</i>	<i>Cầu</i> <i>Trần Phú</i> (‰)	<i>Hải Đảo</i> (‰)	<i>Cầu Sắt</i> (‰)	<i>Trạm</i> <i>bơm (ĐB)</i> (‰)	<i>Đoạn cong</i> (‰)	<i>Cầu</i> <i>V. Phương</i> (‰)
1D	33.2	26.82	17.98	14.37	11.04	6.86
2D	33.26	28.67	26.18	21.00	14.00	8.00
Thực đo (trung bình)	33.19	29.63	28.25	19.05	12.56	10.57
Sai số 1D (%)	0.0	9.5	36.2	24.5	12.1	35.1
Sai số 2D (%)	0.0	3.3	7.3	10.3	11.4	24.6

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

1. Sông Cái Nha Trang có nhiều yếu tố thuận lợi cho sự xâm nhập của nước mặn từ biển vào như là: lưu lượng tự nhiên thấp vào mùa khô, hoạt động của các trạm bơm làm mất mát lưu lượng nước sông, độ muối cao ở vịnh Nha Trang tới 33,5 ‰ v.v.

2. Các kết quả tính toán tỏ ra phù hợp không sai lệch so với thực tế nhiều. Theo mô hình 1D sai số lớn nhất là 35.1 % ở cầu Vĩnh Phương và 36.2 % ở cầu Sắt, còn theo mô hình 2D thì sai số lớn nhất là 24.6 % ở cầu Vĩnh Phương. Điều đó cho thấy, trong cùng một điều kiện như nhau mô hình 2D cho kết quả tốt hơn mô hình 1D.

3. Ứng dụng của mô hình 1D, 2 D tính toán xâm nhập mặn cho sông Cái - Nha Trang vào mùa khô, trước hết chúng tôi thấy các kết quả tính toán phù hợp về mặt định tính.

- Mô hình 1D, 2 D phản ánh được cơ chế truyền mặn trong sông

- Qua kết quả tính toán và kiểm chứng cho thấy có nhiều điểm trùng khớp với nhau. Sự phù hợp giữa các kết quả tính toán với các kết quả đo đạc đã chứng tỏ mô hình và thuật toán có độ tin cậy cần thiết và có thể được sử dụng để tính toán, dự báo xâm nhập mặn trong sông Cái - Nha Trang, nhìn chung kết quả tính toán là hợp lý về mặt định tính và đã góp phần phản ánh được bức tranh chung về sự xâm nhập mặn trong sông.

Đề xuất

1. Mô hình 1 D và 2 D, tính toán tương đối hoàn chỉnh, đồng bộ và xây dựng công phu từ các cách giải, cách lấy sơ đồ giải. Mô hình 1D, 2D dự báo sự xâm nhập mặn kết quả rất khả quan, phù hợp về mặt định tính, định lượng và phản ánh được cơ chế truyền mặn của vùng nghiên cứu, nhưng để nghiên cứu sâu hơn nữa về cấu trúc động lực cũng như là lan truyền mặn của vùng cửa sông – biển. chúng tôi sẽ xây dựng, phát triển và hoàn thiện mô hình 3D trong thời gian sắp tới.

2. Qua phân tích số liệu đo đạc và tính toán mô hình về phân bố độ mặn dọc theo chiều dài sông từ cửa lên thượng nguồn con sông trong thời gian triều cường cũng như trong thời gian triều kiệt có sự tích lũy độ mặn của nước sông là lớn ngay ở dưới chân đập ngăn mặn, độ mặn ở tầng đáy cũng rất cao vì vậy chúng tôi chủ quan đưa ra ý tưởng sau để hạn chế sự tích lũy độ mặn trong sông ở sâu trong đất liền như sau:

Xây dựng đập cứng linh hoạt : Để hạn chế sự thiếu hụt nước ngọt và để hạn chế sự xâm nhập mặn vào sâu trong đất liền, chúng ta nên xây một con đập cứng linh hoạt, đặc điểm của con đập này như sau:

- Có thể mở ra và đóng lại được
- Dễ dàng vận hành
- Chắc chắn
- Công dụng của đập
- + Điều tiết được lưu lượng nước sông chảy ra biển.
- + Ngăn cản được sự xâm nhập của nước biển vào sâu trong đất liền.
- + Có thể sử dụng vào mục đích giao thông.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Vũ Thanh Ca, Trần Thục, Nguyễn Kiên Dũng, 2002**, Mô hình số trị tính toán sự truyền lũ trên địa hình rất phức tạp, Tạp chí Khí tượng Thủy văn.
2. **Nguyễn Thành Công, Nguyễn Văn Hoàng, 2002**, Tổng quan nghiên cứu nhiễm mặn đất và nước vùng ven biển và một số kết quả nghiên cứu bước đầu của giải pháp bổ cập nhân tạo nước ngầm chống xâm nhập mặn bằng đê ngầm, Viện Khoa học Thủy lợi, Bộ NN&PTNT.
3. **Phạm Xuân Dương “chủ nhiệm đề tài”, 2005**, Tính toán thử nghiệm mô hình xâm nhập mặn ở sông Cái - Nha Trang trong mùa khô. Báo cáo đề tài cơ sở (lưu hành nội bộ)

4. **Phạm Xuân Dương “chủ nhiệm đề tài”, 2006**, Hoàn thiện chương trình tính toán xâm nhập mặn ở sông Cái - Nha Trang trong mùa khô. Báo cáo đề tài cơ sở (lưu hành nội bộ).
5. **Durrant, Dale R, 2002.** *Numerical methods for wave equations in geophysical fluid dynamics*, Springer publishers (465 pp)
6. **Thân Văn Đón 2005**, Đài Khí tượng Thủy văn Nam Trung Bộ, Tính toán khả năng cấp nước trong mùa khô lưu vực sông Cái - Nha Trang tỉnh Khánh Hoà, Tạp chí Khí tượng Thủy văn tháng 4 năm 2005.
7. **Eagleson , P.S , 1966.** *Estuary and coastline Hydrodynamics*, Cambridge ()
8. GODIN, Gabriel, 1988. *Tides*, ANADYOMENE Edition Ottawa, Ontario CANADA (348 pp).
9. **Nguyễn Kim Hoà (4/1998)**, Báo cáo chuyên đề hiện trạng môi trường biển tỉnh Khánh Hoà 1998, Khánh Hoà.
10. **Đặng Văn Hoan, Nguyễn Kim Vinh, 1998**, “Biến đổi mực nước biển ở vịnh Nha Trang”, *Tuyển tập nghiên cứu biển tập XIII*, trang 13 - 19.
11. **Nguyễn Khoa Diệu Hương, 1995**, *Đặc điểm khí hậu và thủy văn tỉnh Khánh Hoà*, Xí nghiệp in Khánh Hoà số 8 đường Lê Thánh Tôn – Nha Trang.
12. **Kwalik and Murty, 1993.** *Numerical Modeling of Ocean Dynamics*, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd. Singapore. New Jerrey. London. Hong Kong (481 pp).
13. **Nguyễn Hữu Nhân, 2001**, Xây dựng bản đồ ngập lụt tỷ lệ 1/10.000 ở hạ lưu sông Cái Nha Trang. Sở KHCN và MT Khánh Hòa (đề tài cấp tỉnh, 250 tr.)
14. **Trần Văn Phúc, 1990**, “Mô hình hoá quá trình xâm nhập mặn đồng bằng sông Hồng và sông Cửu Long”, Tạp san Khí tượng – Thủy văn tháng 8 năm 1990.
15. **VREUGDENIHL, C.B 1998**, *Numerical methods for shallow – water flow*, Kluwer Academic Publishers Dordrecht / Boston / London (278 pp).
16. **White, Lan, Melvill, and Sammut, 1996.** “Possible Impacts of Salinewater intrusion Floodgates In Vietnam's Lower Mekong Delta”. Seminar on Environmental and Development in Vietnam. Canberra, Australia.

**MODELLING OF THE SALINITY PENETRATION
AT CAI RIVER IN NHA TRANG IN THE DRY SEASON
USING 1 D AND 2D MODELS**

PHAM XUAN DUONG

Summary: The results on modelling of the penetration of sea water at Cai River in Nha Trang in dry season using one and two dimensions models are shown in this paper. The calculated results were compared with the measured data. It is shown that the modelled results are suitable in quality and quantity with the measured ones. It shows that the models and algorithms can be used for calculation and forecasting of the salinity penetration at Cai River in Nha Trang.

Ngày nhận bài: 20 - 3 - 2008

Địa chỉ: Viện Hải dương học

Người nhận xét: TS. Lê Đình Mậu