

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH TOÁN SỐ TRỊ TÍNH TOÁN XÂM NHẬP MẶN Ở HẠ LƯU SÔNG VĂN ÚC

KS. Hà Thanh Hương

Trường đại học khoa học tự nhiên.ĐHQG, Hà Nội

1. Giới thiệu chung

Sông Văn Úc là một sông nhánh chính của hệ thống sông Thái Bình, chịu ảnh hưởng của nước sông Thái Bình từ sông Gùla chảy sang và nước sông Hồng qua sông Luộc, sông Mới đổ vào.

Ở vùng cửa sông Văn Úc nước thường bị nhiễm mặn, gây khó khăn cho việc lấy nước của nhân dân. Việc nghiên cứu quy luật phân bố mặn trong sông để có biện pháp hạn chế tối đa ảnh hưởng của mặn đối với việc sử dụng nước, chủ động lấy nước ngọt một cách hiệu quả hơn. Điều này rất quan trọng trong việc khai thác và vận hành các công trình ven sông.

Xét đoạn sông với chiều dài 22,3 km từ cửa sông Mới đến cửa Văn Úc:

- Đoạn từ xã Minh Đức (huyện Tiên Lãng) đến cửa Văn Úc sông chảy quanh co uốn khúc, lòng sông mở rộng hơn, độ rộng sông trung bình khoảng 500 m
- Khu vực bến Khuê phía xã Chiến Thắng (huyện An Lão) có những doi cát khi ẩn khi hiện theo dòng nước triều.

Cửa sông Văn Úc ở Hải Phòng tuy ngắn nhưng thực sự là một cửa sông phức tạp về mặt địa hình, thủy văn. Đoạn cửa sông có độ dốc biến đổi mạnh, độ dốc lớn ở khu vực cống Khuê đến bến Sứa và độ dốc nhỏ ở khu vực từ bến Sứa ra đến biển.

Vào mùa kiệt, lưu lượng nước sông nhỏ, sự xáo trộn giữa nước mặn và nước ngọt là kiểu xáo trộn vừa phải, hình thành dòng chảy phân lớp. Lớp dòng chảy trên mặt có độ mặn nhỏ hơn nhiều so với lớp dòng chảy đáy. Trên cơ sở đó có thể sử dụng chương trình số trị động học dựa theo tiêu chuẩn phân lớp Hansen- Rattray (bảng 1) để tính toán xác định ranh giới mặn ở cửa sông Văn Úc.

2. Cơ sở phân lớp cửa sông theo chỉ tiêu của Hansen-Rattray

Hansen-Rattray cho rằng sự phân tầng của dòng chảy phụ thuộc vào gradien mật độ theo phương ngang mà không phụ thuộc vào sự phân tầng mật độ theo phương đứng. Do đó, ở cửa sông có một quan hệ không bình thường giữa bậc của vận tốc và sự phân tầng mật độ.

Bảng 1. Phân loại cửa sông theo Hansen- Rattray

Loại	1A	1B	2A	2B	3A	3B	4
Mô tả	-	-	-	-	Dạng hẹp		Hình nêm
Phân tầng mật độ	Yếu	Trung bình	Yếu	Trung bình	Yếu	Trung bình	Mạnh
Phân tầng vận tốc	Yếu		Trung bình		Mạnh		Yếu/T. bình
Dòng mặn thượng lưu	Khuếch tán		Khuếch tán+ rối động		Rối động		K.tán+ R.động
Cân bằng năng lượng	Ma sát trong				Quán tính		Ma sát trong

Hình dạng của nêm chỉ phụ thuộc vào hai thông số phi thứ nguyên :

$$U_s \quad \delta S$$

—; —; trong đó: U_s : vận tốc trung bình của bề mặt theo thời gian,

$$U_b \quad S_0$$

U_b : vận tốc trung bình mặt cắt theo thời gian,

δS : chênh lệch độ mặn từ mặt đến đáy,

S_0 : độ mặn trung bình mặt cắt.

Sử dụng chương trình tính toán Two- layer là chương trình do J.R.Hunter xây dựng năm 1990 để tính dòng nhánh và nồng độ chất hoà tan trên sông đối với mỗi đặc điểm phân bố của dòng chảy. Nó được mở rộng để xét tới mối quan hệ giữa các dòng nhánh và sự phân bố nồng độ theo độ sâu, mang tính chất tựa hai chiều.

Phương trình bảo toàn nồng độ muối:

$$\frac{\partial(uS)}{\partial x} + \frac{\partial(uS)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial S}{\partial z} \right) + \sigma \quad (*)$$

x: khoảng cách dọc sông (m),

t: thời gian (s),

z: mực nước sông (m),

U: tốc độ bình quân mặt cắt ngang (m/ s),

S: độ mặn (‰),

K: hệ số khuếch tán (m/ s²),

σ : số hạng đặc trưng cho nguồn bổ sung mặn.

Chế độ ổn định được miêu tả trong phương trình vi phân bảo toàn khối lượng.

Được chia thành hai giai đoạn để giải:

Giai đoạn đầu: quan sát sự phân bố độ mặn ở cửa sông, điều kiện biên S, vận tốc dòng chảy u và hai thành phần u, K chi phối phương trình (*) như sau:

- Tính chảy của nước theo phương ngang trong mỗi ô của hai lớp mô hình.
- Dòng đứng giữa hai lớp.
- Thông số biến đổi khuếch tán đứng giữa hai lớp.

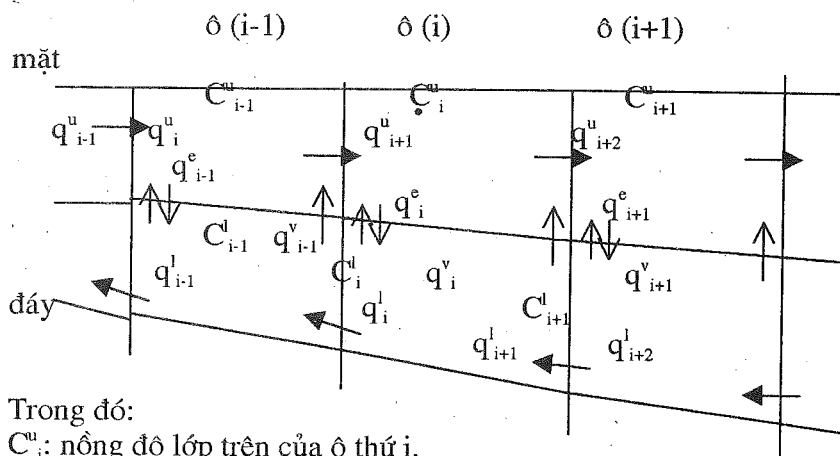
Giai đoạn sau: Tính toán nồng độ chất hoà tan dựa vào kết quả của giai đoạn đầu.

3. Phương pháp giải

Phương trình (*) mô tả quá trình chuyển tải và khuếch tán độ mặn ở vùng cửa sông. Sử dụng phương pháp sai phân để giải.

Cửa sông được chia thành các ô theo dọc sông và theo phương đứng được chia thành các ô nhỏ như sơ đồ 1, 2 và 3. Số ô là m ($i = 1 \rightarrow m$) và số ô nhỏ là $2m$. Ô $i = 1$ và ô $i = m$ là các ô biên trong khoảng này hiện tượng đối lưu giữa bề mặt chung và dòng khuếch tán không tính toán được.

Sơ đồ 1: Cấu trúc phía trong các ô của mô hình



Trong đó:

C_i^u : nồng độ lớp trên của ô thứ i ,

C_i^l : nồng độ lớp dưới của ô thứ i ,

q_i^u : dòng đối lưu theo phương ngang ở lớp trên của ô thứ i ,

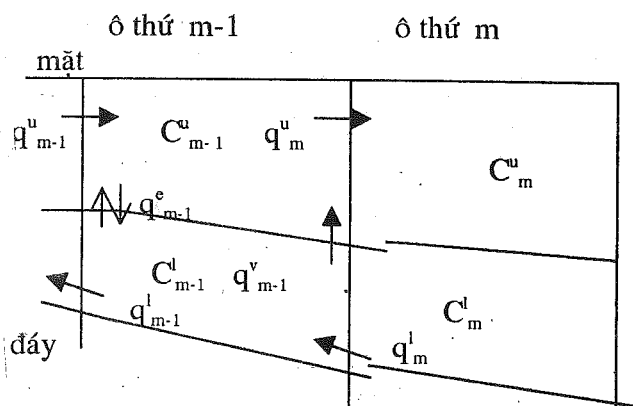
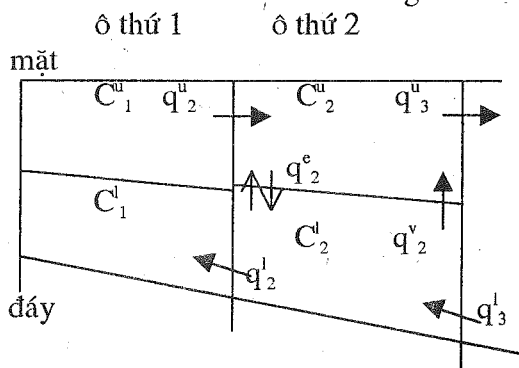
q_i^l : dòng đối lưu theo phương đứng ở lớp dưới của ô thứ i ,

q_i^e : dòng đối lưu tại mặt tiếp xúc của ô thứ i ,

q_i^v : dòng khuếch tán qua mặt tiếp xúc của ô thứ i .

Sơ đồ 3: cấu trúc của ô cuối trong mô hình.

Sơ đồ 2: cấu trúc của ô đầu trong mô hình.



Có một chú ý từ sơ đồ là: độ mặn được lan truyền theo phương ngang chỉ duy nhất bằng dòng đối lưu nghĩa là sự khuếch tán theo phương ngang được coi không đáng kể. Mỗi ô nhỏ là đối tượng đầu vào của một nguồn, σ_i^u (ô nhỏ lớp trên) hoặc σ_i^l (ô nhỏ lớp dưới).

Ta có phương trình bảo toàn lưu lượng:

$$q_i^u + q_i^l = R \quad (1)$$

Trong đó R là lưu lượng sông, và

$$q_{i+1}^u - q_i^u = q_i^v \quad (2)$$

Phương trình bảo toàn độ mặn:

$$\left(\frac{S_i^u + S_{i+1}^u}{2} \right) q_{i+1}^u + \left(\frac{S_i^l + S_{i+1}^l}{2} \right) q_{i+1}^l = 0 \quad (3)$$

$$\left(\frac{S_{i-1}^u + S_i^u}{2} \right) q_i^u - \left(\frac{S_i^u + S_{i+1}^u}{2} \right) q_{i+1}^u + \left(\frac{S_i^u + S_i^l}{2} \right) q_i^v + (S_i^l - S_i^u) q_i^e = 0 \quad (4)$$

Phương trình (1) và (3) mang lại:

$$q_{i+1}^l = R \frac{(S_i^u + S_{i+1}^u)}{(S_i^u + S_{i+1}^u - S_i^l - S_{i+1}^l)} \quad (5)$$

và

$$q_{i+1}^u = R \frac{(S_i^l + S_{i+1}^l)}{(S_i^l + S_{i+1}^l - S_i^u - S_{i+1}^u)} \quad (6)$$

Dòng đối lưu q_i^v và dòng khuếch tán q_i^e của mặt tiếp xúc giữa hai lớp có thể lần lượt tìm được từ phương trình (2) và (4).

(Phương trình (1) đến (6) được mô phỏng ở giai đoạn đầu của mô hình).

Giai đoạn sau của mô hình được tiếp tục bằng cách thay đổi phương trình (3) và (4) như sau:

- Lần lượt thay S_i^u và S_i^l bằng C_i^u và C_i^l .
- Lần lượt hợp nhất dòng lắng q_i^{sl} và q_i^{sb} của mặt tiếp giáp và đáy.
- Lần lượt hợp nhất dòng phân rã q_i^{du} và q_i^{dl} đối với lớp trên và lớp dưới của ô.

4. Áp dụng mô hình vào tính toán cho vùng cửa sông Văn Úc

(1) Xác định bộ thông số của mô hình, bao gồm hai thông số cơ bản là $usd_{uf} = \frac{U_s}{U_b}$ và $dsds_0 = \frac{\delta S}{S_0}$, theo số liệu thực đo.

Dùng số liệu thực đo của đợt đo đồng bộ mực nước, độ mặn, lưu lượng, vận tốc tại Ba Gian, Bến Sứa, Quang Phục, trong 3 ngày 22-2, 24-2, 26-2 năm 1997 của Viện Khoa học thủy lợi.

Chia đoạn cửa sông Văn Úc thành 8 đoạn với 8 mặt cắt được đánh số từ 1 đến 8. Sử dụng phương pháp dò tìm tối ưu để xác định hệ số $dsds_0$ cho từng đoạn sông.

(2) Kiểm định mô hình

Tính toán xâm nhập mặn vùng cửa sông Văn Úc trong một số trường hợp bất lợi trong một kỳ triều từ ngày 21-2-97 đến ngày 27-2-97.

Theo kết quả quan trắc chọn ba ngày đặc trưng:

- Ngày triều cường (22-2-97)
- Ngày triều trung bình (24-2-97)
- Ngày triều kém (26-2-97)

Bảng 2. Kết quả tính toán theo mô hình phân lớp

Ngày triều cường, đỉnh mặn 9h ngày 22- 2- 97.

Với vận tốc trung bình $v = 0,217 \text{ m/s}$.

Độ mặn	đoạn 8	đoạn 7	đoạn 6	đoạn 5	đoạn 4
S mặt	7,33	5,99	4,27	2,79	1,3
S đáy	16,5	13,2	9,25	5,9	2,68
Stb	11,15	9,595	6,76	4,345	1,99
$\delta S/Stb$	0,769	0,752	0,737	0,716	0,693
D	10,7	11,6	12,6	14,1	16
usduf	3,03	3,077	3,127	3,197	3,279
$Fm^{(-3/4)}$	4,59	4,731	4,881	5,091	5,337
Ra	109,3	112,6	116,2	121,2	127,1
τ	0,1285	0,1325	0,138	0,1435	0,1487
Mdnu	0,4582	0,4779	0,4976	0,5268	0,5619
M	0,3013	0,3146	0,3274	0,3465	0,3695
Nura	71,9	74,11	76,44	79,73	83,61
Nu	0,6577	0,6583	0,6579	0,6578	0,6576
v	0,672	0,672	0,672	0,672	0,672

Bảng 3. Kết quả tính toán theo mô hình two- layer

Ngày triều cường, đỉnh mặn 9h ngày 22- 2- 97.

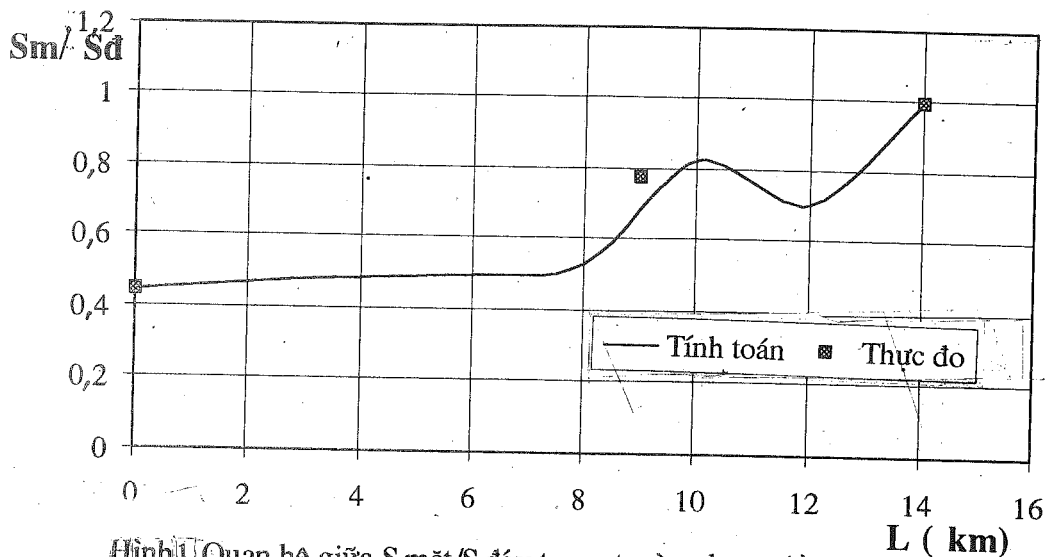
Với lưu lượng $Q = 621 \text{ m}^3/\text{s}$.

Độ mặn	đoạn 8	đoạn 7	đoạn 6	đoạn 5	đoạn 4	đoạn 3	đoạn 2	đoạn 1
S mặt	7,33	5,99	4,27	2,79	1,3	0,7	0,4	0,2
S đáy	16,5	13,2	9,25	5,9	2,68	0,8	0,5	0,2
q^u	1126	1143,7	1162,9	1186,7	1460,2	4036,5	4347	
q^l	-505	-522,68	-541,94	-565,68	-839,19	-3415,5	-3726	
q^v		-17,69	-19,257	-23,741	-273,51	-2576,3	-310,5	
q^e		249,9	379,94	572,85	1094,8	11723	10557	
C^u		6,02	4,56	3,03	1,59	0,661	0,294	
C^l		12,9	9,37	6,08	3,0	0,802	0,417	

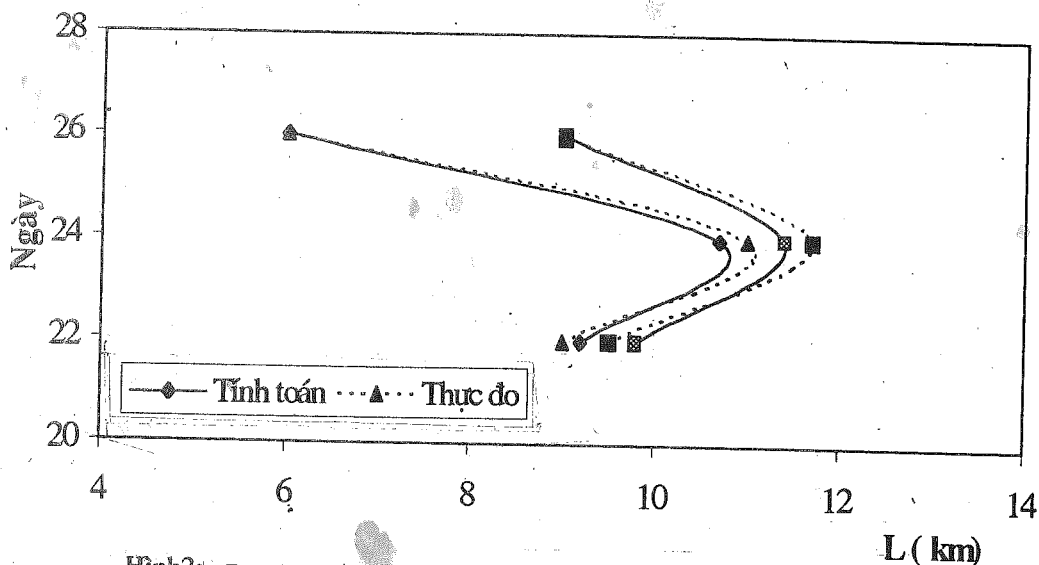
3. Đánh giá quá trình xâm nhập mặn và xác định ranh giới mặn

Độ mặn biến đổi khá nhanh trong 10 km đầu từ cửa sông và biến đổi chậm dần về phía thượng lưu. Nguyên nhân là do có những doi cát nằm ở đáy sông làm cho độ sâu sông giảm đáng kể.

Từ kết quả tính toán có thể tiến hành xây dựng biểu đồ quan hệ giữa $S_{mặt}/S_{đáy}$ trong trường hợp triều cường, triều trung bình và triều kém và biểu đồ ranh giới xâm nhập mặn:



Hình 1: Quan hệ giữa $S_{mặt}/S_{đáy}$ trong trường hợp triều cường, lưu lượng nước sông lớn



Hình 2: Ranh giới xâm nhập mặn 1‰ ở cửa sông Văn Úc

Trên cơ sở kết quả trình bày ở đồ thị hình trên cho phép xác định sự thay đổi của ranh giới xâm nhập mặn viết dưới dạng bảng (bảng 4).

Bảng 4. Sự thay đổi ranh giới xâm nhập mặn

Ngày	Ranh giới xâm nhập mặn $S \leq 1\%$ ở lớp trên	
	Khoảng cách từ trạm Ba Gian (km)	Tên địa danh tại đó $S \leq 1\%$
22-2-97	9,2	Thượng lưu Bến Sứa 200 m
24-2-97	10,7	Thượng lưu cống đền Gầm 300m
26-2-97	6,0	Cống Đồng Thèo 2

Ngày	Ranh giới xâm nhập mặn $S \leq 1\%$ ở lớp dưới	
	Khoảng cách từ trạm Ba Gian (km)	Tên địa danh tại đó $S \leq 1\%$
22-2-97	9,8	Thượng lưu cống Đông 300m
24-2-97	11,4	Thượng lưu cây đa đền Gầm 300m
26-2-97	9,0	Bến Sứa

So sánh giữa kết quả tính toán và thực đo ta thấy hình dạng khá phù hợp. Mặn xâm nhập sâu nhất trong sông ở lớp trên là 10,7km ở lớp dưới là 11,4km vào ngày triều trung bình 24-2-1997 (biên độ triều 139cm) và thấp nhất là 6,0km ở lớp trên và 9,0km ở lớp dưới vào ngày triều kém 26-2-1997, độ chênh lệch lớn nhất của ranh giới xâm nhập mặn là 4,7km. Một câu hỏi được đặt ra là: tại sao vào ngày triều trung bình thì ranh giới xâm nhập mặn lại lớn hơn ngày triều cường? Có thể sơ bộ lý giải như sau:

Tại mặt cắt 4 (bến Sứa), ranh giới mặn vào ngày triều cường của lớp trên thì tương ứng vào ngày triều trung bình $S_{MC} \approx 1,75\%$, của lớp dưới thì tương ứng vào ngày triều trung bình $S_{MC} \approx 2,17\%$. Điều này cũng có thể nói lên rằng ranh giới mặn vào ngày triều trung bình 24-2-1997 biến đổi từ 9,2km đến 10,7km ở lớp trên và từ 9,8km đến 11,4km ở lớp dưới. Quan điểm về cường độ mặn là tỷ lệ với cường độ hoạt động của thủy triều vẫn đúng trong trường hợp này.

Một điều cần phải kể đến là ảnh hưởng của địa hình đến sự phát triển ranh giới xâm nhập mặn là rất lớn. Theo chiều dọc sông độ sâu thay đổi rất lớn, tại Bến Sứa độ sâu 16m đến cống Khuể chỉ còn 6m. Địa hình phức tạp như vậy gây cản trở việc truyền mặn, hoặc giả giữ mặn khá lâu ở giai đoạn chu kỳ triều nước. Mặt khác, địa hình đoạn sông từ cửa đến Bến Sứa có nhiều khúc cong “tay áo” nên ở một chừng mực nào đó (mức độ hoạt động thủy triều và lưu lượng sông) mà sau ngày triều cường mặn mới “bò” dần lên.

5. Kết luận

Chương trình Two-layer đã mô phỏng khá tốt quá trình dòng chảy và diễn biến độ mặn theo hai lớp. Tuy nhiên, ở vùng cửa sông ven biển ảnh hưởng của triều đến dòng chảy rất lớn, vì vậy cần phải nghiên cứu đưa yếu tố triều vào mô hình. Để hạn chế tối đa ảnh hưởng của mặn đối với đời sống nhân dân và phục vụ cho nhu cầu lấy nước ngọt ở các vùng ven biển vào mùa kiệt thì có thể mở rộng mô hình theo hướng coi vận tốc biến đổi theo độ sâu. Khi đó, mô hình trở thành mô hình hai chiều, các yếu tố được mô phỏng theo dọc sông và theo chiều sâu.