

NGHIÊN CỨU DÒNG CHẢY TỔNG HỢP VÀ BƯỚC ĐẦU TÍNH TOÁN LAN TRUYỀN Ô NHIỄM VỊNH THÁI LAN

TS. Nguyễn Kỳ Phùng¹, CN. Nguyễn Thị Bảy²
Trường Đại học Quốc gia Tp. HCM¹, Trường Đại học Bách khoa²

Bài báo trình bày mô hình 2-HD tính toán dòng chảy và các thông số môi trường cho vùng biển nói chung và áp dụng tính cho vịnh Thái Lan nói riêng. Kết quả tính từ mô hình trong trường hợp đơn giản được so sánh với kết quả từ nghiệm giải tích. Việc thực hiện đề tài này là cơ sở để giải quyết các bài toán tính lan truyền ô nhiễm cho vùng ven biển, cụ thể là Vịnh Thái Lan.

1. Mở đầu

Sự gia tăng dân số và phát triển kinh tế xã hội làm phát sinh nhiều vấn đề môi trường, đặc biệt nguồn nước ngày càng bị ô nhiễm. Vịnh Thái Lan nằm ở phía Tây Nam biển Đông - nơi hội tụ tiềm năng to lớn về trữ lượng hải sản, dầu khí, giao thông, du lịch,... Tuy nhiên, nơi đây hàng ngày phải tiếp nhận một lượng nước thải rất lớn từ các nguồn sinh hoạt và sản xuất của các khu dân cư, và đặc biệt từ các khu chế biến, nuôi trồng thủy sản của các tỉnh ven vùng vịnh, nên môi trường nước ở

đây ngày càng bị ô nhiễm và cần được quan tâm nhiều hơn. Hiện tại vẫn chưa có chính sách quản lý về môi trường nước một cách hợp lý cho khu vực này.

Việc nghiên cứu dòng chảy tổng hợp và bước đầu tính toán lan truyền ô nhiễm vịnh Thái Lan bằng phương pháp số góp phần vào việc giải quyết các bài toán môi trường nhằm dự báo và có những giải pháp kịp thời, hiệu quả cho nơi đây.

2. Cơ sở lý thuyết

a. Hệ phương trình tính toán dòng chảy

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_{wx}}{\rho(h+\zeta)} - Ku \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h+\zeta} + A \nabla^2 u \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_{wy}}{\rho(h+\zeta)} - Kv \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{h+\zeta} + A \nabla^2 v \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(h+\zeta)u] + \frac{\partial}{\partial y} [(h+\zeta)v] = 0 \quad (3)$$

u, v: thành phần vận tốc trung bình theo độ sâu của hai phương x và y [m/s].

ζ : cao độ mực nước so với mực nước biển yên lặng [m].

g: gia tốc trọng trường [m/s²]; h: độ sâu [m].

K: hệ số ma sát đáy; $K = \frac{g}{C^2}$; C: hệ số Chezy.

f: tham số Coriolis [1/s]; $f = 2\omega \sin \varphi$; φ : vĩ độ địa lý; ω : vận tốc quay của trái đất.

Người phản biện: TS. Nguyễn Văn Tuê

ρ : khối lượng riêng của chất lỏng [kg/m^3], tính theo công thức:

$$r = r_w + (8.24493.10^{-1} - 4.0899.10^{-3}T + 7.6438.10^{-5}T^2 - 8.2467.10^{-7}T^3 + 5.3875.10^{-9}T^4)S - (5.72466.10^{-3} - 1.0227.10^{-4}T + 1.6546.10^{-6}T^2S^{2/3} + 4.8314.10^{-4}S^2) \quad (4)$$

$$r_w = 999.842594 + 6.793952.10^2T - 9.095290.10^{-3}T^2 + 1.001685.10^{-4}T^3 - 1.120083.10^{-6}T^4 + 6.536332.10^{-9}T^5$$

Với: T: nhiệt độ ($^{\circ}\text{K}$) = ($^{\circ}\text{C} + 273$);

S: độ mặn (‰).

τ_{sx}, τ_{sy} : ứng suất gió theo phương x, y. [N/m^2].

A: hệ số nhớt rối phương ngang [$/s$]

∇^2 : toán tử Laplace:

$$\nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad \nabla^2 v = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}$$

Hệ phương trình trên được giải bằng phương pháp sai phân hữu hạn với các điều kiện sau:

Điều kiện ban đầu: u, v, ζ cho cả miền tính bằng 0.

Điều kiện biên: Tại biên lỏng: cho dưới dạng tổng dao động cho các sóng triều.

Tại biên cứng: $u_n = 0$; với n là phương vuông góc với bờ.

b. Phương trình tính toán các thông số môi trường

* Độ mặn

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \left(E_x \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) - \left(u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} \right) \quad (5)$$

* Nhiệt độ

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \left(E_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (6)$$

* DO

$$\frac{\partial O}{\partial t} = \left(E_x \frac{\partial^2 O}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 O}{\partial y^2} \right) - \left(u \frac{\partial O}{\partial x} + v \frac{\partial O}{\partial y} \right) + K_1(O^* - O) - K_1 L - \frac{K_1}{d} - \alpha_5 \beta_1 N_1 - \alpha_6 \beta_2 N_2 + (\alpha_3 \mu - \alpha_4 \rho) A \quad (7)$$

O: DO [mg/l]; O^* : nồng độ bão hoà của oxy trong nước [mg/l]

α_3 : hệ số tạo oxy do quang hợp của tảo [mgO/mgA]

α_4 : hệ số hấp thụ oxy do hô hấp của tảo [mgO/mgA]

α_5 : hệ số hao hụt oxy do oxi hóa NH_4^+ [mgO/mgN]

α_6 : hệ số hấp thụ oxy do oxi hóa NO_2 [mgO/mgN]

μ : hệ số tăng trưởng của tảo [$/\text{ngày}$]

ρ : hệ số hô hấp của tảo [$/\text{ngày}$]

K_1 : hệ số biến đổi BOD [$/\text{ngày}$],

K_2 : hằng số thấm oxy vào nước [$/\text{ngày}$]

K_4 : tốc độ tích tụ oxy cho phép [$\text{mgO}/\text{ft}^2/\text{ngày}$]

β_1 : hệ số oxy hoá NH_4^+ [$/\text{ngày}$]

β_2 : hệ số oxy hoá NO_2 [$/\text{ngày}$]

Nồng độ oxy bão hoà được tính theo công thức:

$$\ln O_{ng}^* = -139.34410 + 1.575701.10^5 T^{-1} - 6.642308.10^7 T^{-2} + 1.243800.10^{10} T^{-3} - 8.62199.10^{11} T^{-4} \quad (8)$$

$$\ln O_b^* = \ln O_{ng}^* - S(1.17674.10^{-2} - 1.0757.10^1 T^{-1} + 2.1407.10^3 T^{-2}) \quad (9)$$

$\ln O_{ng}^*$: nồng độ oxy bão hoà nước ngọt;

$\ln O_b^*$: nồng độ oxy bão hoà nước biển;

T: nhiệt độ ($^{\circ}\text{K}$) = ($^{\circ}\text{C} + 273$);

S: độ mặn (‰)

* BOD

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \left(E_x \frac{\partial^2 L}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 L}{\partial y^2} \right) - \left(u \frac{\partial L}{\partial x} + v \frac{\partial L}{\partial y} \right) - (K_1 + K_3)L + p \quad (10)$$

L : nồng độ BOD [mg/l]

K_1 : hệ số biến đổi BOD [/ngày],

K_3 : hệ số hao hụt BOD do lắng đọng [/ngày],

p: nguồn thải [mg/l/s]

Tất cả những phương trình trên có thể viết thành một dạng tổng quát như sau:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{H} \frac{\partial C}{\partial x} \left(HE_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{1}{H} \frac{\partial C}{\partial y} \left(HE_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \left(u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \right) - KC + P_1 \quad (11)$$

C : nồng độ các chất ô nhiễm cần tính, [mg/l];

E_x, E_y : hệ số phân tán theo phương x, y [m²/s]

u, v : vận tốc dòng chảy theo phương x, y [m/s]

K : tổng hệ số có liên quan đến nồng độ C như hệ số phản ứng, hệ số lắng đọng,...

P_1 : hệ số tự do không phụ thuộc vào nồng độ C.

Và phương trình (11) cũng được giải bằng phương pháp sai phân hữu hạn với:

* Điều kiện ban đầu

$$C(x, y, 0) = C_0(x, y)$$

$C(x, y, 0)$: nồng độ tại các nút có tọa độ [x, y] tại thời điểm ban đầu

$C_0(x, y)$: Giá trị cho nồng độ cho trước tại nút có tọa độ (x, y)

* Điều kiện biên

- Đối với biên rắn : $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$

- Đối với biên lỏng:

+ Khi nước chảy vào miền tính: $C = C_b(t)$;

$C_b(t)$: nồng độ trung bình theo chiều sâu trên biên lỏng (thường là giá trị cho trước hoặc được nội suy)

+ Khi nước từ miền tính chảy ra: $\frac{\partial^2 C}{\partial S^2} = 0$

c. Sơ đồ giải

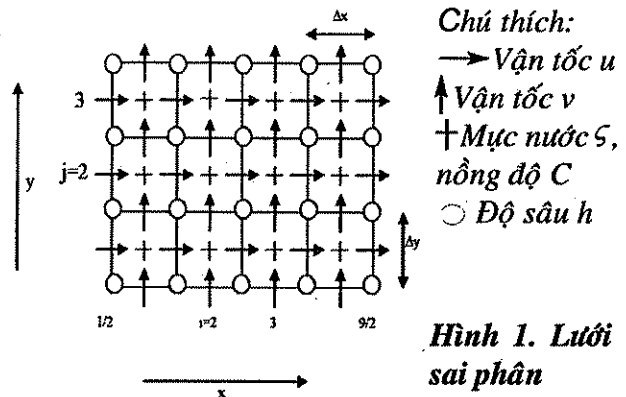
Các hệ phương trình trên được giải kết hợp xen kẽ, bằng phương pháp sai phân hữu hạn, sơ đồ ẩn luân hướng ADI (Alternating Direction Implicit method).

Nghiệm của bài toán được tính theo từng nửa bước thời gian:

- Tại nửa bước thời gian đầu $t+1/2$, thực hiện giải ẩn mực nước ζ và vận tốc u, còn vận tốc v được giải hiện. Tiếp theo là kết hợp giải xen kẽ nồng độ C theo phương x .

- Tại nửa bước thời gian sau $t+1$, mực nước ζ và vận tốc v được giải ẩn, vận tốc u được giải hiện. Sau đó kết hợp giải xen kẽ nồng độ C theo phương y.

Trên h. 1 là lưới sai phân với các vị trí tính mực nước ζ , nồng độ C, thành phần vận tốc u, v.



3. So sánh kết quả từ mô hình tính các thông số môi trường với nghiệm giải tích

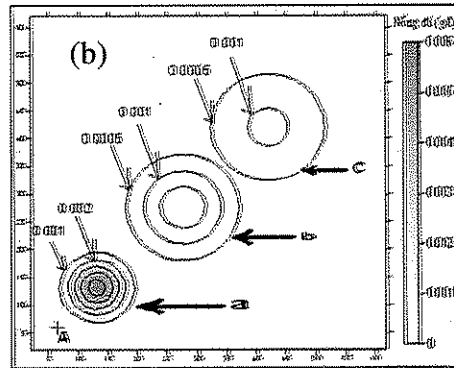
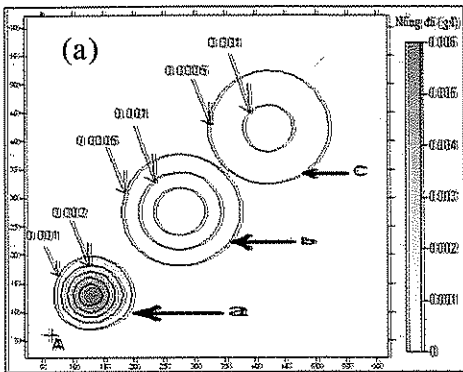
Bài toán lan truyền chất được thực hiện trên hồ vuông có độ sâu không đổi $h = 5\text{m}$; kích thước $3000\text{m} \times 3000\text{m}$; được chia thành những ô nhỏ với $D_x = D_y = 50\text{m}$. Chọn bước tính thời gian $\Delta t = 10\text{s}$, với vận tốc dòng chảy không đổi $u = v = 0.1\text{m/s}$. Chọn hệ số phân tán $E_x = E_y = 4\text{m}^2/\text{s}$. Nguồn có khối lượng $M = 5000$

kg đổ vào miền tính tại vị trí A cách biên trái và biên dưới một khoảng bằng $4\Delta x$ và $4\Delta y$.

Kết quả tính được xuất ra dưới dạng các đường đồng mức nồng độ C, và trình bày trên hình 2a.

Trong khi đó trên hình 2b là các đường đồng mức nồng độ C vẽ được từ kết quả nghiệm giải tích theo [1], [2] như sau:

$$c(x, y, t) = \frac{M/H}{4\pi\sqrt{K_x K_y t}} \exp\left(-\frac{(x-x_0-ut)^2}{4K_x t} - \frac{(y-y_0-vt)^2}{4K_y t} - \frac{D}{H}t\right) \quad (12)$$



Hình 2a: Kết quả tính toán từ mô hình (a): sau 1 giờ tính; (b): sau 3 giờ tính; (c): sau 5 giờ tính

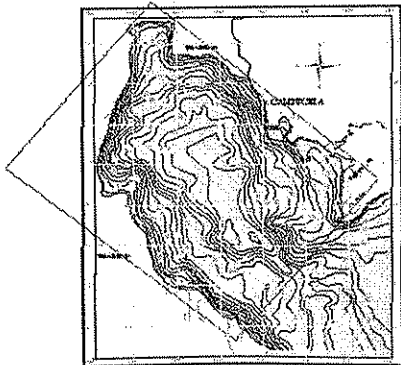
Hình 2b: Kết quả tính từ nghiệm giải tích (ptr. 12) (a): sau 1 giờ tính; (b): sau 3 giờ tính; (c): sau 5 giờ tính

Nhận xét thấy kết quả tính toán từ mô hình rất phù hợp với kết quả tính từ nghiệm giải tích.

4. Áp dụng mô hình tính cho Vịnh Thái Lan

a. Lưới tính và các thông số đầu vào

Lưới tính cho vịnh Thái Lan được chia thành 252 ô theo phương x và 197 ô theo phương y; $\Delta x = \Delta y = 3000\text{m}$ (hình 3).



Hình 3. Bản đồ phân bố độ sâu và lưới tính Vịnh Thái Lan

Bước thời gian $\Delta t = 30\text{s}$; tham số Coriolis = $f = 2\omega \sin \varphi$; $\varphi = 10$; $f = 2,53 \cdot 10^{-5}\text{s}^{-1}$, hệ số rối ngang $A = 100\text{m}^2/\text{s}$, hệ số ma sát đáy:

$$k = \frac{g}{C^2} = \frac{gn^2}{H^{1/3}}; n \text{ là hệ số nhám.}$$

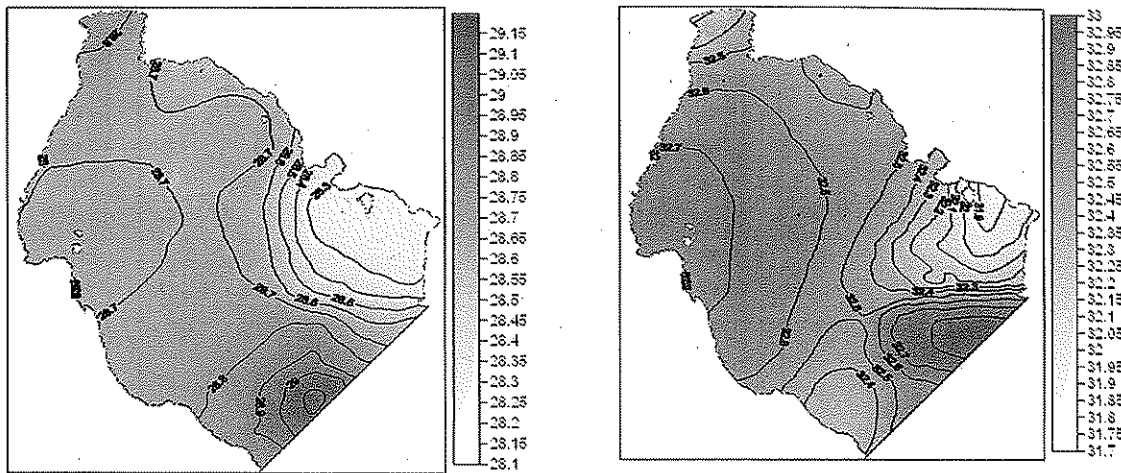
b. Số liệu gió và thủy triều

- Gió Tây Nam: 3.5m/s ; gió Đông Bắc: 3m/s

- Mực nước trên biên lỏng được cho dưới dạng tổng của 4 sóng triều cơ bản (O_1, K_1, M_2, S_2).

c. Số liệu tính toán các thông số môi trường:

Ở đây tác giả chọn 4 yếu tố là T, S, BOD, và DO để tính toán nhiệt độ, độ mặn: Số liệu tính toán nhiệt độ và độ mặn cho trong hình 4.



Hình 4. Nhiệt độ và độ mặn ban đầu và điều kiện biên tương ứng

*** BOD**

Nồng độ nền: 1mg/l

Điều kiện biên: 1mg/l

Giả định rằng có 3 nguồn thải chính từ các con sông: sông Cái Lớn (Kiên Giang), sông Ông Đốc (Cà Mau) và sông

Cửa Lớn (Cà Mau).

*** DO**

Chỉ xét đến oxy hoá và trao đổi mặt thoáng (bỏ qua lắng đọng, nitrate hóa, quang hợp).

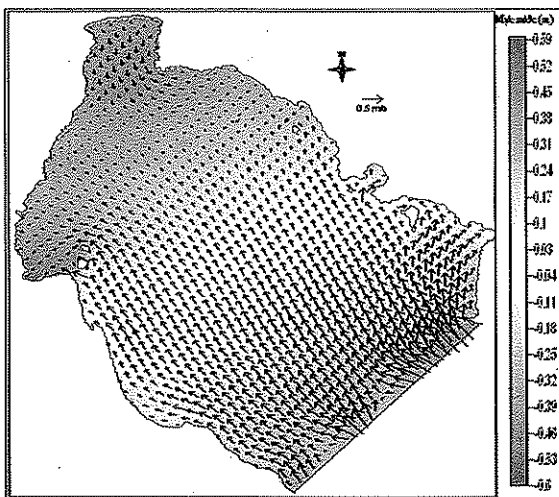
Nồng độ nền: 7.5 mg/l. Điều kiện biên: 7.5 mg/l. Chọn: $K_1 = 0.009$; $K_2 = K_3 = 0.01$

5. Kết quả tính toán

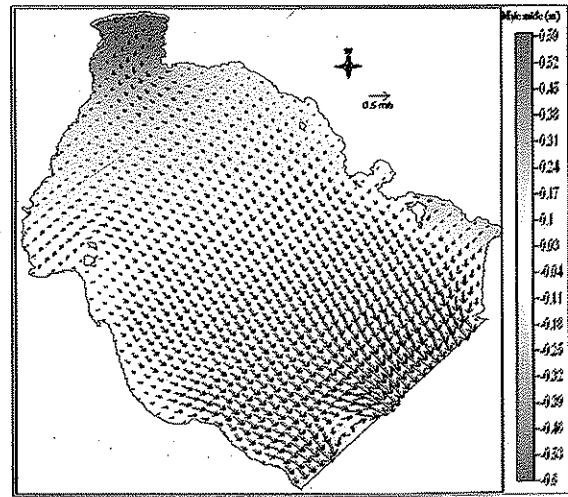
*** Kết quả tính toán dòng chảy tổng hợp**

Hình 5, 6 là dòng chảy tổng hợp chịu ảnh hưởng của thủy triều và gió Đông Bắc.

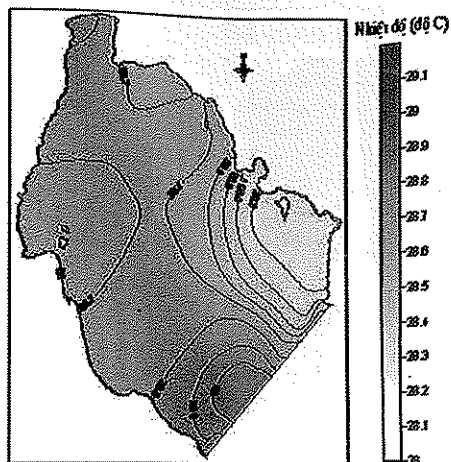
Nhiệt độ: Trên hình 7, 8 vẽ các kết quả tính toán lan truyền nhiệt trong vùng sau 15 và 30 ngày tính toán.



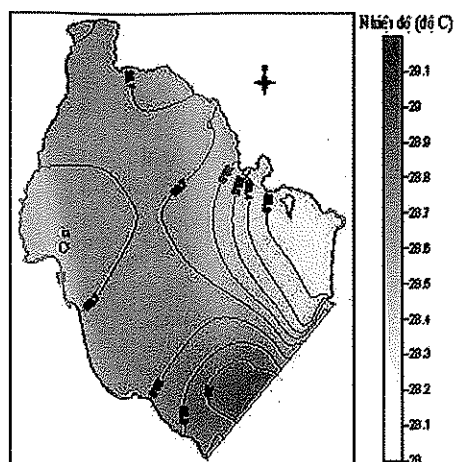
Hình 5. Vận tốc dòng chảy (m/s) và mực nước (m) dưới ảnh hưởng của triều và gió Đông Bắc khi triều dâng



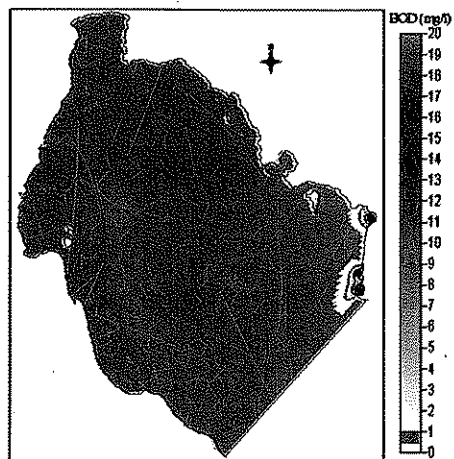
Hình 6. Vận tốc dòng chảy (m/s) và mực nước (m) dưới ảnh hưởng của triều và gió Đông Bắc khi triều rút



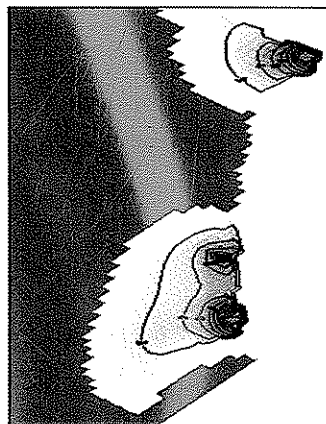
Hình 7. Nhiệt độ sau 15 ngày tính toán.



Hình 8. Nhiệt độ sau 30 ngày tính toán.

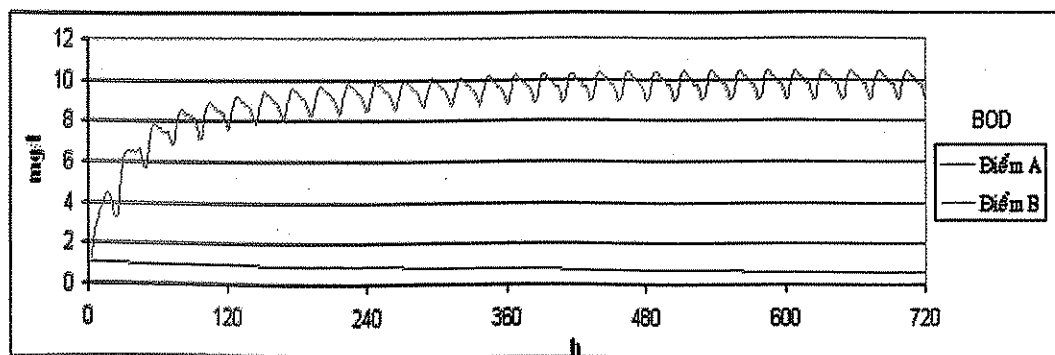


Hình 9. BOD sau 15 ngày tính toán



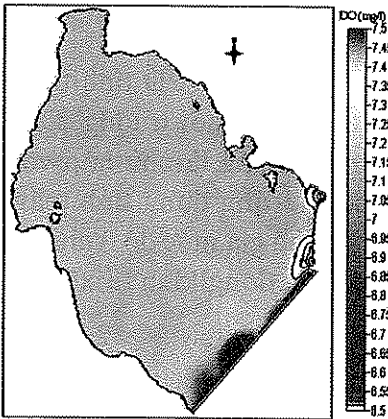
Hình 10. Phóng to vùng gần nguồn thải sau 15 ngày tính BOD

Nếu khảo sát biến thiên nồng độ BOD theo thời gian, ta chọn 2 vị trí A, và B như trong hình 14 và sẽ thấy kết quả như trong hình 11:

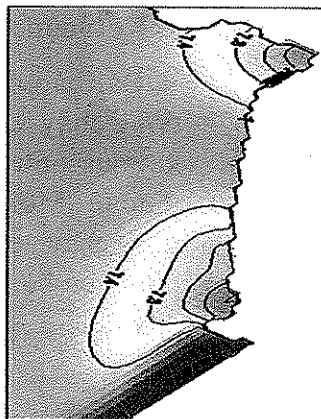


Hình 11. Nồng độ BOD tại vị trí A, B theo thời gian tính toán

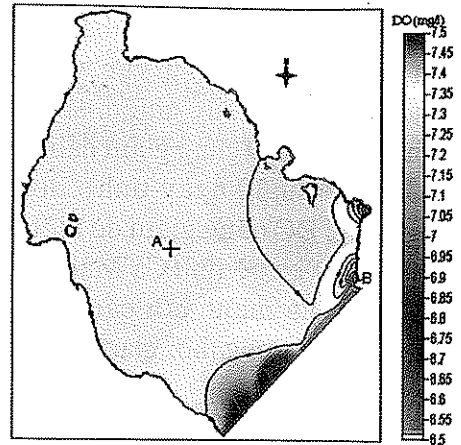
* DO : Hình 12, 13, 14, 15 biểu diễn lan truyền DO sau 15 và 30 ngày tính toán.



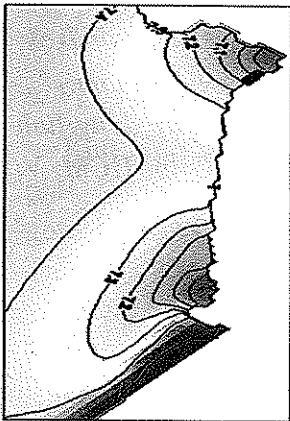
Hình 12. DO sau 15 ngày tính toán.



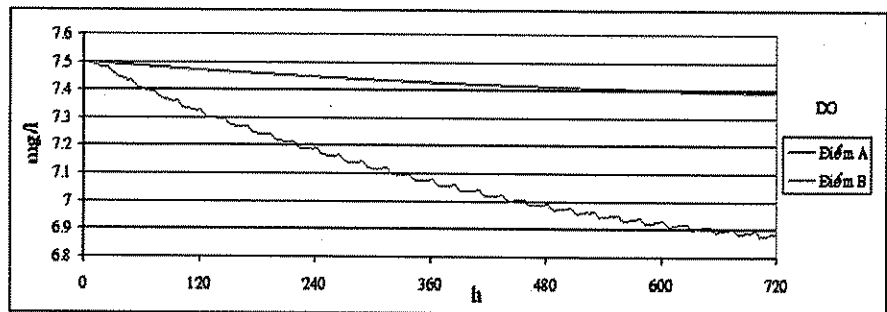
Hình 13. Phóng to vùng gần nguồn thải sau 15 ngày tính DO



Hình 14. DO sau 30 ngày tính toán.



Hình 15. Phóng to vùng gần nguồn thải sau 30 ngày tính DO



Hình 16. DO tại vị trí A, B theo thời gian

6. Nhận xét

* Dòng chảy tổng hợp:

Kết quả tính toán cho thấy chế độ thủy triều của vùng tính là nhật triều không đều. Một lần nước dâng mạnh và một lần rút mạnh. Vận tốc dòng chảy cực đại lúc triều rút mạnh khoảng 0.947 m/s, lúc triều dâng khoảng 1 m/s.

Do giả thiết điều kiện gió Tây Nam và Đông Bắc gần như nhau nên kết quả tính toán dòng chảy tổng hợp trong hai trường hợp cho kết quả tương tự nhau.

Nhìn chung, khu vực biên phía Cà Mau

(Việt Nam) chịu ảnh hưởng của thủy triều lớn hơn phía Malaysia.

* Các thông số môi trường:

- Nhiệt độ:

Các kết quả tính toán lan truyền nhiệt cho thấy ban đầu có sự chênh lệch về nhiệt độ giữa các khu vực, nhiệt độ ở khu vực Đông Nam của vùng tính (thuộc Cà Mau và Kiên Giang) tương đối bé hơn các vùng khác. Sau thời gian tính toán chúng dần trở nên đồng nhất hơn.

- BOD và DO:

Từ hình vẽ nhận thấy sự ảnh hưởng rõ rệt của nguồn thải. Vùng ngoài khơi ít bị ảnh hưởng của nguồn ô nhiễm thải từ các con sông hơn nhiều so với khu vực ven bờ, nơi gần nguồn ô nhiễm. Tuy nhiên, sau 30 ngày tính toán, lượng BOD cũng giảm dần (giảm khoảng 0,43 mg/l sau 30 ngày tính) do biến đổi và lắng đọng, DO cũng giảm do biến đổi nhưng ít hơn. Vùng ven bờ tỉnh Cà Mau và Kiên Giang bị ảnh hưởng mạnh bởi các nguồn thải. Kết quả cho thấy trong thời gian đầu tính toán hàm

lượng BOD tại các nút lân cận tăng rất nhanh, sau đó càng lan rộng nhưng chậm dần.

7. Kết luận

Bài báo đã đưa ra mô hình 2D tính toán dòng chảy và các thông số môi trường. Các kết quả tính toán nhìn chung là phù hợp với thực tế. Mô hình có thể ứng dụng tính toán dòng chảy ven bờ và đánh giá mức độ ô nhiễm biển ven bờ do các hoạt động kinh tế xã hội gây ra.

Tài liệu tham khảo

1. Arthur T. Ippen, "Estuary and coastline hydrodynamics". McGraw-Hill Book Company, Inc. 1966.
2. Final report "Thailan LNG Terminal", AIT Engineering consultant, co., LTD. Bangkok, Thailand & Fluid Mechanics department, HCM City Univesity of Technology, Vietnam.
3. Nguyễn Thị Bầy, Nguyễn Anh Dũng. "Mô hình tính thủy triều vùng ven biển áp dụng tính năng lượng triều cho vùng biển ăn Giờ". Tạp chí PT KH và CN ĐHQG tp. HCM. V. 8,4/2005, tr 52-58.