

Kết quả cho thấy dự báo của WRF khi sử dụng sơ đồ 3DVAR đã đem lại hiệu quả nhất định. Sai số trong dự báo nhiệt độ giảm khoảng 0,2 -1,0°C đối với hạn dự báo 24h đối với hạn dự báo 48h thì sai số này được cải thiện ít hơn. Khả năng dự báo mưa của mô hình đã được cải thiện khi sử dụng sơ đồ 3DVAR.

Tuy vậy do các trạm quan trắc cao không là thua thốt nên các kết quả nghiên cứu không được tốt như mong đợi.

### Tài liệu tham khảo

1. Bùi Hoàng Hải, Phan Văn Tân, Nguyễn Minh Trường (2005), *Nghiên cứu lý tưởng sự tiến triển của xoáy thuận nhiệt đới bằng mô hình WRF*, Tạp chí KTTV số 532 (04/2005), Hà Nội.
2. Phan Văn Tân (2003), *Các phương pháp thống kê*

*trong khí hậu*, Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia, Hà Nội.

3. Phan Văn Tân, Nguyễn Lê Dũng (2009), *Thử nghiệm ứng dụng hệ thống WRF-VAR kết hợp với sơ đồ ban đầu hóa xoáy vào dự báo quỹ đạo bão trên Biển Đông*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Hà Nội, 7(583), tr. 1-9.

4. Trần Tân Tiến (1997), *Nghiên cứu dự báo thời tiết bằng phương pháp số trị*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội.

5. Barker D. M., Y.-R. Guo, W. Huang, H. Huang, S. Rizvi, Q. Xiao, and M.-S. Lee (2005) *WRF-VAR A Unified 4/4D-Var Data Assimilation system for WRF*. Preprints. 6th WRF/MM5 Users Workshop. NCAR. Boulder, CO.

6. Barker, D. M., Huang, W., Guo, Y-R., and Bourgeois, AI (2003) *A three-dimensional Variational (3DVAR) Data Assimilation System for use with MM5*. NCAR Technical Note, NCAR/TN-453+STR, pp68.

## NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN TỐC ĐỘ TÍNH TOÁN CỦA MÔ HÌNH DÒNG CHẢY VÀ MÔ HÌNH LAN TRUYỀN CHẤT BẰNG KỸ THUẬT LƯỚI LỒNG

PGS.TS. **Nguyễn Kỳ Phùng** - Phân viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường phía Nam  
ThS. **Dương Thị Thúy Nga** - Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên Tp. HCM

**B**ài báo giới thiệu mô hình dòng chảy hai chiều, sử dụng phương pháp sai phân ẩn luân hướng (ADI) dựa theo hệ phương trình Reynolds và mô hình lan truyền chất. Các mô hình được áp dụng kỹ thuật lưới lồng để tăng tốc độ tính toán. Chỉ những vùng cần quan tâm tác giả mới sử dụng lưới mịn, còn lại trên toàn vùng tính, tác giả sử dụng lưới thưa để tăng tốc độ tính toán. Kỹ thuật liên kết miền rất quan trọng vì sẽ đảm bảo sự liên tục và hợp lý giữa các lưới mịn và lưới thưa. Kết quả tính toán của các mô hình được kiểm định với các kết quả thực nghiệm và giá trị thực đo cho thấy sự tin cậy của mô hình.

### 1. Giới thiệu

Trong các nghiên cứu ứng dụng của công nghệ thông tin, việc giải quyết các bài toán về mô hình hóa trong môi trường luôn là một yêu cầu rất cần thiết. Đối với các bài toán này, tốc độ tính toán luôn là một vấn đề nan giải. Với một vùng sông, biển hàng trăm ngàn km<sup>2</sup>, việc tính toán các giá trị trên toàn vùng nghiên cứu như vận tốc dòng chảy, độ dâng mực nước, nồng độ các chất ô nhiễm theo thời gian,... phải tốn rất nhiều thời gian. Bên cạnh

đó, để đạt độ chính xác cao, cần phải có những mô hình toán đáng tin cậy để đảm bảo kết quả tính toán tương ứng với kết quả đo đạc trong thực tế.

Chúng tôi giới thiệu mô hình toán tính dòng chảy trên biển và mô hình lan truyền chất để tính nồng độ các chất ô nhiễm theo thời gian và không gian. Ngoài ra, chúng tôi còn xây dựng một phương pháp tính toán bằng lưới lồng để giúp nâng cao tốc độ tính toán. Với những bài toán mà thời gian tính kéo dài hàng nhiều giờ, thậm chí nhiều ngày thì

việc xây dựng phương pháp cải thiện tốc độ tính là rất quan trọng.

Trên thế giới và ở Việt Nam đã có nhiều nhóm nghiên cứu về mô hình hóa. Hầu hết sử dụng phương pháp Defant và Hansen [6, 8, 9] để tính toán cho các khu vực trên Đại Tây Dương, Thái Bình Dương. Một số tác giả sử dụng phương pháp ADI [1, 2, 3, 4, 7, 11, 2].

Ưu điểm của các mô hình này là phần mềm dễ sử dụng vì ít tham số (loại bỏ bớt các tham số phức tạp). Nhưng đó cũng chính là lý do làm giảm độ chính xác trong tính toán. Ngoài ra, tốc độ tính toán của các phần mềm này thường chậm và không áp dụng phương pháp tính bằng lưới lỏng.

Do vậy, tác giả xây dựng mô hình toán với cách tính của riêng nhóm nghiên cứu, áp dụng lưới lỏng để nâng cao tốc độ tính toán.

**2. Lý thuyết tính toán**

**a. Mô hình dòng chảy**

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_{Sx,wind} - \tau_{Sx,w}}{\rho(h+\zeta)} - \frac{\tau_{bx}}{\rho(h+\zeta)} + A \nabla^2 \bar{u}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_{Sy,wind} - \tau_{Sy,w}}{\rho(h+\zeta)} - \frac{\tau_{by}}{\rho(h+\zeta)} + A \nabla^2 \bar{v}$$

Phương trình động lượng:

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

Phương trình liên tục:

Trong đó:

u, v : Thành phần vận tốc trung bình theo độ sâu theo phương Ox và Oy [m/s];

h : Độ sâu [m];

ζ : Độ dâng mực nước [m];

f : Tham số Coriolis [1/s];  $f = 2\omega \sin \varphi$  ;

$\tau_{Sx,wind}, \tau_{Sy,wind}$  : Ứng suất tiếp bề mặt do gió theo phương Ox, Oy [N/m<sup>2</sup>].

$\tau_{Sx,w}, \tau_{Sy,w}$  : Ứng suất tiếp do sóng theo phương Ox, Oy [N/m<sup>2</sup>].

$\tau_{bx}, \tau_{by}$  : Ứng suất tiếp đáy phương Ox, Oy [N/m<sup>2</sup>].

A: Hệ số nhớt rối phương ngang [m<sup>2</sup>/s]

$\nabla^2$  toán tử Laplace:

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

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

**b. Phương trình lan truyền chất**

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \left( E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) - \left( u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \right) - KC + P_1$$

Hay:

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

Trong đó:

C : nồng độ các chất ô nhiễm cần tính, thường có đơn vị mg/l

Ex : hệ số khuếch tán theo phương x [m<sup>2</sup>/s]

Ey : hệ số khuếch tán theo phương y [m<sup>2</sup>/s]

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

H : độ sâu [m]

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

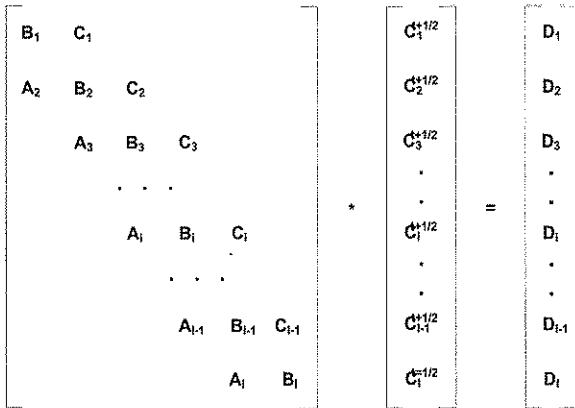
P1 : tổng nguồn thải từ bên ngoài

**3. Phương pháp tính**

Các mô hình sử dụng phương pháp sai phân ẩn luân hướng - ADI (Alternating Direction Implicit Method) để giải quyết cho bài toán dòng chảy 2 chiều.

Với phương pháp này, ta chia bước thời gian làm 2 phần bằng nhau. Trong ½ bước thời gian đầu từ t đến (t+½), thành phần hướng x được biểu thị bằng sai phân ẩn, thành phần hướng y được biểu thị bằng sai phân hiện. Trong ½ bước thời gian sau từ (t+½) đến (t+1), thành phần hướng y được biểu thị bằng sai phân ẩn, thành phần hướng x được biểu thị bằng sai phân hiện.

Với mỗi ½ bước thời gian, ta xây dựng ma trận 3 đường chéo để giải vận tốc cho toàn miền tính.

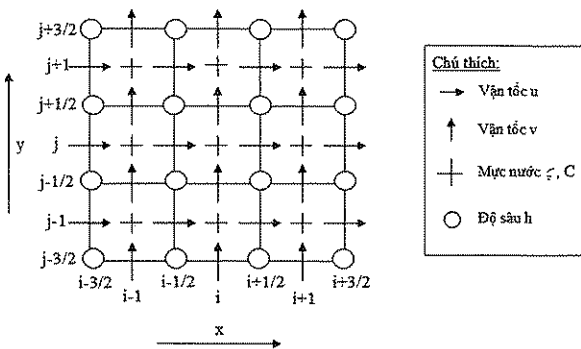


Theo phương pháp này, chúng ta chỉ cần xác định điều kiện tại các biên của khu vực tính, mô hình sẽ tính tất cả giá trị tại các điểm bên trong miền tính. Giá trị tại mỗi điểm sẽ phụ thuộc vào các giá trị lân cận và giá trị tại thời điểm tính trước đó. Do vậy kết quả tính toán của phương pháp ADI được chứng minh là hiệu quả nhất trong số các phương pháp tính toán mô hình hóa hiện nay.

**a. Lưới sai phân**

Với một vùng tính, ta cần xác định khoảng cách giữa các điểm tính và vị trí từng thành phần u, v, h, C. Do vậy, cần xác định một lưới sai phân.

Lưới sai phân không gian là các ô hình vuông. Các tia lưới song song với các trục x hoặc y, khoảng cách  $\Delta x = \Delta y = \Delta s$ .



**Hình 1. Lưới sai phân**

**b. Điều kiện ban đầu**

Điều kiện ban đầu là điều kiện cho ở thời điểm bắt đầu tính toán cho cả miền dòng chảy.

$t = 0: u = v = 0; \zeta = 0; C(x,y,0) = C_0(x,y)$  hoặc  $C(x,y,0) =$  hằng số

**c. Điều kiện biên**

Đối với mô hình dòng chảy

Điều kiện biên có thể là tổng hợp dao động các sóng hoặc vận tốc dòng chảy hoặc lưu lượng nước:

- Tổng hợp dao động sóng của N sóng:

$$\zeta = \sum_{i=1}^N A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)$$

- Lưu lượng:  $Q = U * W$  với W là diện tích mặt cắt ướt.

- Từ dao động sóng hoặc lưu lượng, suy ra vận tốc dòng chảy tại biên.

Đối với mô hình lan truyền chất

- Biên rắn:  $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$

- Biên lỏng:

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

Với:  $C_b$  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 thì nồng độ trên biên được tính toán dựa theo nồng độ của điểm sát biên trong vùng tính:  $\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0$

**4. Phương pháp tính lưới lỏng**

Độ phân giải của lưới tính ảnh hưởng quyết định đến thời gian và công sức tính toán, đặc biệt đối với những khu vực nghiên cứu rộng lớn. Một giải pháp hữu hiệu cho vấn đề này là sử dụng lưới tính có độ phân giải khác nhau: độ phân giải thô cho toàn vùng tính và độ phân giải mịn cho những khu vực nhỏ cần nghiên cứu chi tiết. Vì xem xét các quá trình trong các miền tính khác nhau với các độ phân giải không gian khác nhau, ta sẽ cần đến biện pháp kết nối miền có độ phân giải thô với độ phân giải mịn. Kỹ thuật để kết nối các miền tính có độ phân giải khác nhau này chính là kỹ thuật lưới lỏng. Điểm quan trọng là phải đảm bảo sự biến đổi trơn, liên tục ở vùng biên chung.

Liên kết miền:

Sự tương tác giữa các biến trong vùng tính chung giữa miền thô và miền mịn có thể chia là hai loại: tương tác (chủ động) và không tương tác (bị

động). Trong cách tương tác bị động, các biến được tính toán trong miền lưới thưa chỉ đi vào miền lưới mịn mà không nhận các tác động trở lại từ miền mịn. Hay nói các khác, việc có hay không miền mịn không có ảnh hưởng gì đến kết quả tính toán ở miền thô.

Trong cách tương tác chủ động, các biến từ lưới thưa có thể kết nối với lưới mịn thông qua nội suy và các biến từ lưới mịn được sử dụng để hiệu chỉnh lại các biến trên lưới thưa. Điểm đáng lưu ý ở đây là các biến của lưới thưa đã được chính xác hóa thêm trong các tính toán trên lưới mịn ở quy mô không gian nhỏ hơn và bước thời gian chi tiết hơn. Chính sự tác động trở lại này làm cho kết quả tính toán trên lưới thưa cũng được cải thiện khi có mật lưới mịn. Cách kết nối giữa các biến trên lưới thưa và lưới mịn được trình bày dưới đây:

Ký hiệu các biến trong lưới thưa bằng các chữ cái viết hoa, gạch dài, chữ thập lớn và trong lưới mịn là các chữ thường, gạch ngắn, chữ thập nhỏ. Ta có thể thấy các giá trị  $u, (v)$  trên biên của lưới mịn có thể dễ dàng nhận được bằng cách nội suy tuyến tính từ các biến  $U, (V)$  trên lưới thưa lân cận điểm đó. Ví dụ:

$$u(j12, k6) = \frac{\alpha+1}{2\alpha} U(J6, K3) + \frac{\alpha-1}{2\alpha} U(J6, K4)$$

$$v(j12, k6) = \frac{\alpha+1}{2\alpha} V(J6, K3) + \frac{\alpha-1}{2\alpha} V(J7, K3)$$

Riêng giá các trị mực nước sát biên sẽ được nội suy theo công thức:

$$\zeta(j12, k6) = \left( \frac{\alpha+1}{2\alpha} Z(J6, K3) + \frac{\alpha-1}{2\alpha} Z(J6, K4) \right) \frac{2}{\alpha+1} + \frac{\alpha-1}{2\alpha} \zeta(j12, k6)$$

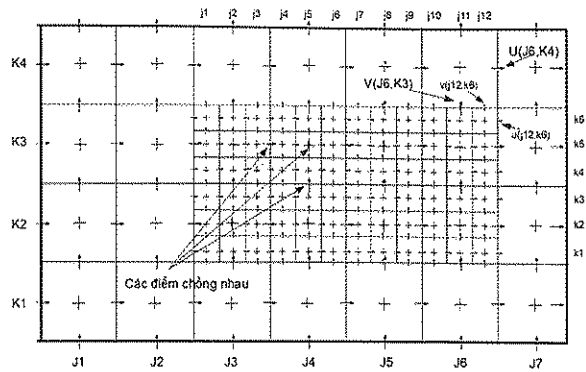
Trong các công thức trên, giả thiết rằng bước không gian từ lưới mịn sang lưới thưa tăng dần.

Cụ thể với  $\alpha = 3$  các công thức trên sẽ tương đương với:

$$u(j12, k6) = \frac{2}{3} U(J6, K3) + \frac{1}{3} U(J6, K4)$$

$$v(j12, k6) = \frac{2}{3} V(J6, K3) + \frac{1}{3} V(J7, K3)$$

$$\zeta(j12, k6) = \left( \frac{2}{3} Z(J6, K3) + \frac{1}{3} Z(J6, K4) \right) \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \zeta(j12, k6)$$



Hình 2. Sơ đồ thể hiện lưới lồng

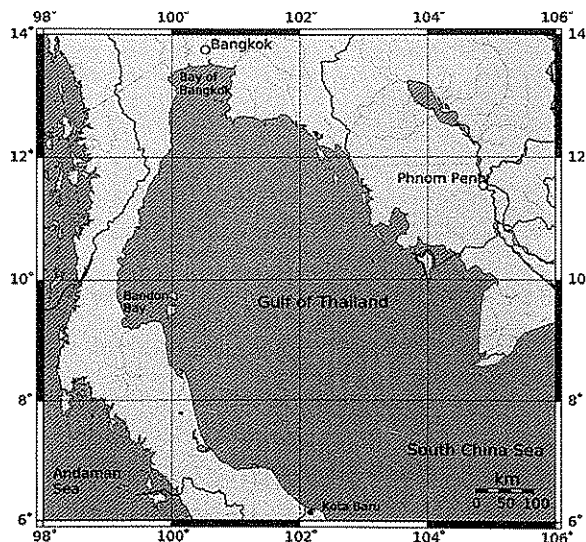
Như vậy trong quy trình tính toán này, trước tiên chúng ta giải đối với lưới thưa sau đó giải lưới mịn. Các biến trên lưới thưa (các điểm chồng nhau giữa lưới thưa và lưới mịn) sau đó được cập nhật bằng các giá trị của lưới mịn. Ưu thế của cách tiếp cận này ở chỗ, bất kỳ sự tăng độ phân giải không gian từ lưới thưa đến lưới mịn, nếu được biểu thị bằng số nguyên lẻ  $= 3, 5, 7, \dots$  đều có thể thực hiện được với thuật toán trên.

Tới đây chúng ta đã có đủ cơ sở lý thuyết về hệ phương trình mô tả dòng chảy 2 chiều trung bình theo độ sâu, sơ đồ lưới không gian, thuật toán sai phân hệ phương trình, điều kiện biên, điều kiện ban đầu, kỹ thuật lưới lồng cần thiết để xây dựng quy trình tính toán cho một khu vực cụ thể.

### 5. Kết quả thực nghiệm

#### a. Ứng dụng mô hình ở vùng vịnh Thái Lan

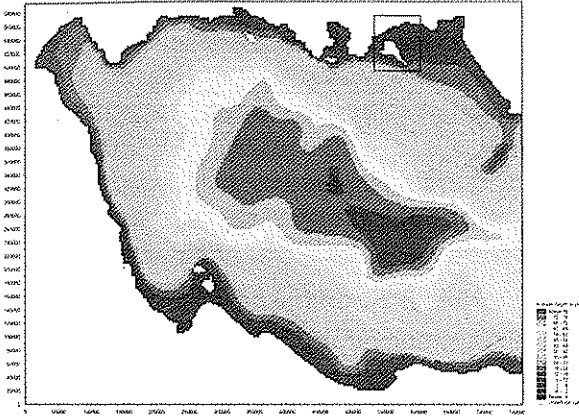
\* Địa hình khu vực nghiên cứu



Hình 3. Bản đồ khu vực vịnh Thái Lan

## NGHIÊN CỨU & TRAO ĐỔI

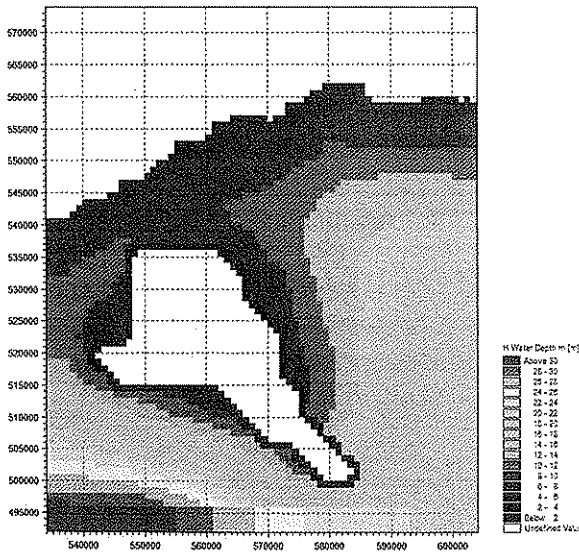
Do vịnh Thái Lan khá rộng lớn nên trong nghiên cứu, chúng tôi xác định miền tính toán như sau:



**Hình 4. Địa hình toàn khu vực nghiên cứu trên lưới thưa**

Khu vực tính có kích thước 750 km \* 580 km. Toàn bộ khu vực tính được đặt lưới thưa với bước lưới 3 km. Miền lưới mịn có kích thước 99 km \* 87 km. Tổng số ô lưới của miền lưới thưa là 250 \* 160 ô và của lưới mịn là 88 \* 100 ô lưới.

Bước thời gian tính là 60s cho lưới thưa và 20s cho lưới mịn.



**Hình 5. Địa hình khu vực được đặt lưới mịn**

\* Thông số tính toán của mô hình thủy lực

Điều kiện tại biên lỏng là tổng hợp dao động điều hòa của các sóng gồm sóng bán nhật triều (M2, S2), sóng nhật triều (K1, O1). Vận tốc tại biên sẽ được tính từ dao động mực nước này. Đặc điểm sóng tại biên như sau:

**Bảng 1. Biên độ sóng M2**

Nút	15-18	19-23	24-28	29-32	33-37
Giá trị	15	14	13	12	11
Nút	38-42	43-46	47-52	53-57	58-65
Giá trị	10	9	8	7	6
Nút	66-75	76-98	99-104	105-109	110-117
Giá trị	5	4	5	6	7
Nút	118-122	123-127	128-133	134-146	
Giá trị	9	10	12	13	

**Bảng 2. Pha sóng M2**

Nút	15-146
Giá trị	243

**Bảng 3. Biên độ sóng S2**

Nút	15-106	107-116	117-140	141-146
Giá trị	12	17	12	11

**Bảng 4. Pha sóng S2**

Nút	15-36	37-146
Giá trị	204	243

**Bảng 5. Biên độ sóng K1**

Nút	15-26	27-36	37-41	42-88	89-93
Giá trị	34	33	34	33	34
Nút	94-111	112-116	117-127	128-146	
Giá trị	35	36	37	28	

**Bảng 6. Pha sóng K<sub>1</sub>**

Nút	15-18	19-37	38-70	71-104	105-122	123-137	138-146
Giá trị	8	10	14	24	34	44	40

**Bảng 7. Biên độ sóng O<sub>1</sub>**

Nút	15-17	18-46	47-112	113-131	132-140	141-146
Giá trị	23	22	21	22	24	25

**Bảng 8. Pha sóng O<sub>1</sub>**

Nút	15-110	111-146
Giá trị	343	338

\*Thông số tính toán của mô hình lan truyền chất

Mô hình lan truyền chất ở đây được sử dụng để tính sự lan truyền các chất: BOD và DO

- BOD

Nồng độ nền: 1 mg/l

Điều kiện biên: 1 mg/l

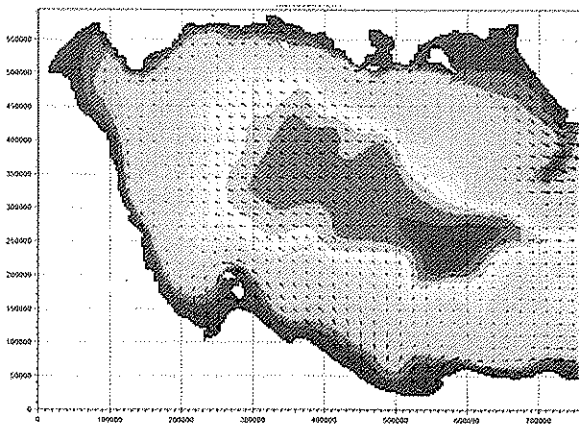
- DO

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

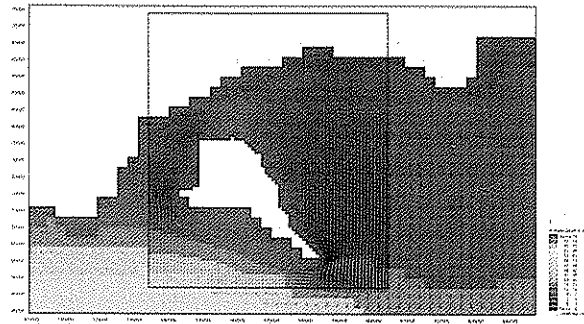
Nồng độ nền: 7 mg/l

Điều kiện biên: 7 mg/l

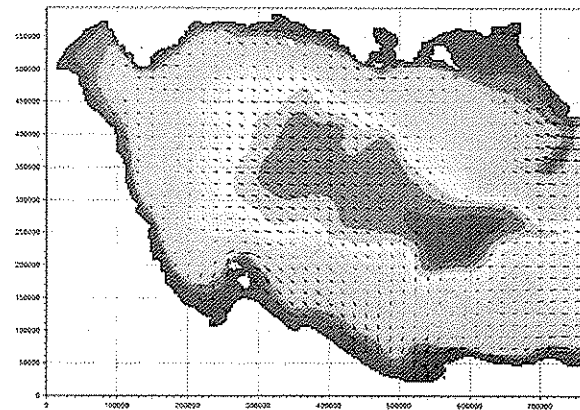
\* Kết quả tính toán



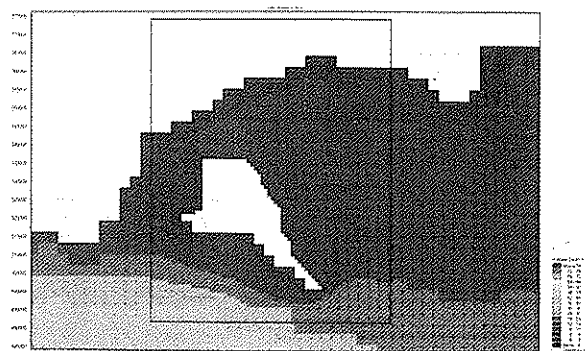
**Hình 6. Dòng chảy trên lưới thưa khi triều xuống**



**Hình 7. Dòng chảy trên lưới mịn khi triều xuống**



**Hình 8. Dòng chảy trên lưới thưa khi triều lên**



**Hình 9. Dòng chảy trên lưới mịn khi triều lên**

# NGHIÊN CỨU & TRAO ĐỔI

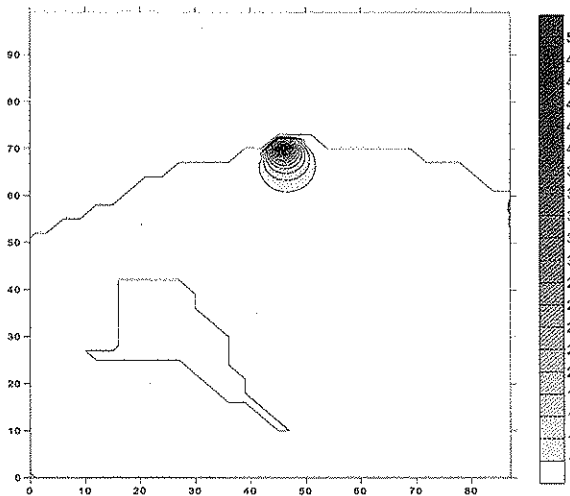
**\* Nhận xét**

Khi thủy triều xuống, dòng chảy hướng xuống. Ngược lại khi thủy triều lên, dòng chảy hướng lên phía trên. Các kết quả này được thấy rõ hơn tại khu vực có đặt lưới tính toán mịn. Kết quả này là phù hợp với thực tế.

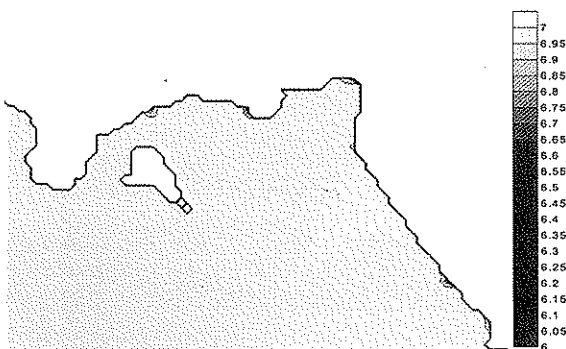
**Kết quả lan truyền chất**



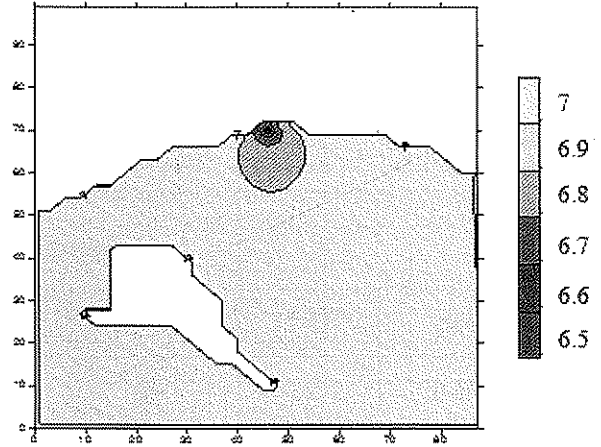
**Hình 10. Kết quả BOD trên lưới thưa (mg/l)**



**Hình 11. Kết quả BOD trên lưới mịn (mg/l)**



**Hình 12. Kết quả DO trên lưới thưa (mg/l)**



**Hình 13. Kết quả DO trên lưới mịn (mg/l)**

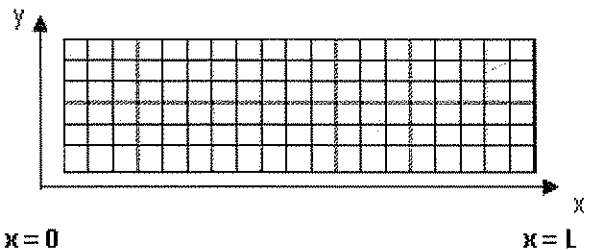
**\* Nhận xét**

Kết quả trên lưới mịn phù hợp với lưới thưa cho thấy mô hình đã giải quyết tốt việc liên kết miền giữa lưới thưa và lưới mịn trong bài toán lan truyền chất. Lưới mịn cho kết quả rõ ràng hơn rất nhiều so với lưới thưa, đáp ứng được yêu cầu tính toán cho các vùng nhạy cảm ven biển.

**\* Kiểm tra các mô hình với lời giải giải tích**

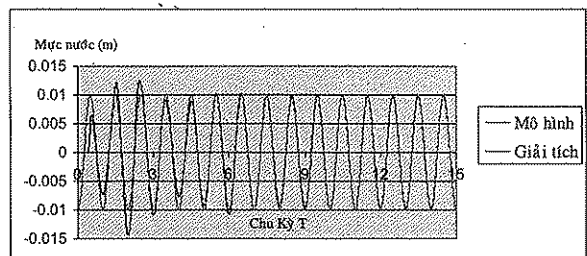
**Kiểm tra mô hình thủy lực**

Mô hình được áp dụng cho đoạn kênh hình chữ nhật với một đầu hở ở cuối kênh, đáy ở cuối kênh, chiều dài  $L = 100m$ , rộng  $6m$ , độ sâu  $h = 1m$ ,  $\Delta t = 0.1s$ ,  $\Delta x = \Delta y = 1m$ .

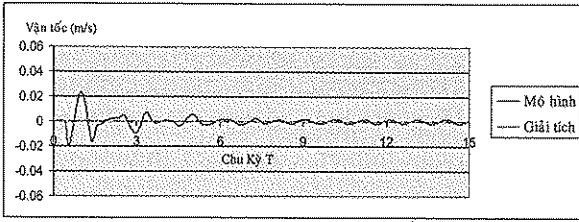


**Hình 14. Lưới tính cho kênh hình chữ nhật**

Kết quả tính toán vận tốc dòng chảy và độ dâng mực nước trên kênh như sau:



**Hình 15: Độ dâng mực nước tại vị trí 0.5L**

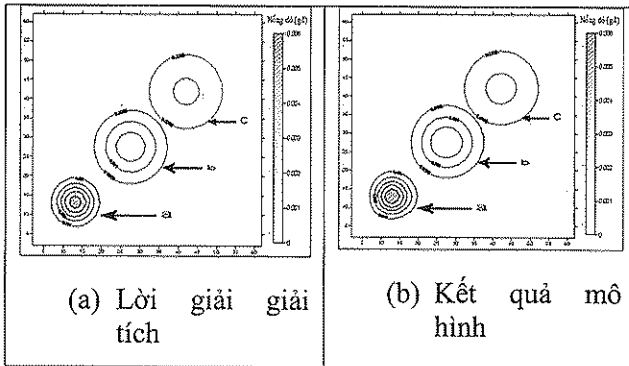


**Hình 16. Vận tốc dòng chảy tại vị trí 0.5L**

\* Nhận xét

Tại vị trí  $x = 0.5L$ , mực nước dao động trong khoảng 5 chu kỳ đầu, kết quả của mô hình và nghiệm giải tích chưa trùng nhau. Từ chu kỳ 6 trở đi, bài toán đã đi vào ổn định, nghiệm của mô hình đã trùng với nghiệm giải tích.

Tại vị trí  $x = 0.5L$ , vận tốc dao động với biên độ cực tiểu. Trong khoảng 7 chu kỳ đầu, kết quả mô hình và nghiệm giải tích chưa trùng nhau. Từ chu kỳ 8 trở đi, bài toán đi vào ổn định, nghiệm của mô hình đã trùng với nghiệm giải tích.



**Hình 17. So sánh kết quả lan truyền giữa lời giải giải tích và kết quả mô hình (a): sau 1 giờ tính toán; (b): sau 3 giờ tính toán; (c): sau 5 giờ tính toán**

\* Nhận xét

Kết quả tính toán từ mô hình phù hợp với kết quả tính từ nghiệm giải tích. Điều này khẳng định độ tin cậy của mô hình lan truyền và khả năng ứng dụng vào thực tế.

\* Kiểm tra mô hình thủy lực với dữ liệu đo đạc thực tế

Vận tốc dòng chảy tại vịnh Bangkok và Bandon được so sánh với dữ liệu thực đo như sau:

hình đã tiến gần đến nghiệm giải tích.

\* Kiểm tra mô hình lan truyền chất

Tính toán kiểm tra mô hình lan truyền được thực hiện trên lưới tính vuông có độ sâu không đổi bằng 5m, kích thước 3000 m x 3000 m,  $t=10s$ , vận tốc dòng chảy được cho là  $u=v=0.1$  m/s, hệ số khuếch tán  $E_x=E_y=4$  m<sup>2</sup>/s; nguồn đổ vào miền tính tại vị trí  $(x_0=5x, y_0=5y)$  có khối lượng  $M=5000$  Kg.

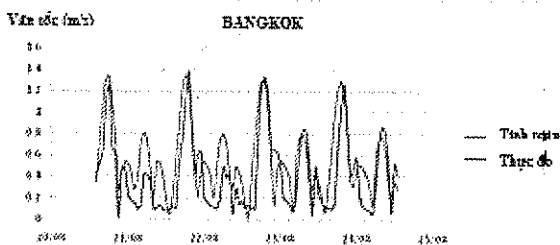
Một nguồn tức thời đổ vào miền tính với khối lượng  $M$ , thì nồng độ giải tích tính bằng công thức:

$$C(x, y, t) = \frac{M/H}{4\pi\sqrt{E_x E_y t}} \exp\left(-\frac{(x-x_0-ut)^2}{4E_x t} - \frac{(y-y_0-vt)^2}{4E_y t}\right)$$

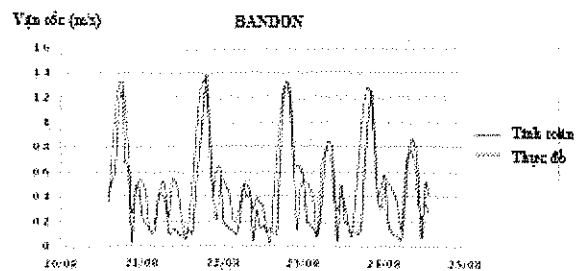
Trong đó  $M$  là khối lượng chất ô nhiễm đổ vào điểm có tọa độ  $(x_0, y_0)$  trong miền tính bắt đầu tại thời điểm  $t>0$

**Bảng 9. So sánh vận tốc dòng chảy**

Trạm	Vận tốc thực đo (m/s)		
	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình
Bangkok	1.25	0.02	0.551
Bandon	1.38	0.023	0.423
Trạm	Vận tốc tính toán (m/s)		
	Lớn nhất	Nhỏ nhất	Trung bình
Bangkok	1.375	0.023	0.555
Bandon	1.349	0.028	0.548



**Hình 18. Vận tốc dòng chảy tại trạm Bangkok**



**Hình 19. Vận tốc dòng chảy tại trạm Bandon**



**\* Nhận xét**

Ở tại hai trạm Bangkok và Bandon, vận tốc dòng chảy do mô hình tính gần sát với vận tốc đo đạc trong thực tế ở hai khía cạnh: độ lồi và phướng. Điều này chứng tỏ mô hình thủy lực đáng cậy, là cơ sở để giải quyết tốt bài toán về lan truyền chất.

**6. Kết luận**

Chúng tôi đã nghiên cứu mô hình thủy lực và mô hình lan truyền chất hai chiều có sử dụng kỹ thuật lưới lồng. Sự liên kết giữa các miền trên lưới

thưa và lưới mịn đảm bảo được tính liên tục, có sự biến đổi trơn ở biên chung cho cả bài toán thủy lực lẫn lan truyền chất. Hiệu quả của việc tính toán bằng lưới lồng thể hiện rõ qua việc chi tiết hóa được vùng cần nghiên cứu, giảm thời gian tính toán.

Các mô hình đã được kiểm định bằng lời giải giải tích và các kết quả đo đạc thực tế. Kết quả của việc kiểm định này cho thấy các mô hình toán ở đây đáng tin cậy và có thể áp dụng tính toán cho các khu vực khác nhau trong thực tế.

**Tài liệu tham khảo****Tiếng Việt**

1. Đặng Công Minh, Nguyễn Hữu Nhân (1993). *Thủy triều biển Đông, chương trình nghiên cứu cấp nhà nước KT. 03, đề tài KT.03.03.*
2. Nguyễn Thị Bảy, Huỳnh Công Hoài (2007). *Mô hình tính toán dòng chảy và vận chuyển bùn cát vùng ven biển dưới ảnh hưởng của sóng, gió và triều – Áp dụng tính cho vùng biển cửa Thuận An. Tuyển tập công trình HNKH Cơ học Thủy khí toàn quốc, Huế, 26-28/07/2007.*
3. Nguyễn Thị Bảy, Đào Nguyên Khôi (2009). *Nghiên cứu dòng chảy tổng hợp ở khu vực Gò Công, Tiền Giang. Báo cáo HNKH Cơ học Thủy khí toàn quốc, Đà Nẵng, 23-25/07/2009.*
4. Phan Văn Hoặc (2004). *Báo cáo đề tài: Nghiên cứu tương tác động lực học biển – sông ven biển Cần Giờ phục vụ xây dựng cơ sở hạ tầng cho du lịch TPHCM, Sở Khoa học và công nghệ TPHCM.*

**Tiếng Anh**

5. Billy E. Johnson, Terry K. Gerald (2007). *"Development of Nutrient submodules for use in the gridded surface subsurface hydrological analysis (GSSHA) distributed watershed model."*
6. Charles W. Downer, William F. James, Aaron Byrd, and Gregory W. Eggers (2002). *"Gridded Surface Subsurface Hydrologic Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis (GSSHA) Model Simulation of Hydrologic Conditions and Restoration Scenarios for the Judicial Ditch 31 Watershed, Minnesota."*
7. Eric Wolanski, Nguyen Huu Nhan, Simon Spagnol (1998). *"Sediment Dynamics During Low Flow Conditions in the Mekong River Estuary, Vietnam."*
8. Hansen M, DeFries R. (2004). *"Detecting long term forest change using continuous fields of tree cover maps from 8 km AVHRR data for the years 1982–1999. Ecosystems in press."*
9. Kiyoshi Horikawa (1988). *"Nearshore Dynamics and Coastal Processes. University of Tokyo Press."*
10. Leo C. Van Rijn (1993). *"Principles Of Sediment Transport In Rivers Estuaries And Coastal Seas. Delft Hydraulics."*
11. Nguyen Thi Bay, Nguyen Ky Phung (2002), *"The 2-D model of flow and sediment transportation in a curved open channel", International colloquium in mechanics of solids, fluids, structures and interaction.*
12. Nguyen Thi Bay, Tran Thien Toan (2006). *Study on the tendency of accretion and erosion in Cangio coastal zone. Proceedings Vietnam-Japan Estuary workshop. Hanoi, 22-24/8/2006.*