

DÒNG CHẢY GIÓ VÙNG DUYÊN HẢI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

CN. Nguyễn Văn Minh

Phân viện KTTV và Môi trường Phía Nam

Bài báo này trình bày việc tính toán dòng chảy ven bờ ở vùng duyên hải Tp. HCM dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn. Miền tính toán được chia thành 1329 phần tử tam giác không đều để phù hợp với vùng tính toán. Với số liệu gió trung bình tháng từ nhiều vệ tinh làm đầu vào của mô hình, kết quả tính toán cho thấy phương pháp phần tử hữu hạn tỏ ra rất hữu hiệu mô phỏng các biến thiên dòng chảy.

1. Mở đầu

Thành phố Hồ Chí Minh (Tp.HCM) và Vũng Tàu là một trong những thành phố trọng điểm của Việt Nam về tốc độ phát triển kinh tế. Một trong những tác động tích cực góp phần phát triển nền kinh tế Tp. HCM và Vũng Tàu là hệ thống giao thông đường thủy. Ngày càng nhiều tàu bè có trọng tải lớn chở hàng hóa từ khắp nơi trên thế giới ra vào khu vực biển Tp. HCM và Vũng Tàu. Chính vì vậy, việc nghiên cứu dòng chảy vùng ven biển Tp. HCM và Vũng Tàu bằng phương pháp phần tử hữu hạn là rất quan trọng.

Phương pháp phần tử hữu hạn với tính mềm dẻo trong cách xây dựng mạng lưới được sử dụng vào các bài toán thủy động lực học biển khoảng 20 năm nay tại khu vực Bắc Mỹ.

Những khó khăn khi thiết lập thuật toán cho phương pháp này dần dần được cải thiện do sự phát triển mạnh mẽ của kỹ thuật máy tính. Dưới đây tác giả trình bày kết quả áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn để tính toán dòng chảy gió (từ vệ tinh) trung bình vùng duyên hải Tp. HCM vào các tháng 1, 7.

2. Mô hình tính toán

Thực hiện bài toán mô hình hóa bằng cách sử dụng các phương trình thủy động lực học trong biển gồm các phương trình bảo toàn động lượng và phương trình liên tục để tính toán dòng chảy do gió vùng duyên hải Tp. HCM bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Phương trình bảo toàn động lượng và phương trình liên tục với phép xấp xỉ Boussinesq có dạng như sau:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_x^s}{\rho_o(H+\zeta)} - \frac{\tau_x^b}{\rho_o(H+\zeta)} + A_t \Delta u \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_y^s}{\rho_o(H+\zeta)} - \frac{\tau_y^b}{\rho_o(H+\zeta)} + A_t \Delta v \quad (2)$$

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

Trong đó:

u, v – Các thành phần nằm ngang của vận tốc được trung bình hóa theo phương thẳng đứng.

$$u = \frac{1}{(H + \zeta)} \int_{-H}^{\zeta} u_0(z) dz \quad 4$$

$$v = \frac{1}{(H + \zeta)} \int_{-H}^{\zeta} v_0(z) dz \quad 5$$

$u_0(z)$ và $v_0(z)$ là các thành phần vận tốc dòng chảy trung bình theo độ sâu.

ζ - dao động mực nước.

$f = 2 \Omega \sin \varphi$ Với $\Omega = 7,2912 \cdot 10^{-4}$ rad/s – vận tốc góc quay của trái đất và φ - vĩ độ địa lý.

$g = 9,8$ m/s² – gia tốc trọng trường.

$(H + \zeta)$ – độ sâu toàn phần của biển.

τ_x^s, τ_y^s – Ứng suất tiếp tuyến gió trên mặt biển.

τ_x^b, τ_y^b – Ứng suất tiếp tuyến gió tại đáy mặt biển.

A_ℓ – hệ số nhớt rối ngang.

Điều kiện ban đầu được xuất phát từ điều kiện không nhiễu động của mặt biển:

$$u(x, y, t = 0) = 0; v(x, y, t = 0) = 0;$$

$$\zeta(x, y, t = 0) = 0$$

Điều kiện biên:

Trên biên rắn, điều kiện biên trượt được áp dụng

$$\vec{V} \cdot \vec{n} \Big|_{G1} = 0$$

Trên biên lỏng, áp dụng điều kiện biên phát xạ Orlandi

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + c_p \frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0$$

Trong đó c_p là vận tốc pha liên quan đến đại lượng Φ . Nếu vận tốc pha hướng ra khỏi miền tính toán thì:

$$c_p = - \frac{\partial \Phi}{\partial t} / \frac{\partial \Phi}{\partial n}$$

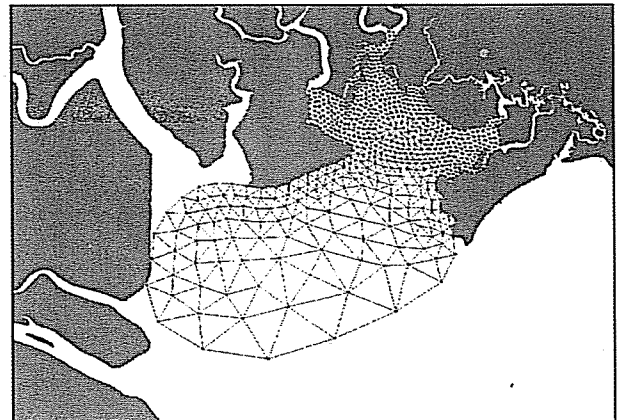
Trong tính toán, điều kiện biên phát xạ được áp dụng cho thành phần vận tốc pháp tuyến V_n với biên lỏng.

3. Thuật toán

a. Sơ đồ mạng lưới

Với phương pháp Delaunay, mạng lưới tính bao phủ vùng duyên hải Tp. HCM với các phần tử tam giác có góc đỉnh không nhỏ hơn 29° .

Mạng lưới gồm 760 điểm nút, 2090 cạnh (cạnh ngắn nhất 255m, cạnh dài nhất 7279m) và 1329 phần tử tam giác. Diện tích phần tử nhỏ nhất 45.992m², lớn nhất 17.219km², diện tích trung bình các phần tử là 0.488km² (hình 1).



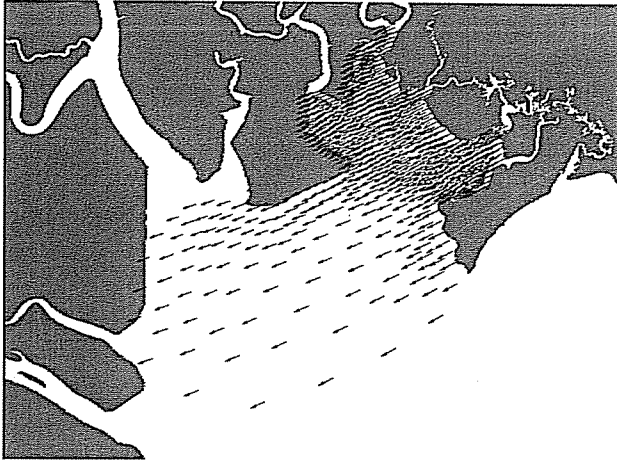
HÌNH 1. MẠNG LƯỚI TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY

Hình 1. Mạng lưới tính toán dòng chảy

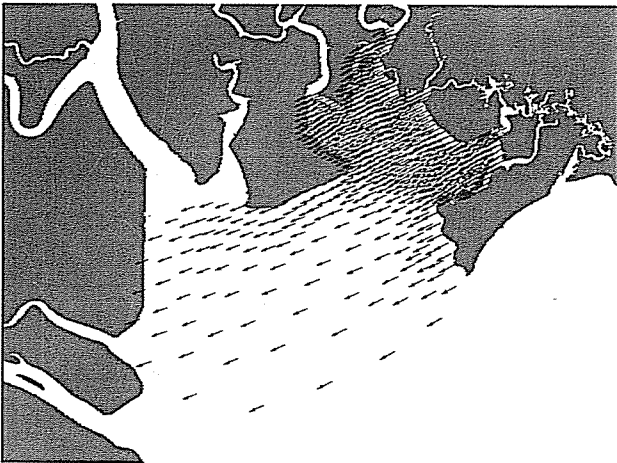
b. Xử lý số liệu gió

Số liệu gió trung bình được tải xuống từ trang Web: <ftp://eclipse.ncdc.noaa.gov>. Đây là hệ thống gió bề mặt biển (ở độ cao 10 m so với mặt biển) được kết hợp từ nhiều vệ tinh với nhau (Quikscat, SSMiS, TMI và AMSR – E) để cho ra số liệu gió trên toàn cầu với độ phân giải 0.25 và thời gian thu được là 6 giờ 1 lần (00 GMT, 06 GMT, 12 GMT, 18 GMT). Ngoài ra, trang web này còn cung cấp số liệu gió ngày, số liệu gió trung bình tháng.

Kết quả số liệu gió trung bình tháng 1 có hướng SE, độ lớn từ 6,9 – 7,5 m/s, tháng 7 có hướng: NW, độ lớn từ 7,3 – 7,7m/s và số liệu gió từ vệ tinh được nội suy tại các điểm nút lưới của miền tính toán (hình 2, hình 3):



Hình 2. Trường gió nội suy tháng 1



Hình 3. Trường gió nội suy tháng 7

c. Áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn vào mô hình hai chiều

Các thành phần dòng chảy trung bình u, v , dao động mực nước ζ , các thành phần ứng suất tiếp tuyến gió τ_x, τ_y , được xấp xỉ quanh điểm nút i, j, m ứng với mỗi phần tử:

$$\tilde{u} = u_i \Phi_i + u_j \Phi_j + u_m \Phi_m$$

$$\tilde{v} = v_i \Phi_i + v_j \Phi_j + v_m \Phi_m$$

$$\tilde{\zeta} = \zeta_i \Phi_i + \zeta_j \Phi_j + \zeta_m \Phi_m$$

$$\tilde{\tau}_x = \tau_{xi} \Phi_i + \tau_{xj} \Phi_j + \tau_{xm} \Phi_m$$

$$\tilde{\tau}_y = \tau_{yi} \Phi_i + \tau_{yj} \Phi_j + \tau_{ym} \Phi_m$$

Trong đó, hàm có dạng như sau:

$$\Phi_j = \frac{a_j + b_j x + c_j y}{2\Delta}$$

Với $a_j = x_m y_i - x_i y_m$; $b_j = y_m - y_i$; $c_j = x_i - x_m$ và Δ là diện tích tam giác.

Sau khi khai triển các phương trình (1), (2) và (3) bằng phương pháp phần tử hữu hạn, ta được hệ phương trình đặc trưng cho mỗi phần tử có dạng như sau:

$$[A] \left\{ \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} \right\} = \{B_u\}; \quad [A] \left\{ \frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} \right\} = \{B_v\};$$

$$[A] \left\{ \frac{\partial \tilde{\zeta}}{\partial t} \right\} = \{B_\zeta\}$$

Trong đó $[A] = \begin{bmatrix} \frac{\Delta}{6} & \frac{\Delta}{12} & \frac{\Delta}{12} \\ \frac{\Delta}{12} & \frac{\Delta}{6} & \frac{\Delta}{12} \\ \frac{\Delta}{12} & \frac{\Delta}{12} & \frac{\Delta}{6} \end{bmatrix}$ và các ma trận $\{B_u\}$, $\{B_v\}$ và $\{B_\zeta\}$

là các ma trận cột 3×1 .

Hệ phương trình trên được áp dụng cho từng phần tử tam giác. Khi tính toán cho một miền lớn, có nhiều phần tử tam giác thì cần có sự liên kết các phần tử lại để tạo thành ma trận toàn cục:

$$[P] \left\{ \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} \right\} = \{Q_u\}; \quad [P] \left\{ \frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} \right\} = \{Q_v\};$$

$$[P] \left\{ \frac{\partial \tilde{\zeta}}{\partial t} \right\} = \{Q_\zeta\}$$

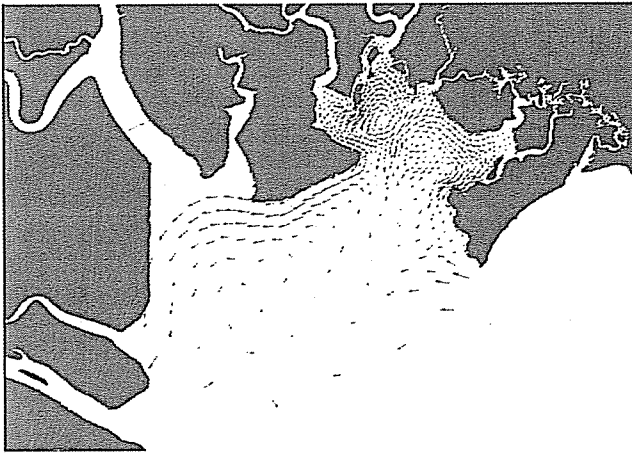
Trong đó, $[P]$ là ma trận $N \times N$, các ma trận $\{Q_u\}$, $\{Q_v\}$ và $\{Q_\zeta\}$ là các ma trận cột $N \times 1$, với N là số điểm nút lưới.

$\left\{ \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} \right\}$, $\left\{ \frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} \right\}$, $\left\{ \frac{\partial \tilde{\zeta}}{\partial t} \right\}$ được giải bằng phương pháp sai phân

tiến theo thời gian.

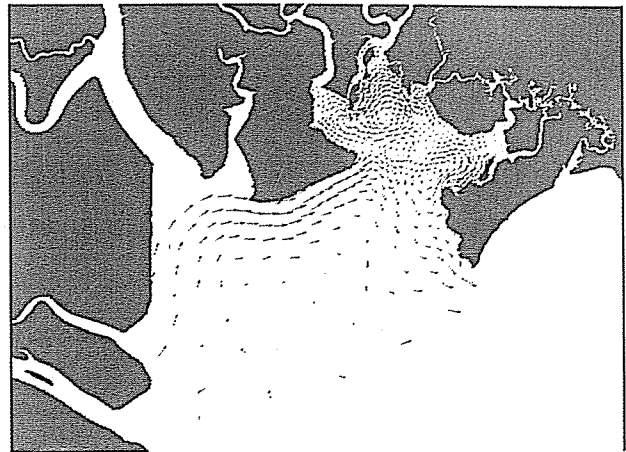
4. Kết quả tính toán

Kết quả dòng chảy gió trung bình tháng 1 (lớn nhất 14.9 cm/s) có một số đặc điểm như xuất hiện hai xoáy: một xoáy thuận gần phía cù lao Phú Lợi, 1 xoáy nghịch phía cù lao Tàu. Giữa xoáy thuận và xoáy nghịch có dòng chảy từ ngoài cửa đi vào vịnh. Hai dòng chảy từ bên trong vịnh chảy ra dọc theo mũi Vũng Tàu và Mũi Cần Giờ (hình 5).



Hình 5. Dòng chảy gió trung bình tháng 1

Dòng chảy gió trung bình tháng 7 thì khác nhiều so với tháng 1. Có 2 xoáy thuận, một ở gần cù lao Tàu và một ở giữa vịnh. Một xoáy nghịch ở gần cù lao Phú Lợi phía mũi Cần Giờ, dòng chảy từ ngoài vào vịnh, trong khi đó phía Mũi Vũng Tàu thì dòng chảy từ trong vịnh ra (hình 6)



Hình 6. Dòng chảy gió trung bình tháng 7

5. Kết luận

Ứng dụng thành công phương pháp phần tử hữu hạn để tính toán dòng chảy gió trung bình vùng duyên hải Tp. HCM từ các phương trình bảo toàn động lượng và phương trình liên tục trong biển.

Việc chia lưới tam giác có kích thước bất kỳ trên một miền tính toán thể hiện được tính đa dạng của phương pháp. Đặc biệt phương pháp chia lưới này giúp giải quyết hiệu quả đối với những vùng tính toán có đảo hay cù lao ở giữa miền tính toán.

Theo kết quả tính toán, tốc độ dòng chảy gió trung bình tháng 1 và tháng 7 vùng duyên hải Tp. HCM tương đối thấp, ít chịu ảnh hưởng của gió.

Tài liệu tham khảo

1. Võ Thanh Tân, Lê Quang Toại, *Dòng chảy biển trong bão LinDa, hội thảo khoa học biển, khoa môi trường trường ĐHKHTN, Tp. HCM, 2005.*
2. David S. Burnett, *finite element analysis, Addison – Wesley publishing company, 1987.*
3. O. C. Zienkiewicz, K. Morgan, *finite elements and approximation, a wiley – interscience publication, 1983.*