

ĐẶC TRƯNG THỦY ĐỘNG LỰC VỰC NƯỚC BÌNH CANG - NHA TRANG QUA MÔ HÌNH FEM VÀ ECOSMO

Trần Văn Chung*, Bùi Hồng Long

Viện Hải dương học-Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: tvanchung@gmail.com

Ngày nhận bài: 21-7-2014

TÓM TẮT: Bài báo này tập trung phân tích đặc trưng thủy động lực vực nước Bình Cang - Nha Trang qua hai mô hình: ECOSMO (sai phân hữu hạn) và FEM (phần tử hữu hạn) trên cơ sở so sánh với số liệu đo đạc mới nhất của đề tài VAST 07. 04/11-12. Các kết quả mô phỏng dòng chảy theo mùa bằng mô hình FEM ở vùng nghiên cứu thể hiện rõ sự xuất hiện các dòng xoáy cục bộ trên đỉnh đầm Nha Phu. Trong khi đó, đối với mô hình ECOSMO, do bài toán chỉ đạt ổn định tốt tại những vùng có độ sâu tối thiểu 2,0 m nên đã làm mất đi các xoáy này. Ngoài ra, vấn đề khoảng cách theo không gian của mạng lưới tính sai phân đã có những hạn chế khi đánh giá chế độ dòng chảy tại những biên bờ, đảo chắn, bãi ngầm, ..., hoặc khi cần thể hiện chi tiết tính địa phương của khu vực nhỏ như: vùng cửa sông - ven biển với quy mô lưới tính nhỏ, địa hình phức tạp. Trong bài này chúng tôi còn trình bày một số kết quả tính toán về khả năng tự làm sạch (trao đổi nước, thời gian lưu ...) của thủy vực nghiên cứu.

Từ khóa: Dòng triều, mô hình ba chiều phi tuyến, phương pháp sai phân hữu hạn.

MỞ ĐẦU

Sông, cửa sông ven biển và phần biển tiếp giáp là một hệ thống nước liên tục và gắn liền, nó chịu nhiều tác động của quá trình động lực (dòng chảy sông, thủy triều, sóng, gió, ...) và thủy văn (nhiệt độ, mật độ, độ mặn, ...) các quá trình này cùng tồn tại và tương tác với nhau. Khi nghiên cứu, tính toán bài toán động lực trong không gian ba chiều thì cấu trúc phân tầng về thẳng đứng thủy văn đóng vai trò quan trọng trong vùng chuyển tiếp giữa sông và biển. Dòng chảy sông và thủy triều là các yếu tố chi phối việc trao đổi nước giữa sông - biển. Chính vì vậy, để mô phỏng các quá trình xâm nhập nước biển khi sử dụng mô hình số ba chiều miền tính toán của nó nên bao gồm toàn bộ hệ thống nước đưa vào, các điều kiện biên của dòng chảy sông và các lực thủy triều. Điều này tạo ra nhiều thách thức cho các nhà nghiên cứu khi phát triển các số mô hình tính toán có hiệu

quả để mô phỏng các quá trình trao đổi nước tại các vùng cửa sông ven biển.

Trong các nghiên cứu trước đây, nhóm tác giả thường gặp khó khăn trong đánh giá đặc trưng thủy động lực cho các thủy vực thuộc vùng ven biển Khánh Hòa, đó là tính bất ổn định khi gặp các biến đổi độ sâu đột ngột, vai trò biên - bờ trong bài toán thường không được thể hiện rõ ràng, không phản ánh được các dòng dọc bờ. Với những lý do như trên, phương pháp phần tử hữu hạn (FEM - Finite Element Method) (Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung (2008, 2009, 2010) [1-3] đã được sử dụng trong mô phỏng bài toán lan truyền sóng nước nông vào vùng nghiên cứu cùng với mô hình ECOSMO. Các mô hình có xét đến các ảnh hưởng của lưu lượng nước ngọt tại các cửa sông Cái, sông Tắc và sông Dinh. Với các cố gắng trên việc mô phỏng phân bố trường dòng chảy phù hợp hơn với quy luật thực tế, mang

hiều ý nghĩa định lượng hơn khi xét đến các ảnh hưởng nước ngọt từ các cửa sông.

MÔ HÌNH HÓA CÁC QUÁ TRÌNH THỦY ĐỘNG LỰC BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Mô hình được thực hiện trên các phương trình thủy động lực học ba chiều (3-D) với các thừa nhận xấp xỉ Boussinesq và áp suất thủy tĩnh. Nhiệt độ và độ mặn và mật độ nước biển được xác định từ phương trình trạng thái. Sự

tiêu tán năng lượng ở quy mô lưới nhỏ được thể hiện theo dạng độ nhớt rối (độ khuếch tán). Việc tham số hóa này thể hiện dưới dạng phân tầng kết hợp với động năng dòng rối và độ dài pha trộn ở quy mô lớn.

Các phương trình chủ đạo có sáu biến chính trong mô hình 3-D, được thể hiện trong các phương trình dưới đây. Hai thành phần nằm ngang (x,y) của các phương trình động lượng dạng véc tơ:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{f} \times \vec{v} = g \nabla_{xy} \zeta - \frac{\partial}{\partial z} \left(N_m \frac{\partial \vec{v}}{\partial z} \right) = - \frac{g}{\rho_0} \int_z^{\zeta} \nabla_{xy} \rho dz + \vec{F}_m + \frac{\sigma}{\rho} (\vec{v}_\sigma - \vec{v}) \quad (1)$$

Phương trình bảo toàn nhiệt và muối:

$$\frac{dT}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left(N_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) = F_T + \frac{\sigma}{\rho} (T_\sigma - T) \quad (2)$$

$$\frac{dS}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left(N_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) = F_T + \frac{\sigma}{\rho} (S_\sigma - S) \quad (3)$$

Các phương trình đối với động năng dòng rối và độ dài pha trộn:

$$\frac{dq^2}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left(N_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) = 2 \left[N_m \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) + \frac{g}{\rho_0} N_h \frac{\partial \rho}{\partial z} \right] - 2 \left[\frac{q^3}{B_l} \right] + \frac{\sigma}{\rho} (q_\sigma^2 - q^2) \quad (4)$$

$$\frac{dq^2 l}{dt} - \frac{\partial}{\partial z} \left(N_q \frac{\partial q^2 l}{\partial z} \right) = l E_1 \left[N_m \left(\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right) + \frac{g}{\rho_0} N_h \frac{\partial \rho}{\partial z} \right] - l W \left[\frac{q^3}{B_l} \right] + \frac{\sigma}{\rho} (q_\sigma^2 l - q^2 l) \quad (5)$$

Trong đó E_1 và B_1 là các hằng số thực nghiệm Mellor và Yamada, 1982 và W là một hàm sát tường chắn Blumberg và cs., 1992 [4, 5].

Biến trạng thái sau cùng là bề mặt tự do $\zeta(x, y, t)$, sự tiến triển của chúng được xác định bởi tích phân theo phương thẳng đứng phương trình liên tục:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla_{xy} \cdot \int_{-h}^{\zeta} \vec{v} dz = \int_{-h}^{\zeta} \frac{\sigma}{\rho} dz + (P - E) \quad (6)$$

Hệ thống khép kín với vài mối liên hệ cân bằng. Phương trình liên tục 3-D đưa ra cách thức cho tính toán vận tốc thẳng đứng w dưới dạng vận tốc nằm ngang:

$$\frac{\partial w}{\partial z} = -\nabla_{xy} \cdot \vec{v} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\sigma}{\rho} \right) \quad (7)$$

Mật độ liên quan đến nhiệt độ và độ mặn bởi phương trình trạng thái Gill, 1982 [6]:

$$\rho = \rho(T, S) \quad (8)$$

ước lượng tại áp suất không đổi. Khép kín đối với các hệ số pha trộn dòng rối thẳng đứng là:

$$N_m = q l s_m, N_h = q l s_h, N_q = q l s_q \quad (9)$$

Trong đó s_q là hằng số, các hàm ổn định s_m và s_h là các hàm đại số của phân tầng cục bộ

$$G_h \equiv \frac{l^2}{q^2} \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (\text{Galperin và cs, 1988 [7]})$$

Dưới đây là toàn bộ các ký hiệu sử dụng trong các phương trình trên:

$\vec{v}(x, y, z, t)$ - vận tốc dòng, với các thành phần trong tọa độ Đề-các (u,v,w); $\bar{\vec{v}}(x, y, t)$ - trung bình thẳng đứng của \vec{v} ; $\zeta(x, y, t)$ - độ cao bề mặt tự do; $h(x, y)$ - độ sâu biển (chính xác hơn, độ sâu của vị trí theo lớp ứng suất đáy không đổi mà tại điều kiện biên được ứng

dụng, diện hình khoảng 1m trên nền đáy); $H(x,y,t)$ - tổng độ sâu, $H=h+\zeta$; $\rho(x,y,z,t)$ - mật độ nước biển, ρ_0 là giá trị trung bình; $T(x,y,z,t)$ - nhiệt độ nước biển; $S(x,y,z,t)$ - độ mặn nước biển; $q^2(x,y,z,t)/2$ - động năng dòng rối; $l(x,y,z,t)$ - độ dài pha trộn dòng rối; $N_m(x,y,z,t)$ - độ nhớt rối thẳng đứng; $N_h(x,y,z,t)$ - độ khuếch tán rối thẳng đứng đối với nhiệt độ và độ mặn; $N_q(x,y,z,t)$ - độ khuếch tán rối thẳng đứng đối với q^2 và $q^2 l$; $\bar{F}_m, \bar{F}_T, \bar{F}_S$ - là các trao đổi nằm ngang không bình lưu của động năng, nhiệt độ và độ mặn; g - gia tốc trọng trường; \bar{f} là véc tơ Coriolis, có hướng theo phương thẳng đứng với độ lớn f ; ∇ - toán tử gradient, ∇_{xy} là phần nằm ngang của nó, $\frac{d}{dt}$ - đạo hàm toàn phần theo thời gian, cho chuyển động ba chiều của chất lỏng, $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla$; (x,y) - các tọa độ Đề-các nằm ngang, chiều x dương về phía Đông, chiều y dương về phía Bắc; z - tọa độ theo phương thẳng đứng, có chiều dương hướng lên; $-h \leq z \leq \zeta$; t - thời gian; $\vec{v}_b(x,y,z,t)$ - vận tốc dòng chảy nằm ngang tại đáy của cột nước; C_d - hệ số cản đáy (chọn $C_d = 0,0026$).

Ký hiệu nguồn

$\sigma(x,y,z,t)$ - nguồn khối lượng phân bố (khối lượng / thời gian / thể tích đơn vị); σ/ρ - nguồn theo thể tích (thể tích/thời gian/thể tích đơn vị); $\vec{v}_\sigma, T_\sigma, S_\sigma, q_\sigma^2, q^2 l_\sigma$ - là tính chất của nguồn lưu chất; P là lượng mưa tại bề mặt tự do: thể tích/thời gian/điện tích đơn vị; E là lượng bay hơi tại bề mặt tự do: thể tích/thời gian/điện tích đơn vị.

Các mô tả chi tiết về điều kiện ban đầu và điều kiện biên có thể tìm thấy trong công trình của Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung (2008, 2009, 2010) [1-3].

GIỚI THIỆU TÓM TẮT MÔ ĐUN VẬT LÝ CỦA MÔ HÌNH ECOSMO

Thành phần thủy động lực học của mô hình ECOSMO dựa vào phương trình nguyên thủy phi tuyến mô hình HAMSOM (Hamburg Shelf Ocean Model). Mô hình HAMSOM đã được phát triển tại Viện Hải dương học thuộc trường đại học Hamburg và liên tục phát triển qua hơn 20 năm bởi các đóng góp của nhiều tác giả khác nhau. Nó được ứng dụng thành công cho các vùng biển sâu và thềm lục địa biển khác nhau với địa hình phức tạp trên thế giới. Các kết quả được công bố có thể kể ra theo tiến trình lịch sử như sau: Backhaus (1982, 1985), Hainbucher và cs. (1987), Schrum (1997), Alvarez và cs. (1997), Hainbucher và Backhaus (1999), Harms và cs. (1999), Hainbucher và cs. (2004), Pohlmann (1996, 2006), Simionato và cs. (2004), Ratsimandresy và cs. (2008), Meccia và cs. (2009), Barthel và cs. (2009), Mayer và cs. (2010) [8-22]. Mô hình HAMSOM là một mô hình ba chiều, tà áp (baroclinic), dạng mức (level-type) mà được giải trên các phương trình chuyển động gốc với phương pháp sai phân hữu hạn trên lưới Arakawa C. Sơ đồ số trị của HAMSOM được phát triển bởi Backhaus (1982, 1985) [8, 9]. Đó là phương pháp sai phân bán ẩn và vì vậy bước thời gian tính toán có thể lớn hơn nhiều so với bước thời gian được đòi hỏi bởi tiêu chuẩn ổn định của sai phân hiện. Các thuật toán ẩn được áp dụng cho các sóng trọng lực ngoài, ứng suất trượt thẳng đứng và khuếch tán thẳng đứng của nhiệt độ và độ mặn. Hơn nữa, một xấp xỉ bậc hai bên trong miền thời gian được đưa vào cho lực Coriolis và các gradient áp suất tà áp dưới dạng phương trình chuyển động. Chất lỏng không nén được và cân bằng thủy tĩnh được giả định cho trường áp suất, kết hợp phép xấp xỉ Boussinesq.

Sự chảy rối quy mô cận lưới theo phương thẳng đứng được tham số hóa bởi một phương pháp tiếp cận khép kín rối, đề nghị bởi Kochergin (1987) [23] và sau đó được hiệu chỉnh bởi Pohlmann (1996) [16]. Sơ đồ là có mối liên hệ gần với mô hình hai mức Mellor và Yamada (1974) [24] trong đó hệ số nhớt rối theo phương thẳng đứng phụ thuộc vào sự phân tầng và dịch chuyển dòng theo phương thẳng

đúng. Sự đảo đổi lưu được tham số hóa bởi pha trộn thẳng đứng: một phân tầng không bền được điều chỉnh trong một trạng thái trung tính qua sự phóng đại giả của hệ số nhớt rối thẳng đứng. Khuếch tán nằm ngang của động lượng được sử dụng tính bằng một hằng số hệ số nhớt rối đẳng hướng.

Mô hình hoàn lưu bao gồm một thuật toán vận chuyển Eulerian cho nhiệt độ và độ mặn, dựa trên phương trình bình lưu - khuếch tán trong một sơ đồ ngược dòng (upstream). Tuy nhiên, đối với bình lưu của động lượng Arakawa-J7 được sử dụng (Arakawa và Lamb, 1977) [25]. Thêm vào đó, một tiếp cận Lagrange (loại bỏ khuếch tán) được sử dụng cho tính toán của đường đi. Các hệ số khuếch tán rối thẳng đứng (nhiệt độ và độ mặn) được tính toán theo cách tương tự như các hệ số nhớt rối thẳng đứng, phụ thuộc vào sự phân tầng và dịch chuyển dòng theo phương thẳng đứng. Khuếch tán rối nằm ngang được bỏ qua bởi vì ngăn chặn khuếch tán số trị từ sơ đồ bình lưu.

Mực nước biển và các thuộc tính khối nước được mô tả tại biên mở của mô hình. Thêm vào đó, ảnh hưởng của khí áp nghịch đảo cũng được đưa vào trong ước lượng. Tại bề mặt biển và tại đáy biển, áp dụng các điều kiện biên động học và định luật ứng suất bình phương tương ứng. Nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối, mây che phủ và tốc độ gió xác định thông lượng nhiệt giữa biển mở và khí quyển. Các giá trị này đưa vào khối công thức mô tả sóng dài và bức xạ chung và các thông lượng cảm nhiệt và tiềm nhiệt. Khối công thức được thảo luận chi tiết trong Moll và Radach (1998) [26].

MÔ PHỎNG CHẾ ĐỘ ĐỘNG LỰC VỰC NƯỚC NGHIÊN CỨU

Thông tin nguồn số liệu

Số liệu gió: Số liệu gió được thu thập từ trang web: http://www.remss.com/windsat/-windsat_browse.html, với nguồn số liệu trung bình ngày. Dữ liệu được lấy theo chuẩn wsat từ tháng 2/2003 đến tháng 12/2011 (các số liệu này được chỉnh về theo chuẩn WindSat với tên file wsat_nămthángv7 (ví dụ năm 2004, tháng 3 thì số liệu ký hiệu là wsat_200403v7.gz). Để lấy thông tin thống kê gió sử dụng cho mô hình

và để kiểm tra tính đúng đắn của nguồn số liệu được nội suy, số liệu đo gió tại trạm Nha Trang (109⁰2'E; 12⁰13'N) từ năm 1987 đến 2007 với tần suất đo số liệu là 6 tiếng một lần tại các giờ trong ngày 1, 7, 13, 19 giờ đã được sử dụng.

Các thông số khí quyển được dùng, sử dụng từ thông tin dữ liệu được lấy từ NCEP (National Centers for Environmental Prediction): Sử dụng cơ sở dữ liệu với khoảng thời gian 6 h/số liệu bao gồm các trường số liệu như: vận tốc gió (có 2 thành phần: về hướng Đông và về hướng Bắc) theo m/s tại độ cao 10 m trên bề mặt biển; áp suất không khí mực nước biển theo Pascal; nhiệt độ không khí theo Kelvin tại độ cao 2 m trên bề mặt biển; độ ẩm riêng theo kg/kg tại độ cao 2 m trên bề mặt biển; tổng lượng mây che phủ theo %; lượng mưa theo kg/m³/s; thông lượng bức xạ sóng ngắn (hướng lên, hướng xuống) theo W/m²; thông lượng bức xạ sóng dài (hướng lên, hướng xuống) W/m².

Số liệu nhiệt-muối: nguồn cơ sở dữ liệu của Viện Hải dương học (VODC), từ cơ sở dữ liệu Nga <http://pacificinfo.ru/> và nguồn số liệu từ dự án NUFU và đề tài VAST-07.04/11-12.

Số liệu hằng số điều hòa dùng cho tính toán các ảnh hưởng do triều trong vùng biển Bình Cang - Nha Trang với 8 sóng triều chính là M₂, S₂, N₂, K₂, K₁, O₁, Q₁, P₁. Đây là kết quả tính hằng số điều hòa với cùng một phương pháp nhưng có mạng lưới với quy mô lớn trên toàn Biển Đông, sau đó nội suy cho khớp với các biên mở tính toán tại vùng biển nghiên cứu bằng chương trình nội suy griddata trong phần mềm Matlab.

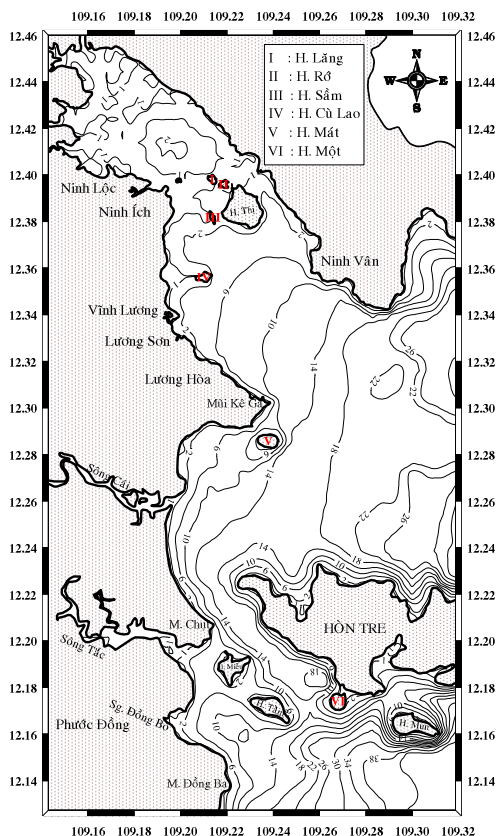
Sử dụng số liệu lưu lượng nước ngọt tại cửa sông: Các số liệu lưu lượng được đưa vào trong mô hình căn cứ các thông tin đã xuất bản của Đài khí tượng thủy văn khu vực Nam Trung Bộ (2004) cho hai trạm Đồng Trăng và Đá Bàn.

Chế độ dòng chảy tại vùng biển Bình Cang - Nha Trang

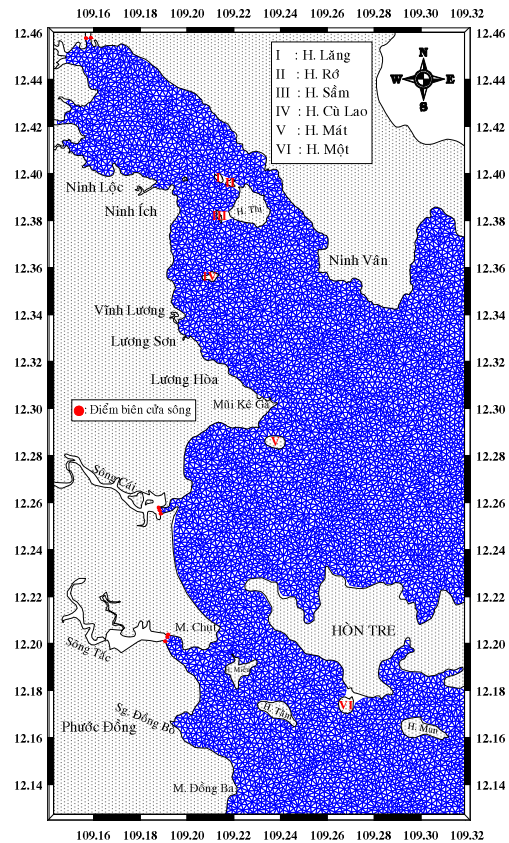
Khu vực nghiên cứu

Khu vực Bình Cang - Nha Phu nằm ở phía Nam huyện Ninh Hòa và phía Bắc thành phố Nha Trang. Đầm Nha Phu - vịnh Bình Cang là

vịnh biển nửa kín ven bờ miền Trung, nằm cách thành phố Nha Trang 20 km về phía Bắc, có vị trí địa lý từ 109⁰09' - 109⁰17' kinh độ Đông và 12⁰18' - 12⁰27' vĩ độ Bắc. Giữa đầm Nha Phu và vịnh Bình Cang được phân cách một cách tương đối bởi mặt cát đi ngang phân ngoài đảo Hòn Thị. Đầm Nha Phu nằm ở phía Tây Bắc của vùng nước, có dạng hình chữ nhật chạy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam, diện tích đầm lúc triều cao nhất khoảng 5.000 ha, lúc triều thấp nhất khoảng 3.000 ha, bãi triều rộng 1.500 ha, đầm ăn sâu vào đất liền được tạo thành bởi bán đảo Hòn Hèo ở phía Đông - Đông Bắc, hòn Hoài, hòn Vang ở phía Tây Bắc, phía Đông Nam là hòn Thị và hòn Sầm, cửa đầm rộng 3 km thông với vịnh Bình Cang. Đầm Nha Phu tương đối nông (độ sâu trung bình 1 - 2 m), hai bên thùy vực là các dãy núi cao (núi Hòn Hèo và Rọ Tượng) tạo cho đầm có độ kín và vì thế bị chi phối bởi gió địa phương rõ rệt. Xung quanh đầm được bao bọc bởi 4 xã: Ninh Phú, Ninh Hà, Ninh Lộc và Ninh Ích.



Hình 1. Sơ đồ độ sâu (m tính theo mức triều trung bình) vùng nghiên cứu



Hình 2. Sơ đồ mạng lưới tam giác cho tính toán dòng chảy (mô hình FEM)

Đối với mạng lưới phân tử hữu hạn: Khu vực nghiên cứu được chọn từ kinh độ 109,141⁰E đến 109,321⁰E; vĩ độ từ 12,125⁰N đến 12,462⁰N (hình 1), mạng lưới tính là mạng lưới tam giác (hình 2). Mạng lưới tính tam giác được thiết lập với góc cực tiêu là 25⁰; tổng diện tích mặt thoáng cho tính toán là 354,28 km². Số điểm tính trong mạng lưới tam giác là 7.421, với tổng số tam giác là 13.908. Diện tích tam giác của lưới tính có giá trị nhỏ nhất 4.714 m², trung bình 25.473 m², lớn nhất 39.999 m². Trong mạng lưới tính có 2 điểm tính cho Sông Dinh, 3 điểm tính cho sông Cái và 3 điểm tính cho sông Tắc.

Đối với mô hình ECOSMO: Vùng biển Nha Trang - Nha Phu, với trục Ox từ Bắc tới Nam (tức là theo vĩ độ từ 12⁰10,7'N đến 12⁰28,0'N với 135 điểm tính), trục Oy từ Tây sang Đông (theo kinh độ từ 109⁰08'E đến 109⁰20,2'E với 102 điểm tính). Bước lưới không gian theo tọa độ Đề-các

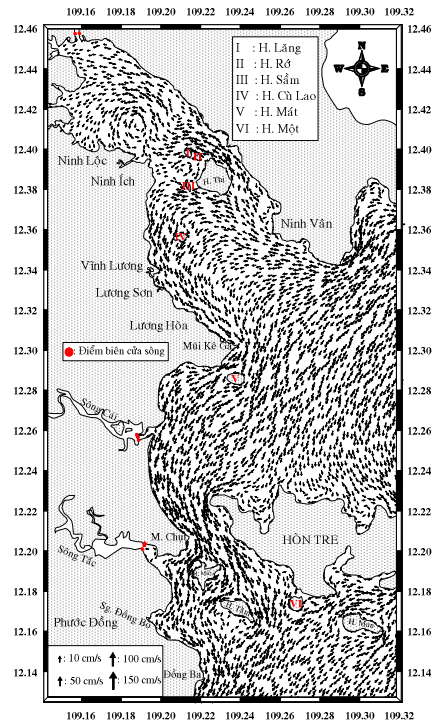
cụ thể là: $\Delta x = \Delta y = 250$ m. Trong mạng lưới tính có 2 điểm tính cho Sông Dinh, 1 điểm tính cho sông Cái và 3 điểm tính cho sông Tắc.

Theo phương thẳng đứng, vùng nghiên cứu được chia thành 11 lớp cho cả hai mô hình, cụ thể theo thứ tự các lớp: 0 m (tầng mặt), 1 m, 3 m, 5 m, 7 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m, 40 m. Báo cáo này tập trung vào phân tích kết quả mô phỏng dòng chảy theo mô hình FEM, còn mô hình ECOSMO được sử dụng để so sánh tìm ra tính khả dụng và tin cậy khi nghiên cứu chế độ dòng tại khu vực Bình Cang - Nha Trang.

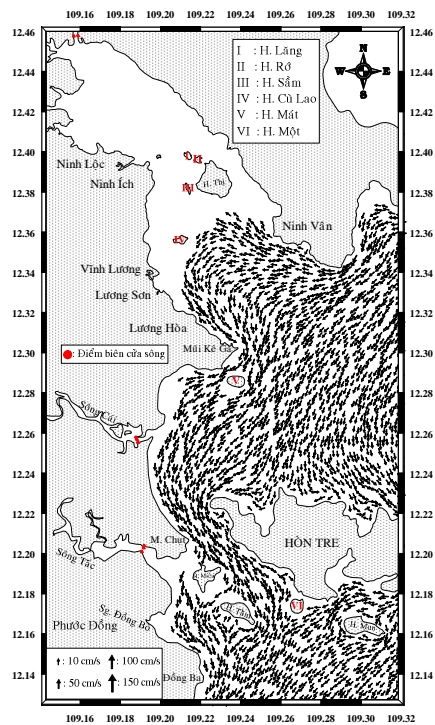
Cấu trúc dòng chảy cho hai trường gió mùa điển hình

Đối với trường gió mùa Đông Bắc

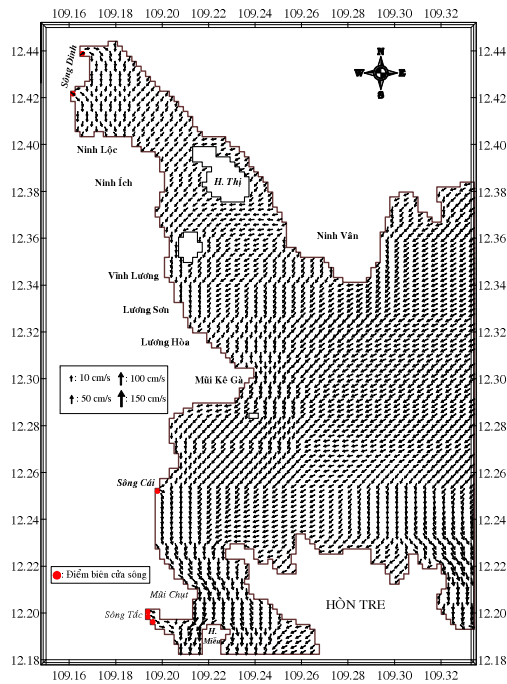
Theo tính toán thống kê trung bình từ tháng 12 năm trước đến tháng 2 năm sau trong giai đoạn từ 1996 đến tháng 10/2009, trong khu vực nghiên cứu thì tốc độ gió trung bình 9,3 m/s với hướng gió thịnh hành $204,9^{\circ}$ (để đánh giá được ảnh hưởng của gió lên chế độ dòng chảy được rõ ràng, bài báo này quy ước hướng gió theo quy ước hướng dòng chảy. Hướng dòng chảy theo hướng trục Bắc quay cùng chiều kim đồng hồ)), trong đó các phân bố độ lớn tốc độ gió trên các điểm nút tính là không đồng nhất. Theo kết quả tính thì trong mô hình ECOSMO có sự biến đổi nhanh tốc độ dòng theo profile độ sâu, các vị trí dòng ngang thay đổi nhanh và bất thường trong khi trong mô hình FEM (hình 3 cho tầng mặt và hình 4 cho tầng sâu 5 m) không thấy có sự thay đổi đột ngột theo độ sâu và xuất hiện các xoáy cục bộ phía trên đầm Nha Phu, tùy theo chế độ thời tiết (gió, trao đổi nước cửa sông, lượng mưa, ...) mà các xoáy này có hình dạng và phân bố khác nhau. Các kết quả này cần phải kiểm tra thêm từ số liệu thực đo tin cậy để có những câu trả lời đúng tại sao có những sự thay đổi đột ngột như vậy. Các kết quả tính theo FEM thì dòng chảy ngang cục đại thường nằm ở khu vực ven bờ nơi có độ sâu nhỏ, trong khi đó mô hình ECOSMO (hình 5 cho tầng mặt và hình 6 cho tầng sâu 5 m) thì hầu như không theo quy luật rõ ràng và tốc độ dòng thường cao hơn. So sánh 2 kết quả của mô hình so với thực tế được trình bày trên bảng 1 và bảng 2.



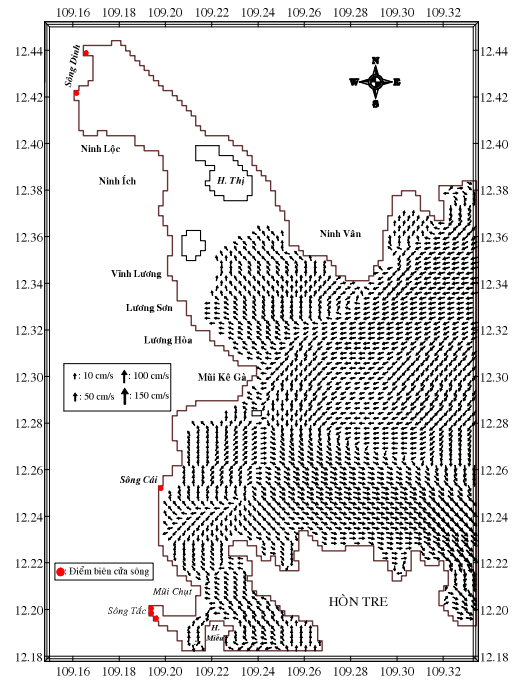
Hình 3. Phân bố dòng chảy tầng mặt vào mùa gió Đông Bắc (mô hình FEM)



Hình 4. Phân bố dòng chảy tầng 5m vào mùa gió Đông Bắc (mô hình FEM)



Hình 5. Phân bố dòng chảy tầng mặt vào mùa gió Đông Bắc (mô hình ECOSMO)



Hình 6. Phân bố dòng chảy tầng 5 m vào mùa gió Đông Bắc (mô hình ECOSMO)

Bảng 1. So sánh giá trị tính toán và đo đạc bằng máy đo dòng INFINITY-EM model: AEM - USB tại trạm liên tục (109^o14,750'E, 12^o23,246'N) vào ngày 2-3/11/2011 (điểm đo 1)

Tầng độ sâu (m)	Mô hình ECOSMO		Mô hình FEM		Giá trị thực đo		Mô hình ECOSMO		Mô hình FEM	
	U _{tt} (cm/s)	V _{tt} (cm/s)	U _{tt} (cm/s)	V _{tt} (cm/s)	U _{td} (cm/s)	V _{td} (cm/s)	U _{err} (%)	V _{err} (%)	U _{err} (%)	V _{err} (%)
1	0,3	-5,0	6,7	-30,6	7,6	-31,0	96,1	83,9	11,8	1,3
3	0,4	2,1	4,6	12,9	6,5	11,9	93,8	82,4	29,2	8,4
5	-0,1	0,6	-4,8	3,9	-8,2	5,72	98,8	89,5	41,5	31,8

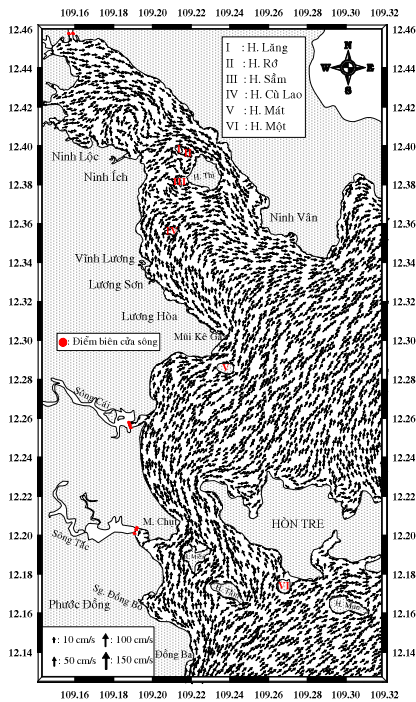
Ghi chú: U: tốc độ dòng theo phương từ Tây sang Đông (td: thực đo và tt: tính toán), V: tốc độ dòng theo phương từ Nam tới Bắc (td: thực đo và tt: tính toán), U_{err}: Sai số tương đối so với số liệu thực đo đối với U, V_{err}: Sai số tương đối so với số liệu thực đo đối với V. Với:

$$\begin{cases} U_{err} (\%) = |(U_{td} - U_{tt})/U_{td}| \times 100 \\ V_{err} (\%) = |(V_{td} - V_{tt})/V_{td}| \times 100 \end{cases}$$

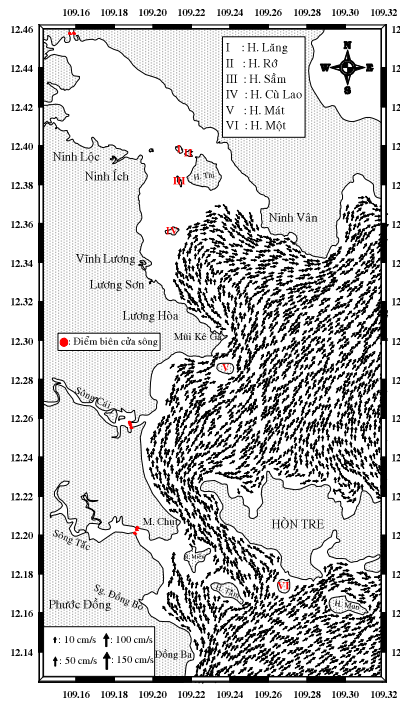
Bảng 2. So sánh giá trị tính toán và đo đạc bằng máy đo dòng INFINITY-EM model: AEM - USB tại trạm liên tục (109^o14,588'E, 12^o20,480'N), ngày 3-4/11/2011 (điểm đo 2)

Tầng độ sâu (m)	Mô hình ECOSMO		Mô hình FEM		Giá trị thực đo		Mô hình ECOSMO		Mô hình FEM	
	U _{tt} (cm/s)	V _{tt} (cm/s)	U _{tt} (cm/s)	V _{tt} (cm/s)	U _{td} (cm/s)	V _{td} (cm/s)	U _{err} (%)	V _{err} (%)	U _{err} (%)	V _{err} (%)
1	-5,0	-2,9	-4,5	-3,1	-6,05	-13,30	17,4	78,2	25,6	76,7
3	-8,5	-4,1	-21,5	-5,6	-20,74	-5,24	59,0	21,8	3,7	6,9
5	3,8	6,2	4,0	2,2	7,07	3,37	46,3	84,0	43,4	34,7
7	-0,1	-1,0	-3,5	-1,4	-2,66	-1,49	96,2	32,9	31,6	6,0
10	-1,0	-0,3	-3,0	-0,6	-4,83	-0,53	79,3	43,4	37,9	13,2

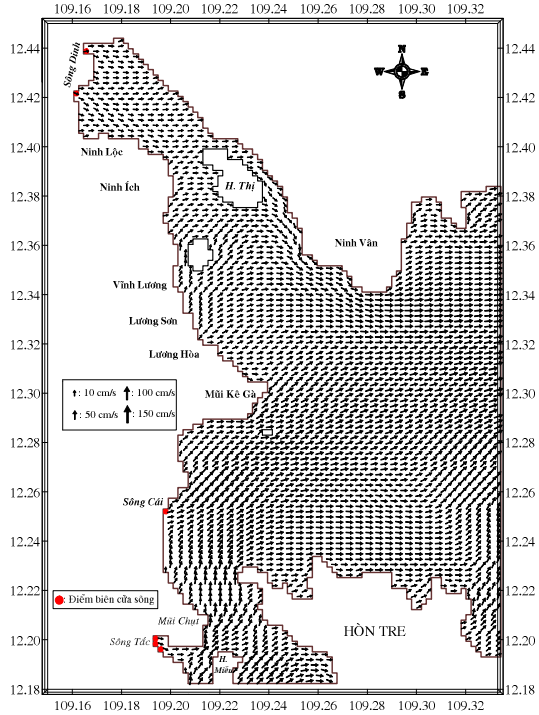
Đối với trường gió mùa Tây Nam



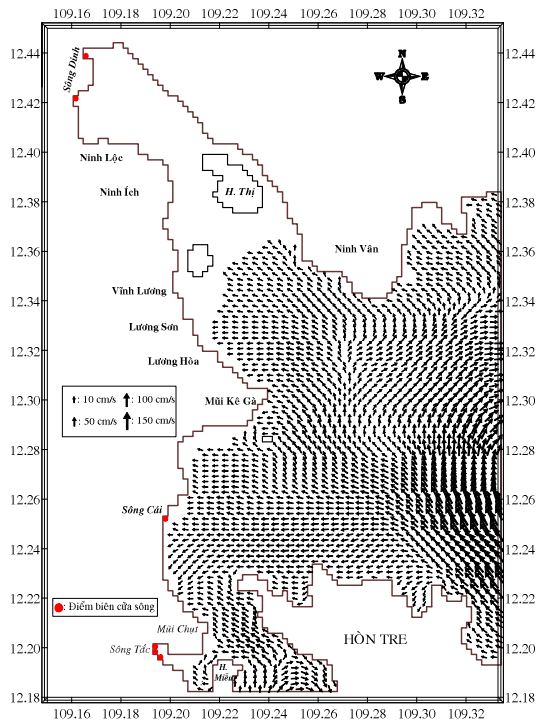
Hình 7. Phân bố dòng chảy tầng mặt vào mùa gió Tây Nam (mô hình FEM)



Hình 8. Phân bố dòng chảy tầng 5 m vào mùa gió Tây Nam (mô hình FEM)



Hình 9. Phân bố dòng chảy tầng mặt vào mùa gió Tây Nam (mô hình ECOSMO)



Hình 10. Phân bố dòng chảy tầng 5 m vào mùa gió Tây Nam (mô hình ECOSMO)

Bảng 3. So sánh giá trị tính toán và đo đạc bằng máy đo dòng INFINITY-EM model: AEM - USB tại trạm liên tục (109⁰14,750'E, 12⁰23,246'), ngày 13-14/5/2011 (điểm đo 1)

Tầng độ sâu (m)	Mô hình ECOSMO		Mô hình FEM		Giá trị thực đo		Mô hình ECOSMO		Mô hình FEM	
	Utt (cm/s)	Vtt (cm/s)	Utt (cm/s)	Vtt (cm/s)	Utd (cm/s)	Vtd (cm/s)	Uerr (%)	Verr (%)	Uerr (%)	Verr (%)
1	0,3	-1	4	-3,8	5,62	-3,76	94,7	73,4	28,8	1,1
3	-0,2	0,7	-1,2	5,8	-1,10	8,41	81,8	91,7	9,1	31,0
5	-0,1	0,6	-1,8	2,7	-1,78	1,85	94,4	67,6	1,1	45,9

Bảng 4. So sánh giá trị tính toán và đo đạc bằng máy đo dòng INFINITY-EM model: AEM - USB tại trạm liên tục (109⁰14,588'E, 12⁰20,480') vào ngày 12-13/5/2011 (điểm 2)

Tầng độ sâu (m)	Mô hình ECOSMO		Mô hình FEM		Giá trị thực đo		Mô hình ECOSMO		Mô hình FEM	
	Utt (cm/s)	Vtt (cm/s)	Utt (cm/s)	Vtt (cm/s)	Utd (cm/s)	Vtd (cm/s)	Uerr (%)	Verr (%)	Uerr (%)	Verr (%)
1	-2,3	-0,2	-2,5	-1,3	-3,79	-2,35	39,3	91,5	34,0	44,7
5	-4,1	-1,3	-2,7	-0,5	-8,48	-3,32	51,7	60,8	68,2	84,9
10	-0,1	-0,2	-3,0	-0,7	-2,51	-0,80	96	75	19,5	12,5

Theo tính toán thông kê gió trung bình trong nhiều năm từ tháng 6 đến tháng 8, thì trên toàn khu vực nghiên cứu, tốc độ gió cực đại có thể đạt 7,7 m/s, trung bình 7,5 m/s và cực tiểu 7,3 m/s, hướng gió dao động từ 33,8 đến 40,4⁰, trung bình là 36,7⁰. Theo mô phỏng phân bố dòng gió do ảnh hưởng của trường gió mùa Tây Nam thì tại tầng mặt, tốc độ dòng ngang đạt cực đại cao hơn tốc độ dòng vào gió mùa Đông Bắc (do ảnh hưởng vị trí địa lý và tính chất địa phương của khu vực nghiên cứu, trong ảnh hưởng trường gió Tây Nam lại thuận lợi cho quá trình lan truyền sóng dài qua các khoảng cách hẹp giữa các bờ và đảo). Đây là một điều khá hợp lý phù hợp với quy luật lan truyền sóng nước nông. Kết quả tính phân bố dòng chảy theo phương pháp FEM trên hình 7 cho tầng mặt và hình 8 cho tầng sâu 5 m và theo ECOSMO trên (hình 9 cho tầng mặt và hình 10 cho tầng sâu 5 m). So sánh kết quả tính bằng số liệu thực đo được thể hiện trên bảng 3 và bảng 4.

Một vài nhận xét từ kết quả tính

Từ kết quả phân tích dòng triều, với thể tích toàn vùng là 422.219.950 m³, quá trình làm sạch cho toàn vùng diễn ra khoảng **8,52** ngày. Theo tài liệu nghiên cứu của Barthel và công sự (2009) [21], thì sức tải (carrying capacity), được xác định bởi thời gian rửa (làm sạch - flushing times), với một khối lượng 0,541 km³ (tức là 541.000.000 m³) chỉ trong 4,5 ngày dựa trên các phân tích dòng triều. Một tính toán dựa trên các dòng dư (ảnh hưởng dòng triều trung bình) cho một thời gian xả nước là 5,1 ngày. Tuy nhiên, điều này cũng tương đối phù hợp do tính toán này dựa có độ phân giải lưới tính quá thưa 1,2 km (tính cho toàn vùng Khánh Hòa) và lưu lượng nước chảy ra từ sông Dinh khá lớn so với thực tế nghiên cứu của chúng tôi thể hiện trên bảng 5. Trong bảng 6, trình bày kết quả tính khả năng tự làm sạch theo trung bình tháng.

Bảng 5. Lưu lượng nước sông (m³/s) theo mô phỏng tại sông Dinh - Ninh Hòa

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Barthel và cs. (2009)	15	15	15	14	16	20	21	29	30	30	30	23
Sử dụng	4,08	2,33	2,10	1,76	2,58	2,89	2,46	2,27	4,23	9,45	14,65	11,02
Chênh lệch	10,9	12,7	12,9	12,2	13,4	17,1	18,5	26,7	25,8	20,6	15,4	12,00

Bảng 6. Khả năng làm sạch theo ngày do ảnh hưởng chế độ gió mùa theo tháng

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vùng I	3,90	3,36	3,19	3,75	2,64	1,99	1,46	2,31	1,07	3,15	3,31	3,08
Vùng II	9,26	8,68	7,33	8,77	7,45	6,84	6,73	6,69	6,53	8,49	8,9	8,88
Toàn vùng	9,99	9,41	8,06	9,50	8,18	7,57	7,46	7,42	7,26	9,22	9,62	9,61

THẢO LUẬN VỀ CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Các kết quả nghiên cứu trên 2 mô hình nhìn chung đã cho ta bức tranh dòng chảy khá phù hợp tại khu vực vịnh Bình Cang - Nha Trang. Tuy nhiên, từ những phân tích ở trên có thể thấy được ưu điểm của phương pháp phần tử hữu hạn cho các vùng nước nông nhỏ ven bờ, có cấu trúc địa hình phức tạp. Các dòng chảy tại dọc biên bờ và các đảo chắn tạo nên các xoáy cục bộ mang tính địa phương (tại đầm Nha Phu) đã được thể hiện khá rõ trong phương pháp này. Mặt khác, bằng việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, chúng ta có thể tìm ra các vị trí nhạy cảm mà có phân bố dòng chảy tương đối đặc biệt. Việc kiểm nghiệm tính đúng đắn của phương pháp phần tử hữu hạn với thực tế đo đạc sẽ giúp chúng ta hiệu chỉnh lại các thông số tính toán cần thiết, phục vụ tốt hơn cho việc mô phỏng dòng chảy trong vùng biển ven bờ.

Sự biến đổi theo tự nhiên - nhân tạo hình dạng đáy và bờ sông (do các hoạt động của con người, như xây dựng đập, ngăn mặn và phòng chống lũ lụt ...) đã ảnh hưởng đến số liệu đầu vào mô hình. Sự thay đổi này là nguyên nhân ảnh hưởng đến khả năng lưu thông, trao đổi dòng nước ngọt, sự phân tầng và thời gian lưu nước. Những thay đổi quá trình thủy động lực vùng cửa sông còn ảnh hưởng đến sự phân tán của các chất gây ô nhiễm có nguồn gốc từ các nguồn nước thải, trong đó đặc biệt quan trọng ở các cửa sông gần đô thị, các khu công nghiệp ... Vì vậy, sự hiểu biết về chế độ dòng chảy cửa sông, các biến đổi quá trình dòng chảy theo thời gian, quy mô thay đổi dòng chảy cửa sông là rất quan trọng. Nó góp phần quan trọng vào thành công hay thất bại của một mô hình sinh thái áp dụng cho thủy vực. Phương pháp phần tử hữu hạn có thể tính toán chế độ động lực, khả năng trao đổi nước của thủy vực nửa kín, thời gian lưu, khả năng tự làm sạch, phân tán nguồn

vật chất, ... sẽ khá hữu ích cho việc quy hoạch, quản lý, thiết kế, đánh giá tác động môi trường với các công trình ven bờ phục vụ du lịch, dân sinh, phát triển kinh tế xã hội tại các vùng có địa hình bờ đáy phức tạp mà một số phương pháp khác còn có những hạn chế.

Lời cảm ơn: Công trình này được thực hiện từ nguồn dữ liệu của đề tài cấp Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam (mã số VAST.07.04.11-12) do TS. Nguyễn Hữu Huân làm chủ nhiệm. Các tác giả chân thành cảm ơn chủ nhiệm đề tài, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, Viện Hải dương học đã tạo điều kiện thuận lợi về vật chất, động viên tinh thần trong quá trình triển khai nghiên cứu; cảm ơn đồng nghiệp các phòng: Vật lý biển, Sinh thái và môi trường biển và Trung tâm Dữ liệu biển - Viện Hải dương học đã tham gia khảo sát và cung cấp dữ liệu đề hoàn thành bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Bui Hong Long, Tran Van Chung, 2008.* Modelling material transport in North Danger Reef, the Spratlys, based on three - dimensional nonlinear finite element model for wind currents. Proceedings of the Results of the Philippines - Vietnam Joint Oceanographic and Marine Scientific Research Expedition in the South China Sea (JOMSRE I-IV). Silliman University Press, Dumaguete City 6200, p. 135 -149.
2. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2009.* Tính toán dòng chảy trong khu vực nước trời Nam Trung Bộ bằng mô hình dòng chảy ba chiều (3-D) phi tuyến. Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển, **9**(2): 1-25.
3. *Bui Hong Long, Tran Van Chung, 2010.* Some experimental calculation for 3D currents in the strong upwelling region of southern central Vietnam using finite element method. Proceedings of the

- International Conference Marine Biodiversity of East Asian Seas: Status, Challenges and Sustainable development. Nha Trang, Vietnam, 165-177.
4. Mellor, G. L., and Yamada, T., 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics*, **20**(4): 851-875.
 5. Blumberg, A. F., Galperin, B., and O'Connor, D. J., 1992. Modeling vertical structure of open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, **118**(8): 1119-1134.
 6. Gill, A. E., 1982. *Atmosphere-ocean dynamics* (Vol. 30). Academic press.
 7. Galperin, B., Kantha, L. H., Hassid, S., and Rosati, A., 1988. A quasi-equilibrium turbulent energy model for geophysical flows. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **45**(1): 55-62.
 8. Backhaus, J. O., 1982. A semi-implicit scheme for the shallow water equations for application to shelf sea modelling. *Continental Shelf Research*, **2**(4): 243-254.
 9. Backhaus, J. O., 1985. A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*, **38**(4): 165-187.
 10. Hainbucher, D., Pohlmann, T., and Backhaus, J., 1987. Transport of conservative passive tracers in the North Sea: first results of a circulation and transport model. *Continental Shelf Research*, **7**(10): 1161-1179.
 11. Schrum, C., 1994. Numerical simulation of thermodynamic processes in the German Bight. *Berichte aus dem Zentrum für Meeres-und Klimaforschung*, (15).
 12. Fanjul, E. A., Gómez, B. P., and Sánchez-Arévalo, I. R., 1997. A description of the tides in the Eastern North Atlantic. *Progress in Oceanography*, **40**(1): 217-244.
 13. Hainbucher, D., and Backhaus, J. O., 1999. Circulation of the eastern North Atlantic and north-west European continental shelf—a hydrodynamic modelling study. *Fisheries Oceanography*, **8**(Suppl. 1): 1-12.
 14. Harms, I. H., Backhaus, J. O., Hainbucher, D., 1999. Modelling the seasonal variability of circulation and hydrography in the Iceland-Faeroe-Shetland overflow area. *ICES CM 1999/L:10*, Annual Science Conference, 29 September to 2 October 1999, Stockholm, Sweden.
 15. Hainbucher, D., Hao, W., Pohlmann, T., Sündermann, J., and Feng, S., 2004. Variability of the Bohai Sea circulation based on model calculations. *Journal of marine systems*, **44**(3): 153-174.
 16. Pohlmann, T., 1996. Calculating the annual cycle of the vertical eddy viscosity in the North Sea with a three-dimensional baroclinic shelf sea circulation model. *Continental Shelf Research*, **16**(2): 147-161.
 17. Pohlmann, T., 2006. A meso-scale model of the central and southern North Sea: consequences of an improved resolution. *Continental Shelf Research*, **26**(19): 2367-2385.
 18. Simionato, C. G., Dragani, W., Meccia, V., and Nuñez, M., 2004. A numerical study of the barotropic circulation of the Río de la Plata estuary: sensitivity to bathymetry, the Earth's rotation and low frequency wind variability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **61**(2): 261-273.
 19. Ratsimandresy, A. W., Sotillo, M. G., Álvarez Fanjul, E., Carretero Albiach, J. C., Pérez Gómez, B., and Hajji, H., 2008. A 44-year (1958-2001) sea level residual hindcast over the Mediterranean Basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **33**(3): 250-259.
 20. Meccia, V. L., Simionato, C. G., Fiore, M. E., D'Onofrio, E. E., and Dragani, W. C., 2009. Sea surface height variability in the Río de la Plata estuary from synoptic to inter-annual scales: Results of numerical simulations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **85**(2): 327-343.
 21. Barthel, K., Rosland, R., and Thai, N. C., 2009. Modelling the circulation on the continental shelf of the province Khanh Hoa in Vietnam. *Journal of Marine Systems*, **77**(1): 89-113.
 22. Mayer, B., Damm, P. E., Pohlmann, T., and Rizal, S., 2010. What is driving the ITF?

- An illumination of the Indonesian throughflow with a numerical nested model system. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **50**(2): 301-312. doi:10.1016/j.dynatmoce.2010.03.002.
23. Kochergin, V. P., 1987. Three-Dimensional Prognostic Models. Three-dimensional coastal ocean models, 201-208.
24. Mellor, G. L., and Yamada, T., 1974. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **31**(7): 1791-1806.
25. Arakawa, A., and Lamb, V. R., 1977. Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. *Methods in computational physics*, 17, 173-265.
26. Moll, A., and Radach, G., 1998. Advective contributions to the heat balance of the German Bight (LV Elbe 1) and the central North Sea (OWS Famita). *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*, **50**(1): 9-31.
27. Trần Văn Chung, Nguyễn Hữu Huân, Bùi Hồng Long, Tô Duy Thái, 2011. Nghiên cứu đặc trưng dòng chảy, nhiệt muối vực nước Bình Cang - Nha Trang bằng mô hình Ecosmo. Hội nghị Khoa học và Công nghệ biển toàn quốc lần thứ V. Quyển 2: Khí tượng, thủy văn và động lực học biển. Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 205- 213.
28. Đài khí tượng thủy văn khu vực Nam Trung Bộ, 2004. Đặc điểm khí hậu và thủy văn tỉnh Khánh Hòa. Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Khánh Hòa, 155.

HYDRODYNAMICAL CHARACTERISTICS OF BINH CANG - NHA TRANG WATERS FROM MODELS: FEM AND ECOSMO

Tran Van Chung, Bui Hong Long

Institute of Oceanography-VAST

ABSTRACT: *This paper has focused on the hydro-dynamical characteristics of Binh Cang - Nha Trang waters from 2 models: ECOSMO (finite difference) and FEM (finite element) based on the last observed data of the VAST's project, code: VAST 07. 04/11-12. The seasonal currents simulated by FEM showed the existence of local eddies in the top of Nha Phu lagoon. Meanwhile, they have not been detected by ECOSMO (because the best stabilization of ECOSMO is achieved for the minimum depth of 2.0 meters). In addition, the spatial distances from the mesh grids of finite difference have had restrictions for modelling current regimes at coastal borders, islands, reefs, etc., as well as in the cases that the particular representation of local characteristics of small space configurations (the mouth of small rivers with complicated topography) is required. In this paper, some calculated results about self-cleaning capabilities (water exchange, residential water ...) of researched water body have been presented.*

Keywords: *Tidal current, three-dimensional (3D) nonlinear model, finite difference method.*