

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG MODULE TÍNH ỨNG SUẤT TÁN XẠ SÓNG PHỤC VỤ TÍNH TOÁN SỰ XUẤT HIỆN DÒNG RIP VÙNG VEN BỜ

RESEARCH ON ESTABLISHING ARADIATION STRESS MODULE TO CALCULATE APPEARANCE OF RIP CURRENT IN COASTAL AREAS

Trần Thị Kim¹, Trà Nguyễn Quỳnh Nga², Nguyễn Thị Bảy²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh; ttkim@hcmunre.edu.vn

²Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh;
quynhnaga912@gmail.com, nguyentbay@gmail.com

Tóm tắt - Dòng rip (Rip current) là một dạng dòng chảy đặc biệt được hình thành trong vùng sóng đổ ven bờ. Dòng rip là dòng chảy mạnh, hẹp và có xu hướng tách bờ, cơ chế hình thành của nó có sự liên quan mật thiết với các dạng địa hình bờ, đáy biển và các đặc trưng của trường sóng tới tác động. Trong bài báo này, nhóm tác giả xây dựng mô-đun tính ứng suất tán xạ sóng (radiation stress) dựa trên lý thuyết động lực học dòng Rip của Longuet-Higgins M. S. và Stewart R. W (1964). Mô-đun này có tên gọi là RS (Radiation Stress) được kết nối với mô hình thủy lực HYDIST để tính toán sự xuất hiện của dòng Rip ven bờ. Các kết quả tính ứng suất tán xạ sóng từ mô-đun RS tương đối phù hợp với các kết quả tính từ Mike 21 NSW. Đây là tiền đề để phát triển hoàn chỉnh bộ phần mềm của Việt Nam phục vụ tính toán dòng Rip.

Từ khóa - dòng Rip; mô-đun RS; HYDIST-RC; ứng suất tán xạ; mô hình thủy động lực.

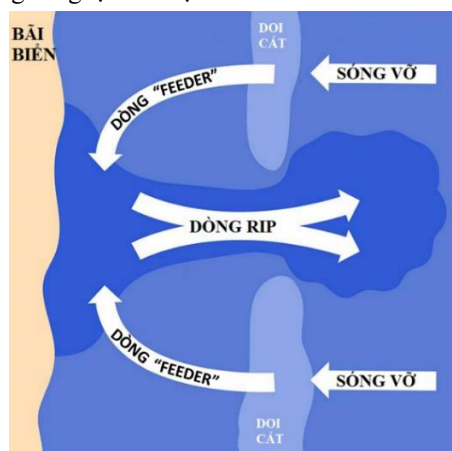
Abstract - A rip current, often simply called a rip, is a specific kind of water current which can occur near beaches with breaking waves. A rip is a strong, localized, and narrow current of water, which moves directly away from the shore, and its formation mechanism is closely related to shoreline, bathymetry and wave field characteristics. In this paper, the authors establish a radiation stress module based on the rip dynamic theory developed by Longuet-Higgins M.S. & Stewart R.W (1964), called RS (Radiation stress). The module is connected to the HYDIST model to calculate the occurrence of the rip current. The RS module yields relatively consistent results with the Mike 21 NSW results, which is a precondition for developing Vietnam software to calculate Rip current.

Key words - Rip current; RS module; HYDIST-RC; radiation stress; hydro-dynamic model.

1. Giới thiệu

Dòng Rip (Rip current) là dạng dòng chảy ven theo bờ biển và hướng ra khơi, xảy ra trong phạm vi sóng đổ trở vào bờ, luồng dòng Rip khá mạnh, hẹp (<30 m), dài khoảng 100 – 150 m vuông góc với bờ. Thông thường cấu trúc dòng chảy được tạo thành từ sự bức ngang với luồng chảy song song dọc bờ, nên người ta còn gọi nó là dòng rút, hay dòng ao xoáy... Theo Bowen [1, 2], dòng Rip được định nghĩa là dòng chảy hẹp, mạnh di chuyển ra phía biển qua khu vực sóng vỡ, còn theo Shepard và Inman [3] thì dòng Rip là một hệ thống hoàn lưu gần bờ.

Dòng Rip được hình thành do tổng hợp nhiều yếu tố như địa hình, sóng, gió... trong đó yếu tố dễ nhận thấy nhất là địa hình đáy (nơi có một lạch sâu nằm giữa hai bãi cát) và trường sóng tại khu vực ven bờ.



Hình 1. Cơ chế hình thành dòng Rip

Lý thuyết động lực học dòng Rip về cơ bản được xây dựng trên khái niệm của Longuet-Higgins M. S. và Stewart R. W [4] về sự thay đổi ứng suất tán xạ sóng (radiation stress) theo không gian – một loại dòng động lượng vượt trội (excess flow of momentum). Sự chênh lệch ứng suất tán xạ sóng tạo nên chênh lệch độ cao mặt nước biển ven bờ, trong đó có nơi mặt nước dâng cao hơn bình thường (set-up) và nơi có mặt nước giáng thấp (set-down). Sự chênh lệch này tạo nên dòng chảy từ khu vực “set-up” đến khu vực “set-down”. Cơ chế này là cơ chế cấu tạo dòng do sóng, dòng chảy do sóng xuất hiện trong vùng có địa hình phù hợp có dạng chảy vòng ngược lại, tại những điểm giao của dòng nghịch chiều sẽ xuất hiện dòng “feeder”, chảy dọc bờ, và theo rãnh hẹp, sâu mà tách bờ chảy ra xa tạo thành dòng Rip (Hình1).

Bài toán tính dòng Rip là bài toán thủy lực dưới tác động của sóng gió trong vùng bờ biển có địa hình tương thích. Sự thay đổi ứng suất tán xạ sóng vùng ven bờ kết hợp với địa hình đặc biệt và sự xuất hiện dòng Rip có quan hệ chặt chẽ và tác động qua lại với nhau. Dòng Rip xuất hiện càng làm cho các rãnh ngầm giữa các bãi cát sâu hơn, tạo nên địa hình càng thích hợp hơn cho dòng Rip dễ dàng phát triển. Kết hợp với sự thay đổi của yếu tố sóng gió theo mùa, càng làm cho địa hình đáy vùng ven bờ dịch chuyển, kéo theo sự dịch chuyển của vị trí dòng Rip.

Trong nghiên cứu này, các tác giả trình bày tổng quan lý thuyết xây dựng mô-đun RS tính ứng suất tán xạ sóng – yếu tố gây tác động nhiều nhất đến sự hình thành dòng Rip, kết quả tính toán từ mô-đun này là đầu vào cho mô hình HYDIST-RC [8] để tính sự xuất hiện dòng Rip cố định tại một vùng của bờ biển Nha Trang thuộc tỉnh Khánh Hòa.

2. Xây dựng mô-đun RS tính ứng suất tán xạ sóng

2.1. Cơ sở lý thuyết sóng

Phương trình cơ bản trong tính sóng là phương trình cân bằng tác động sóng được xây dựng cho cả hệ tọa độ Descartes và hệ tọa độ cầu [5, 6].

Trong hệ tọa độ Descartes nằm ngang, phương trình bảo toàn động lượng sóng được viết như sau:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

Trong đó:

$N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$: mật độ ảnh hưởng;

$\vec{x}(x, y)$: tọa độ Descartes;

σ : tần số góc tương đối, $\sigma = 2\pi f$;

θ : hướng sóng;

t : thời gian;

∇ : toán tử vi phân bốn chiều trong không gian $\vec{x}$, σ và θ ;

S : số hạng gốc của phương trình cân bằng năng lượng;

$S = S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf}$;

S_{nl} : năng lượng sóng do gió;

S_{ds} : năng lượng phân tán do sóng bạc đầu;

S_{bot} : năng lượng hao mòn do ma sát đáy;

S_{surf} : năng lượng phân tán do sóng vỡ.

$\vec{v}(c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$: vận tốc truyền của nhóm sóng trong không gian 4 chiều được tính theo công thức (2), (3), và (4):

$$(c_x c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \quad (2)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial t} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla_x d \right] - c_g \vec{k} \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \quad (3)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right] \quad (4)$$

Trong đó:

s là tọa độ không gian trong hướng sóng θ , m là tọa độ vuông góc với s .

∇_x là toán tử vi phân 2 chiều trong không gian $\vec{x}$;

$\vec{c}_g$ là độ lớn của vận tốc nhóm sóng;

$\vec{U}$ là véc-tơ vận tốc dòng chảy trung bình theo độ sâu;

d là độ sâu mực nước;

k là số sóng.

Ứng suất tán xạ sóng (S_{xx} , S_{yy} , S_{xy}) là lực mặt biểu thị sự vận chuyển động năng qua một bề mặt. Chỉ số đầu tiên trong ký hiệu của ứng suất tán xạ sóng biểu thị hướng vận chuyển của động năng (hướng theo phương x hoặc phương y) và chỉ số thứ hai ký hiệu thành phần của nó trên từng phương (x hoặc y), đơn vị là N/m.

Công thức tính ứng suất tán xạ sóng được tính theo công thức (5), (6) và (7) [4]:

$$S_{xx} = E \left(\left(\frac{kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} \right) \cos^2 \theta + \frac{kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (5)$$

$$S_{yy} = E \left(\left(\frac{kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} \right) \sin^2 \theta + \frac{kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (6)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = E \left(\left(\frac{kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} \right) \sin \theta \cos \theta \right) \quad (7)$$

Trong đó:

θ : Góc sóng tới;

E : Năng lượng sóng, $E = \frac{1}{8} \rho g H^2$;

H : Chiều cao sóng (m);

k : Số sóng;

h : Giá trị độ sâu tại vị trí tính (m).

Mối quan hệ giữa tần số góc và số sóng σ được tính theo công thức (8):

$$\sigma^2 = gk \tanh(kh) \quad (8)$$

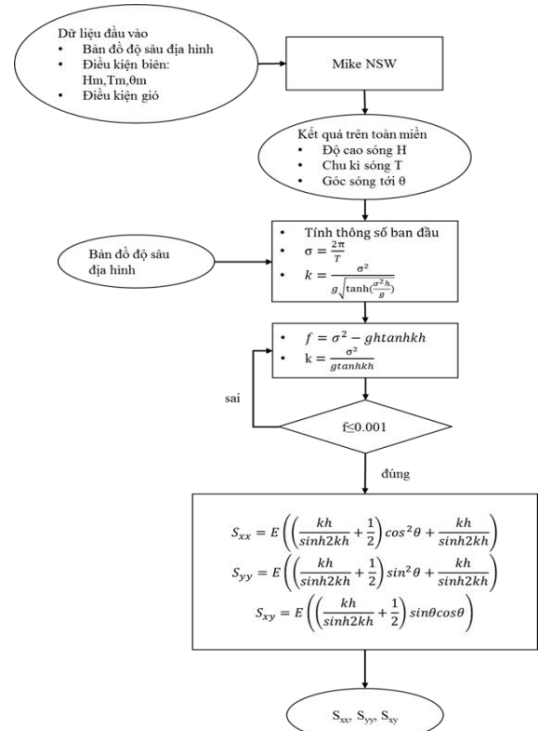
2.2. Sơ đồ tính ứng suất tán xạ sóng của mô-đun RS

Ứng suất tán xạ sóng được tính từ các dữ liệu ban đầu gồm:

- (1) Bản đồ độ sâu địa hình;
- (2) Dữ liệu gió đầu vào: vận tốc gió, hướng gió;
- (3) Dữ liệu thông số ma sát đáy, hệ số nhớt rối ngang.

Các thông số ban đầu về số sóng và hướng sóng được tính bằng các phương trình tính toán phổ STWAVE với các đặc trưng về độ cao sóng, chu kỳ sóng và góc sóng (nhờ mô hình Mike 21 NSW) và bản đồ địa hình [7]. Sau đó, ứng suất tán xạ sóng (S_{xx} , S_{yy} , S_{xy}) được tính theo (5), (6) và (7).

Sơ đồ tính được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ tính ứng suất tán xạ sóng của mô-đun RS

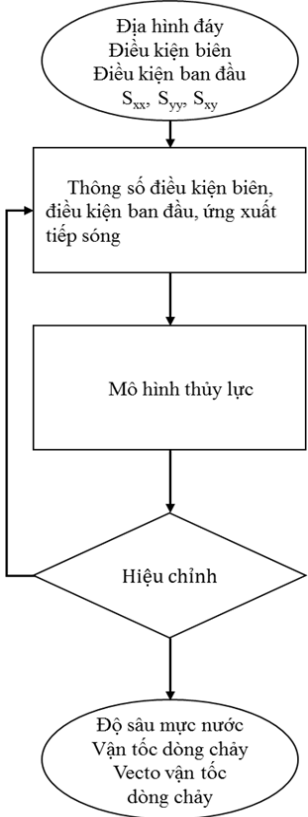
2.3. Mô hình tính dòng Rip HYDIST-RC

Mô-đun RS sau khi được xây dựng làm đầu vào cho mô hình tính dòng Rip HYDIST-RC [8] và được ứng dụng để tính toán dòng Rip.

Điều kiện đầu vào cho mô hình gồm: Địa hình đáy, điều kiện biên, điều kiện ban đầu và ứng suất tán xạ sóng (S_{xx} , S_{yy} , S_{xy}).

Sơ đồ tính dòng Rip của mô hình HYDIST-RC được

trình bày trong Hình 3. Trong khung tính toán này, mô hình MIKE 21 NSW sẽ được ứng dụng để tính toán độ cao sóng, chu kỳ sóng và góc sóng tới.



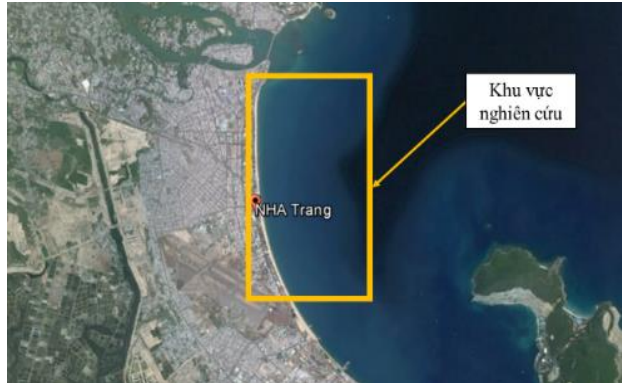
Hình 3. Sơ đồ tính toán dòng Rip của mô hình HYDIST-RC

3. Kiểm tra mô hình

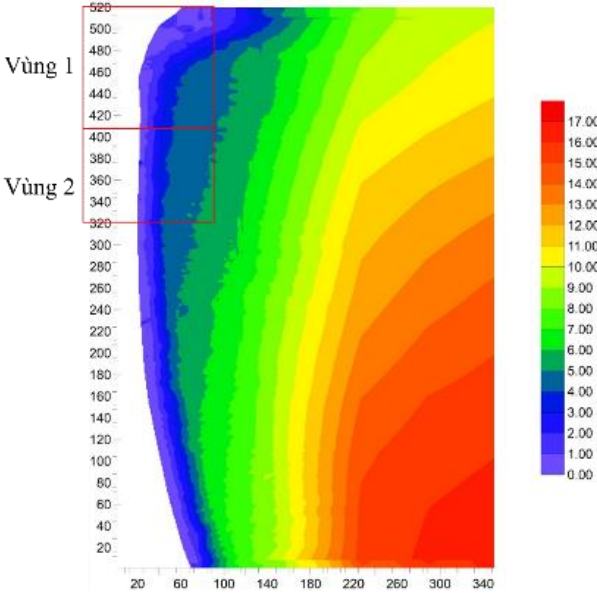
3.1. Chọn vùng tính kiểm tra mô hình

Khu vực áp dụng tính toán dòng Rip là khu vực bãi biển Nha Trang, khu vực có số lượng du khách trong và ngoài nước đến tắm biển rất đông, không những vào mùa hè mà còn vào cả mùa đông. Tuy nhiên, khu vực này bị ảnh hưởng của dòng Rip do đáy biển Nha Trang có độ dốc tương đối lớn [7], nên khi sóng tác động mạnh vào bờ, bãi biển thường bị xói, tạo thành các rãnh sâu trên bãi biển, còn lượng cát do sóng bào mòn đã được mang ra biển, sau đó bồi lắng, tạo thành những bar cát ngầm tồn tại tương đối xa bờ.

Vị trí khu vực tính toán như trên Hình 4 và địa hình đáy như trên Hình 5.



Hình 4. Bãi tắm Nha Trang (nguồn Google Earth)



Nguồn: Viện Hải dương học Nha Trang, 2012

Hình 5. Bản đồ địa hình đáy khu vực bãi tắm Nha Trang

3.2. Kiểm tra các kết quả tính ứng suất tán xạ sóng từ mô-đun RS

Trong phần này, để kiểm tra tính đúng của mô hình tính ứng suất tán xạ sóng, nhóm tác giả đã sử dụng các kết quả tính được từ mô-đun Mike 21 NSW [7] để so sánh.

Thông số đầu vào mô hình toán tính ứng suất tán xạ sóng bao gồm:

- Trường độ cao sóng H_m (m);
- Trường chu kỳ sóng T_m (s);
- Trường hướng sóng θ_m (độ);
- Độ sâu địa hình đáy.

Các dữ liệu này được lấy từ Mike 21 NSW.

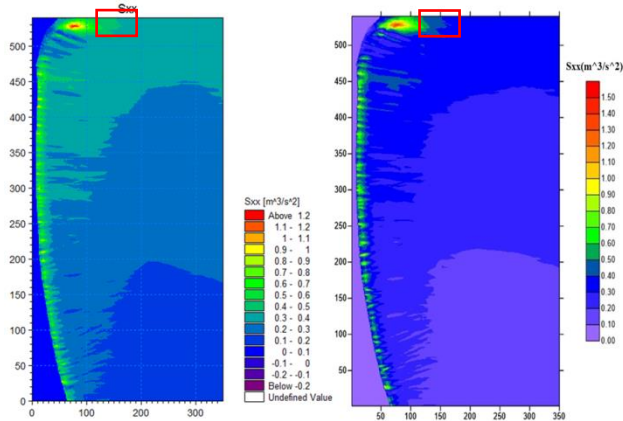
Thông số đầu vào mô-đun Mike 21 NSW được trình bày trong Bảng 1:

Bảng 1. Thông số đầu vào mô-đun Mike 21 NSW

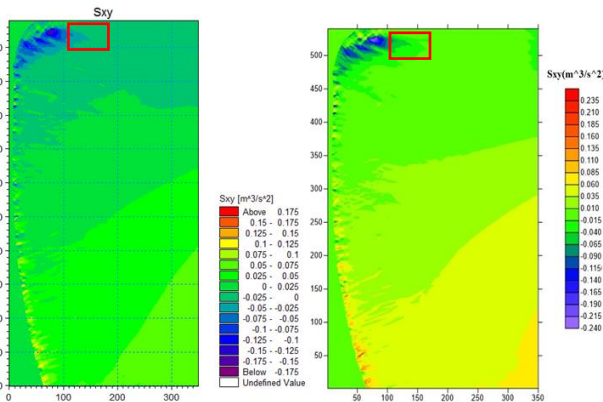
Hạng mục	Thông số chọn lựa
Phương trình cơ bản	- Công thức phổ: công thức tham số tách hướng. - Công thức thời gian: không đổi theo thời gian.
Điều kiện mực nước	- Lấy theo điều kiện ban đầu: mực nước chuẩn bằng 0.
Điều kiện dòng chảy	- Lấy theo điều kiện ban đầu không có dòng chảy.
Điều kiện gió đầu vào	Được lấy dưới dạng hằng số: - Vận tốc gió: 12m/s - Hướng gió: Hướng Đông (90°)
Điều kiện ban đầu	Được lấy theo điều kiện ban đầu phổ sóng JONSWAP.
Điều kiện biên	- Chiều cao sóng ngoài khơi (H_{m0}): 1,5 m. - Chu kỳ sóng (T_p): 7s. - Hướng sóng: Hướng Đông (90°).

So sánh các kết quả tính toán trường ứng suất tán xạ sóng từ mô-đun RS và Mike 21 NSW ta thấy các kết quả tính toán khá phù hợp. Kết quả tính toán S_{xx} , S_{xy} , S_{yy} có giá trị gần như bằng nhau, diễn hình tại vị trí được chú thích ở Hình 6, giá trị tính toán từ hai mô hình cho thấy S_{xx} đều lớn hơn 1,2 m³/m², tại Hình 7, giá trị S_{xy} đều lớn hơn 0,2 m³/m²

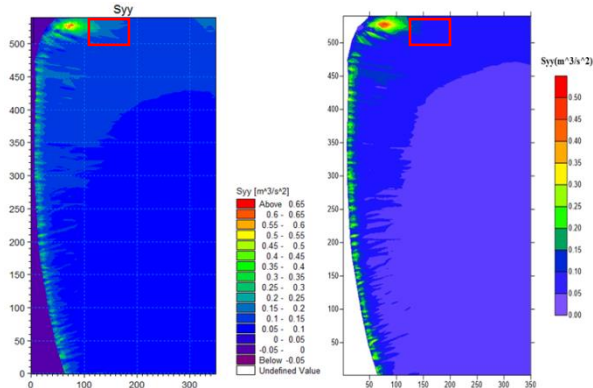
và S_{yy} có giá trị lớn hơn $0,65 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Hình 8) khi sử dụng cả hai mô hình. Hình 6, 7 và 8 trình bày kết quả tính toán trường ứng suất tán xạ sóng (S_{xx} , S_{xy} , S_{yy}) từ mô-đun RS và Mike 21 NSW.



Hình 6. Kết quả tính toán trường ứng suất tán xạ sóng (S_{xx}) từ Mike 21 NSW (trái) và mô-đun RS (phải)



Hình 7. Kết quả tính toán trường ứng suất tán xạ sóng (S_{xy}) từ Mike 21 NSW (trái) và mô-đun RS (phải)



Hình 8. Kết quả tính toán trường ứng suất tán xạ sóng (S_{yy}) từ Mike 21 NSW (trái) và mô-đun RS (phải)

3.3. Kết quả tính dòng Rip từ mô hình HYDIST – RC và thảo luận

Các thông số đầu vào để so sánh kết quả tính toán [7] gồm:

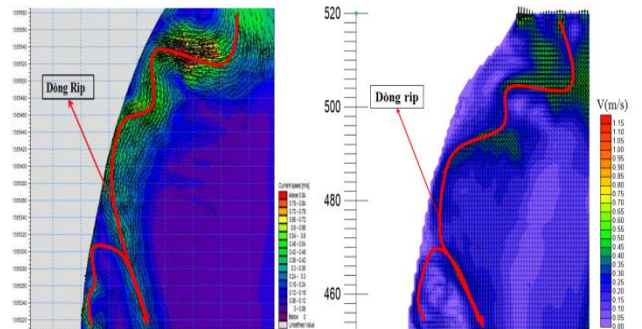
- Địa hình đáy khu vực biển Nha Trang.
- Ứng suất tán xạ sóng: được tính với các thông số trình bày trong Bảng 1 với hướng gió là hướng Đông, vận tốc 12 m/s; chu kỳ sóng T_m 7s; chiều cao sóng H_m 1,5 m.

Bảng 2. Thông số đầu vào mô-đun HYDIST-RS

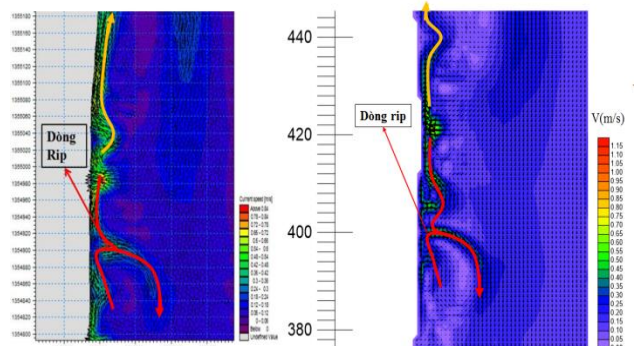
Hạng mục	Thông số chọn lựa
Bước thời gian	0,25 s
Thời gian chạy	4 giờ
Điều kiện dòng chảy	Lấy theo điều kiện ban đầu không có dòng chảy
Độ nhớt rối	Được lấy dưới dạng hằng số: 5
Ma sát đáy	Tính theo công thức Manning Giá trị hằng số: hệ số nhám Manning = 0,03125
Điều kiện sóng	Ứng suất tán xạ sóng theo lý thuyết Được lấy dưới dạng hằng số trong các trường hợp gió được tính trong mô-đun tính ứng suất tán xạ.
Điều kiện ban đầu	Mức nước ban đầu bằng 0 Vận tốc dòng chảy (u, v) trên toàn miền bằng 0
Điều kiện biên	Dao động mực nước tại các biên được lấy bằng 0

Kết quả được phân tích tại vùng 1 (Hình 9) và vùng 2 (Hình 10) (vị trí vùng 1 và vùng 2 được thể hiện như trong Hình 5). Dựa vào Hình 9 và Hình 10, ta thấy rằng:

- Kết quả vị trí xuất hiện và cấu tạo dòng Rip cũng khá tương đồng.
- Về vận tốc, kết quả tính toán cũng không chênh lệch nhiều về giá trị, cụ thể, ở vùng 1, dòng Rip chảy ra với vận tốc từ 0,2 – 0,4 m/s từ bờ ra khơi; ở vùng 2, vận tốc cũng ở khoảng 0,2 – 0,4 m/s.



Hình 9. Kết quả tính toán dòng Rip từ mô hình Mike 21 NSW (trái) và mô hình HYDIST-RS (phải) tại vùng 1



Hình 10. Kết quả tính toán dòng Rip từ mô hình HYDIST-RS (phải) và Mike 21 NSW (trái) tại vùng 2

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được và kiểm tra kết quả mô-đun tính toán trường ứng suất tán xạ sóng RS, đây là dữ liệu đầu vào cho mô hình tính toán sự xuất hiện dòng Rip.

Sau khi thiết lập mô-đun và tích hợp với mô hình

HYDIST-RC, nhóm tác giả đã kiểm chứng sự xuất hiện dòng Rip ở khu vực Nha Trang. Kết quả cho thấy vị trí, cấu tạo dòng cũng như vận tốc dòng của mô hình HYDIST-RC khá tương đồng với kết quả được tính từ mô hình Mike 21 NSW.

Tuy nhiên, mô hình RS còn cần có sự trợ giúp tính toán (tính toán chiều cao sóng, chu kỳ sóng, góc sóng tới) từ phần mềm Mike 21 NSW. Trong thời gian tới, các tác giả sẽ phát triển tiếp mô-đun tính chiều cao sóng, chu kỳ sóng, và hướng sóng, và tích hợp toàn bộ vào mô hình HYDIST-RC nhằm hoàn thiện một mô hình tính toán sự xuất hiện dòng Rip “made in Vietnam”.

Trong tương lai, các tác giả cũng sẽ nghiên cứu phát triển thêm mô hình để tính toán được sự di chuyển của dòng Rip ven bờ.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG TP.HCM) trong khuôn khổ đề tài “Nghiên cứu xây dựng mô hình toán tính sự xuất hiện dòng Rip ven bờ biển” mã số C2017-20-30. Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bowen, A. J., “Theoretical Investigations of Rip Current 1, *J. Geophys. Res.*, 74, 1969, pp. 5467-5478.
- [2] Bowen, A. J., and D. L. Inman., “Laboratory and Field Observations of Rip Current 2”, *J. Geophys. Res.*, 1969, 74, pp. 5479-5490.
- [3] Shepard, F.P., and D.L. Inman., “Nearshore Water Circulation Related to Bottom Topography and Wave Refraction”, *Trans. Amer. Geophys. Union*, Vol. 31, 1950, pp. 196-212.
- [4] Longuet-Higgins M. S. & Stewart R. W., “Radiation Stresses in Water Waves: A Physical discussion, with Applications”, *Deep-Sea Research*, Vol. II, 1964, pp. 529-562.
- [5] Komen, G. J, Cavaleri, L., Donelan. M., Hasselmann, K. Hasselmann, S. & Janssen, P. A. E. M., *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*, Cambridge University Press, 1994, 532 pages.
- [6] Young, I. R., Hasselmann, S. & Hasselmann, K., “Computations of the response of a wave spectrum to a sudden change in the wind direction”, *J. Phys. Oceanogr.*, 17(9), 1987, pp. 1317-1338.
- [7] Nguyễn Kỳ Phùng, Ngô Nam Thịnh, *Nghiên cứu tính toán dòng Rip (Rip current) khu vực Nha Trang*, Phân viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường phía Nam, 2012.
- [8] Nguyễn Thị Bảy, Đỗ Thị Hạ Thanh, Trần Thị Kim, Nguyễn Kỳ Phùng, “Nghiên cứu sự xuất hiện dòng Rip ven bờ bằng mô hình toán số”, *Tạp chí Tài nguyên Nước*, Số 9/2015, trang 64-69.

(BBT nhận bài: 15/5/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 20/6/2018)