

ĐẶC ĐIỂM TRƯỜNG DÒNG CHẢY TRONG MÙA GIÓ TÂY NAM MỘT SỐ BÃI CÁT KHU VỰC QUẦN ĐẢO CÁT BÀ

CHARACTERISTICS OF HYDRODYNAMIC CURRENT FIELDS DURING THE SOUTHWEST MONSOON SEASON AT SELECTED SANDY BEACHES IN THE CAT BA ARCHIPELAGO

ĐỖ VĂN CƯỜNG^{1*}, TRẦN ANH TÚ², VŨ CÔNG HỮU³, TRẦN TÙNG DƯƠNG³

¹Khoa Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

²Viện Khoa học Công nghệ Năng lượng và Môi trường (VAST)

³Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

*Email liên hệ: dovancuong@vimaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.782>

Tóm tắt

Quần đảo Cát Bà thuộc thành phố Hải Phòng, có khoảng 100 bãi cát mang tiềm năng lớn cho du lịch biển và nghỉ dưỡng. Chế độ động lực của các bãi này khá phức tạp, đặc biệt là các trường dòng chảy. Dòng chảy tách bờ (rip current) hay còn gọi là dòng chảy xiết tạo thành các kênh hẹp có hướng ra khơi. Với hình thái và vận tốc lớn hơn 0,5m/s, dòng chảy xiết có thể kéo người đang tắm trên bãi biển ra khơi hơn 150m chỉ trong 1 phút. Bài báo này đã sử dụng mô hình MIKE21 để đánh giá đặc điểm trường dòng chảy của các bãi Cát Cò I, Cát Cò III và bãi Tùng Thu thuộc quần đảo Cát Bà. Vào mùa gió Tây Nam, khu vực các bãi nghiên cứu thường không xuất hiện dòng chảy xiết và các xoáy ven bờ trong các pha triều của kỳ triều cường. Tuy nhiên, do đặc trưng hình thái bờ biển nên hai phía Bắc và Nam bãi có dòng chảy xiết dọc bờ có thể đạt tốc độ lớn. Vào những lúc thời tiết cực đoan các bãi Cát Cò I, Cát Cò III và bãi Tùng Thu có tiềm năng xuất hiện dòng chảy xiết (vận tốc dòng chảy trên 50cm/s). Hiện tượng này sẽ gây nguy hiểm cho khách tắm biển và mất cân bằng bãi do góp phần xói lở bãi.

Từ khóa: Dòng chảy, bãi cát, Cát Bà, tốc độ, mùa gió Tây Nam.

Abstract

The Cat Ba Archipelago, located in Hai Phong City, encompasses 100 sandy beaches with high potential for marine tourism and recreation. The hydrodynamic regime of these beaches is relatively complex, particularly with respect to coastal current fields. Rip currents, also referred

to as strong seaward flows, are narrow channels of concentrated water moving offshore. With their morphology and velocities exceeding 0.5m/s, rip currents can pull swimmers more than 150m seaward within just one minute. This study applied the MIKE 21 model to assess the characteristics of current fields at Cat Co I, Cat Co III, and Tung Thu beaches in the Cat Ba Archipelago. During the Southwest monsoon season, rip currents and nearshore eddies were generally absent under spring tide conditions. However, due to the specific coastal morphology, strong alongshore currents were observed at the northern and southern flanks of the beaches. Under extreme weather events, rip currents with velocities greater than 50cm/s are likely to develop at Cat Co I, Cat Co III, and Tung Thu beaches. Such occurrences pose serious hazards to swimmers and contribute to beach instability by accelerating shoreline erosion.

Keywords: Current, sandy beaches, Cat Ba, speed, southwest monsoon season.

1. Đặt vấn đề

Quần đảo Cát Bà-thuộc địa phận thành phố Hải Phòng-hình thành từ khu vực núi đá vôi bị phong hóa karst mạnh trong giai đoạn lục địa, sau đó bị biển tiến cuối cùng sau kỷ băng hà làm ngập. Khu vực này hiện có giá trị cao về phát triển kinh tế - xã hội, đặc biệt nổi bật với tiềm năng du lịch đa dạng nhờ cảnh quan thiên nhiên đặc sắc. Theo các nghiên cứu [1, 2, 3, 4], toàn quần đảo ghi nhận khoảng 100 bãi cát khác nhau.

Cơ chế động lực tại các bãi này tương đối phức tạp, trong đó các hệ thống dòng chảy đóng vai trò chi phối chính. Dòng chảy ven bờ gồm hai thành phần cơ bản:

Dòng chảy ngang bờ và dòng chảy dọc bờ. Thành phần ngang bờ được tạo bởi dòng nước hướng vào bờ do sóng tác động và dòng bù trừ chảy ngược hướng truyền sóng ra ngoài khơi [5].

Một hiện tượng đáng chú ý là dòng chảy tách bờ (rip current), hay còn gọi là dòng chảy xiết [6], thường hình thành các dải hẹp có hướng ra biển. Dòng chảy này xuất hiện trong vùng sóng đổ, là kết quả của quá trình cường bức ngang giữa các dòng chảy song song dọc bờ, có chiều rộng khoảng 15-30 (m) và vận tốc dao động từ 0,5 - 2,5 (m/s). Với đặc tính vận tốc mạnh và tập trung như vậy, dòng chảy xiết có khả năng cuốn trôi người tắm ra xa bờ hơn 150m chỉ trong vòng một phút [7].

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã áp dụng mô hình MIKE 21 để phân tích và đánh giá đặc trưng trường dòng chảy tại ba khu vực tiêu biểu của quần đảo Cát Bà, bao gồm các bãi Cát Cò I, Cát Cò III và Tùng Thu (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ các khu vực nghiên cứu

2. Tài liệu và phương pháp

2.1. Tài liệu

Dữ liệu về độ sâu và đường bờ: sử dụng lưới cấp I (toàn cầu/sử dụng hằng số điều hoà thủy triều cho biên lóng của mô hình) để tính toán cho toàn Biển Đông; lưới cấp II tính cho vịnh Bắc Bộ (số hóa từ bản đồ địa hình UTM tỷ lệ 1:50.000 do Cục Đo đạc và Bản đồ Việt Nam phát hành. Đây là các bản đồ được công bố trong những năm gần đây, sử dụng hệ tọa độ quốc gia VN-2000. Các bản đồ này sau khi quét vào máy tính đã được số hóa và biên tập bằng phần mềm MapInfo.); lưới cấp III chi tiết hơn được áp dụng cho các bãi (sau khi trường độ đã được nội suy). Bên cạnh đó, thông tin về độ sâu tại khu vực nghiên cứu được bổ sung và cập nhật từ các kết quả đo đạc gần đây của một số đề tài và dự án đã triển khai tại vùng này [4].

Dữ liệu khí tượng - thủy văn bao gồm gió, áp suất khí quyển, sóng và mực nước được thu thập tại trạm Hòn Dấu trong giai đoạn 1980-2022. Lưu lượng các cửa sông (trong mô hình MIKE HD) được trích xuất từ kết quả của mô hình MIKE 11 tính toán lưu lượng cho các mạng lưới sông Hồng, sông Thái Bình.

2.2. Phương pháp

a) Phương pháp tính toán trường thủy động lực dòng chảy và mực nước:

Phương trình liên tục [8]:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q \quad (1)$$

$$h(x, y, t) = H(x, y) + \eta(x, y, t) \quad (2)$$

Trong đó: H biểu thị độ sâu tĩnh; η là cao độ mực nước; u, v là các thành phần vận tốc trung bình theo chiều sâu; q thể hiện nguồn hoặc dòng bổ sung nước từ mưa, sông hoặc các yếu tố khác.

Phương trình động lượng [8]:

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + fhu - \frac{\tau_x}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h\nu \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h\nu \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\tau_x^*}{\rho} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - fhu - \frac{\tau_y}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h\nu \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h\nu \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\tau_y^*}{\rho} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial S_x}{\partial x} + \frac{\partial S_y}{\partial y} \right) \quad (4)$$

Trong đó: g là gia tốc trọng trường; f là tham số Coriolis; ρ là mật độ nước; $\tau = (\tau_{bx}, \tau_{by})$ là ứng suất đáy; $\tau^w = (\tau_x^w, \tau_y^w)$ là ứng suất gió mặt. ν_t là độ nhớt rối ngang hiệu dụng; $S = [S_{ij}]$ là ứng suất bức xạ sóng từ mô-đun SW; $\nabla \cdot S$ là lực sóng - dòng chảy gây mực nước dâng và vận tốc gradient tạo dòng rip.

b) Lực gây dòng chảy xiết ven bờ (Rip Current):

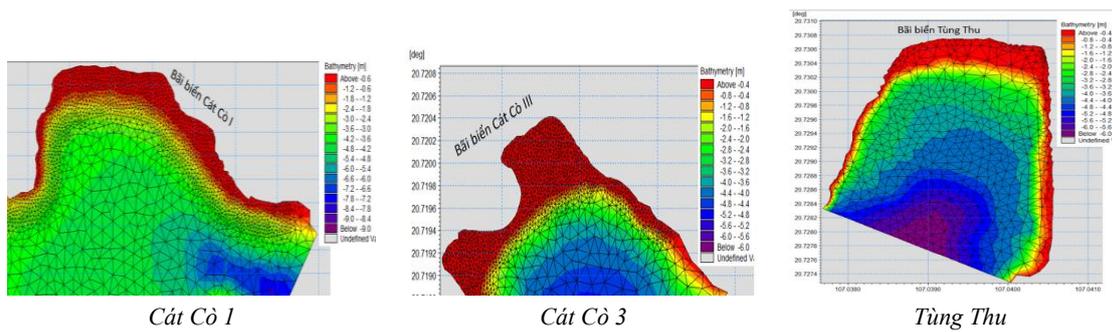
Dòng chảy xiết là kết quả của chênh lệch mực nước (setup gradient) được tạo bởi gradient ứng suất bức xạ sóng. Theo Longuet-Higgins & Stewart [9, 10]:

$$\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} = -\rho gh \left(\frac{\partial n_{setup}}{\partial x} \right) \quad (5)$$

Mực nước dâng do sóng (n_{setup}) có thể xấp xỉ theo [11]:

$$\partial n_{setup}(x) = \frac{1}{\rho gh(x)} \int_x^{x_0} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} dx \quad (6)$$

Trong đó: ρ biểu thị khối lượng riêng của nước biển; S_{xx} là thành phần ứng suất bức xạ sóng theo hướng x ; S_{xy} thể hiện thành phần ứng suất bức xạ sóng chéo giữa hai phương x và y ; g là gia tốc trọng trường; h là độ sâu trung bình của cột nước; x_b được hiểu là vị trí nơi sóng bắt đầu đổ.



Hình 2. Sơ đồ lưới tính của mô hình

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Triển khai mô hình

a) Xây dựng lưới tính cho mô hình:

Việc mô phỏng trường dòng chảy yêu cầu dữ liệu địa hình có độ chính xác cao, đồng thời miền tính toán và lưới tính cần đạt độ phân giải đủ chi tiết. Trong nghiên cứu này, miền tính được thiết lập bằng các lưới phi cấu trúc (chiều dài của cạnh mắt lưới biến đổi trong khoảng 3-10 m) có mật độ cao (3.690 nút tại bãi Cát Cò I; 2.854 nút tại bãi Cát Cò III; và 2.875 nút tại bãi Tùng Thu), được minh họa cụ thể trong Hình 2.

b) Thiết lập các điều kiện biên, điều kiện ban đầu:

Các điều kiện biên của mô hình bao gồm hai loại, tương ứng cho MIKE 11 và MIKE 21. Đối với mô hình MIKE 21, biên mực nước được thiết lập dựa trên các hằng số điều hòa thu được từ kết quả mô phỏng thủy triều toàn cầu.

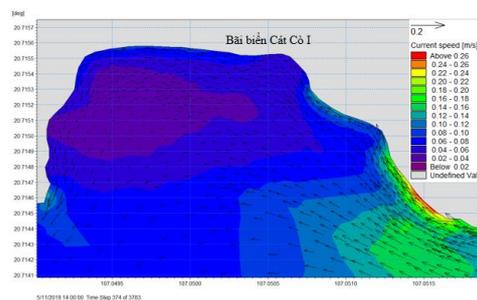
c) Hiệu chỉnh và kiểm chứng mô hình:

Việc hiệu chỉnh và đánh giá độ chính xác của mô hình dòng chảy đối với khu vực nghiên cứu là bước cần thiết. Trong quá trình hiệu chỉnh các tham số, kết quả mô phỏng được so sánh với số liệu quan trắc nhằm xác định mức độ sai khác giữa tính toán và thực tế, qua đó điều chỉnh lại dữ liệu đầu vào và thông số mô hình để tối ưu hoá quá trình tính toán, đồng thời giảm sai số xuống mức thấp nhất có thể. Đối với khu vực nghiên cứu, công tác kiểm định và hiệu chỉnh mô hình được thực hiện bằng cách so sánh mực nước tính toán tại trạm Hòn Dầu với giá trị trong bảng thủy triều cũng như số liệu quan trắc thực tế. Kết quả sau lần hiệu chỉnh cuối cùng cho thấy sự tương đồng tương đối tốt giữa mực nước mô phỏng và quan trắc, cả về pha lẫn biên độ dao động mực nước. Sai số bình phương trung bình giữa mực nước tính toán và quan trắc đạt giá trị $RMSE \approx 0,19m$.

3.2. Đặc điểm trường dòng chảy

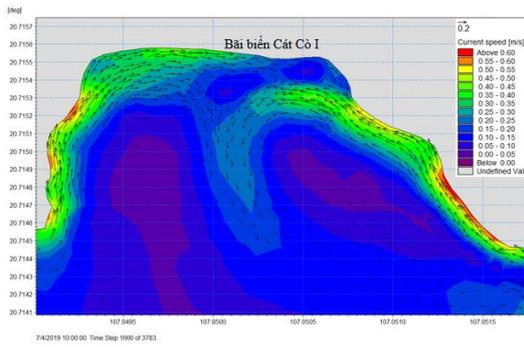
a) Khu vực bãi Cát Cò I:

Kết quả mô phỏng cho thấy, trong mùa gió Tây Nam (từ tháng 6 đến 9 tháng), chế độ dòng chảy tại khu vực bãi biển Cát Cò I chịu chi phối chủ yếu bởi dao động mực nước triều theo các pha và kỳ triều, cùng với đặc điểm địa hình bờ. Trường dòng chảy tại khu vực này được hình thành dưới tác động kết hợp của hai yếu tố chính là sự thay đổi mực nước triều và hình dạng đường bờ. Ngoài ra, kết quả mô hình cũng cho thấy trong các pha triều thông thường, khu vực bãi Cát Cò I của đảo Cát Bà không ghi nhận sự xuất hiện của dòng chảy hướng ra khơi (rip current). Khi xảy ra đỉnh triều cường đồng thời với gió bão, sự kết hợp giữa sóng mạnh và mực nước cao đã tạo nên dòng ven bờ có cường độ lớn hơn tại phần giữa bãi (Hình 3), với vận tốc có thể đạt khoảng 0,6m/s. Ở khu vực phía Nam cuối bãi, dòng chảy xiết ven bờ có thể đạt tốc độ tới 0,85m/s. Trong pha triều lên, dòng chảy xiết cũng xuất hiện ở phần cuối bãi (phía Nam) với vận tốc khoảng 0,45m/s.



Hình 3. Dòng chảy xiết tại thời điểm triều đang rút, thời đoạn đỉnh triều cường

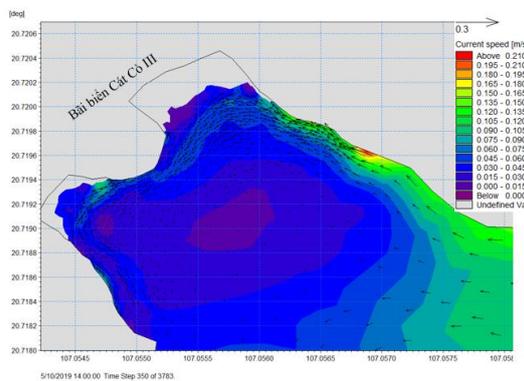
Khi xảy ra đỉnh triều cường kết hợp với gió mùa mạnh, dòng chảy xiết xuất hiện với vận tốc lớn, có thể đạt khoảng 0,5m/s tại khu vực phía Nam của bãi (Hình 4). Trong các pha triều lên, hiện tượng này tiếp tục hình thành với tốc độ dòng chảy khoảng 0,4 m/s.



Hình 4. Dòng chảy xiết tại thời điểm triều đang lên, thời đoạn triều cường, gió bão

b) Khu vực bãi Cát Cò III:

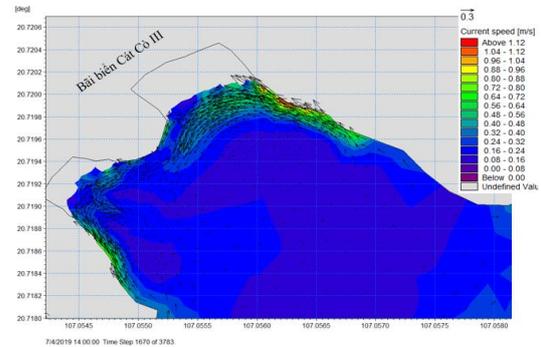
Ở khu vực giữa bãi, dòng chảy dọc bờ có xu hướng mạnh và chủ yếu hướng xuống phía Nam. Ngược lại, tại hai đầu phía Bắc và phía Nam của bãi, dòng chảy lại chuyển hướng, hội tụ về khu vực trung tâm. Điều này cho thấy khu vực giữa bãi có khả năng thường xuyên xuất hiện dòng chảy xiết. Ngoài ra, kết quả mô phỏng (Hình 5) cũng cho thấy vùng ven bờ bãi biển Cát Cò III thuộc đảo Cát Bà hiếm khi xuất hiện dòng chảy có hướng từ bờ ra khơi trong các pha triều.



Hình 5. Dòng chảy xiết tại thời điểm triều đang lên, thời đoạn đỉnh triều cường

Trong giai đoạn đầu của kỳ triều cường, cường độ dòng chảy còn nhỏ và chưa xuất hiện dòng chảy xiết. Khi đạt đến đỉnh triều cường, trường dòng chảy bắt đầu hình thành dòng tách bờ với vận tốc khoảng 0,14m/s. Ở thời kỳ đỉnh triều cường kết hợp cùng gió bão, sự tác động đồng thời của sóng mạnh và mực nước cao tạo nên dòng ven bờ có cường độ lớn, tập trung chủ yếu tại khu vực giữa bãi. Tại phía Bắc bãi, dòng chảy xiết ven bờ có thể đạt vận tốc tối đa khoảng 0,87 m/s. Trong khi đó, ở khu vực từ giữa bãi đến phần cuối phía Nam, dòng chảy xiết xuất hiện trong pha triều lên với tốc độ khoảng 0,65m/s.

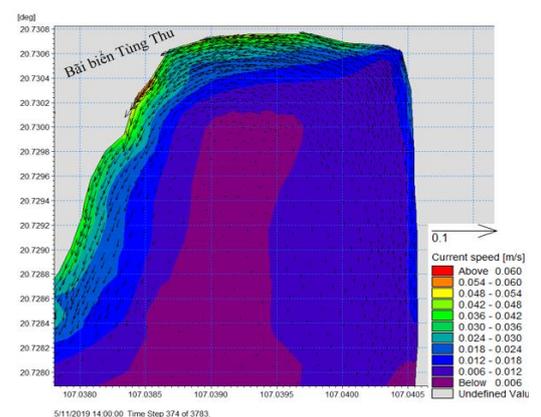
Khi đỉnh triều cường trùng với thời kỳ gió mùa mạnh, dòng chảy xiết hình thành với vận tốc lớn, đạt khoảng 0,75m/s tại khu vực giữa và phía Bắc của bãi (Hình 6). Trong các pha triều lên, hiện tượng này tiếp tục xuất hiện với tốc độ dòng chảy có thể đạt tới 0,45m/s.



Hình 6. Dòng chảy xiết tại thời điểm triều đỉnh triều, thời đoạn triều cường, gió bão

c) Khu vực bãi Tùng Thu:

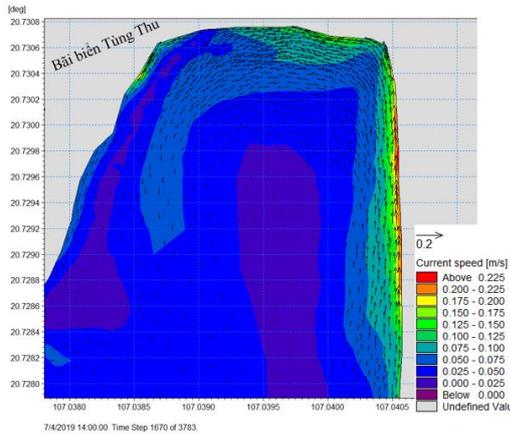
Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, trong thời kỳ chịu ảnh hưởng của gió Tây Nam, chế độ dòng chảy tại khu vực bãi biển Tùng Thu thuộc đảo Cát Bà chủ yếu chịu tác động của dao động mực nước triều theo các pha, kỳ triều và đặc điểm địa hình bờ. Trường dòng chảy tại khu vực này được hình thành chủ yếu dưới ảnh hưởng của hai yếu tố chính là sự thay đổi mực nước triều và hình thái đường bờ. Ngoài ra, kết quả tính toán cũng cho thấy khu vực ven bờ bãi biển Tùng Thu không ghi nhận sự xuất hiện của dòng chảy hướng từ bờ ra khơi trong các pha triều.



Hình 7. Dòng chảy xiết tại thời điểm triều đang rút, thời điểm triều cường

Trong giai đoạn giữa của pha triều cường, khi đạt đỉnh triều kết hợp với gió mùa mạnh, dòng chảy ven bờ xuất hiện với cường độ lớn hơn, tập trung chủ yếu

ở khu vực phía Bắc của bãi (Hình 7) và có thể đạt vận tốc khoảng 0,3m/s. Ở thời điểm đỉnh triều cường đi kèm gió mùa mạnh, dòng chảy xiết hình thành với tốc độ cao, đạt tới 0,5m/s tại vùng phía Bắc của bãi (Hình 8), đồng thời xuất hiện dòng chảy xiết thứ cấp có vận tốc khoảng 0,4m/s.



Hình 8. Dòng chảy xiết tại thời điểm triều đang rút, thời đoạn triều cường, gió mùa mạnh

4. Kết luận

Trong mùa gió Tây Nam, khu vực bãi tắm nhìn chung không ghi nhận sự xuất hiện của dòng chảy xiết hay các xoáy ven bờ trong các pha triều thuộc kỳ triều cường. Tuy nhiên, do đặc điểm hình thái địa hình bờ biển, tại hai đầu Bắc và Nam của bãi vẫn có thể hình thành các dòng chảy xiết dọc bờ với vận tốc tương đối lớn. Khi xảy ra các điều kiện thời tiết cực đoan, các bãi Cát Cò I, Cát Cò III và Tùng Thu có khả năng xuất hiện dòng chảy xiết với vận tốc trên 50cm/s. Hiện tượng này không chỉ tiềm ẩn nguy hiểm đối với du khách tắm biển mà còn góp phần thúc đẩy quá trình xói lở, làm mất cân bằng bãi.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Hữu Cừ (2003). *Nghiên cứu khả năng xây dựng, cải tạo và bảo vệ một số bãi tắm tiêu biểu của khu du lịch Cát Bà (Hải Phòng)*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp cơ sở, lưu trữ tại Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường.

[2] Đỗ Thị Thu Hương và cs. (2025). *Nghiên cứu hệ thống bãi cát vùng biển ven bờ Hải Phòng và đề xuất giải pháp khai thác, sử dụng bền vững*. Báo cáo tổng hợp nhiệm vụ cấp thành phố Hải Phòng, lưu trữ tại Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường.

[3] Cao Thị Thu Trang và cs. (2009). *Đánh giá sức tải môi trường đảo Cát Bà và đề xuất các giải pháp phát triển bền vững*. Báo cáo tổng kết nhiệm vụ cấp thành phố Hải Phòng.

[4] Trần Đức Thanh (2000). *Nghiên cứu dự báo, phòng chống sạt lở bờ biển Bắc Bộ từ Quảng Ninh đến Thanh Hóa*. Báo cáo Dự án cấp Nhà nước KHCN-5A. Lưu trữ tại Viện TN&MT biển.

[5] Nguyễn Mạnh Hùng (2014). *Các quá trình thủy thạch động lực vùng ven biển Việt Nam: mực nước, sóng, dòng chảy và vận chuyển bùn cát*. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 329 trang.

[6] Lê Đình Mậu và cs. (2023). *Hiện tượng dòng Rip (Rip Current) tại dải ven biển Nam Trung Bộ, Việt Nam*. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 284 trang.

[7] Trần Đức Thanh và cs. (2015). *Thiên nhiên và môi trường vùng bờ Hải Phòng*. NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, 308 trang.

[8] DHI (2014). *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Hydrodynamic and Transport Module Scientific Documentation*.

[9] Longuet-Higgins, M.S. & Stewart, R.W. (1962). *Radiation Stress and Mass Transport in Gravity Waves, with Application to 'Surf Beats'*. J. Fluid Mech., Vol.13(4), pp.481-504.

[10] Longuet-Higgins, M.S. & Stewart, R.W. (1964). *Radiation Stresses in Water Waves; a Physical Discussion, with Applications*. Deep-Sea Research, Vol.11(4), pp.529-562.

[11] DHI (2014). *MIKE 21 Spectral Waves Module: Scientific Documentation*.

Ngày nhận bài:	20/10/2025
Ngày nhận bản sửa:	05/11/2025
Ngày duyệt đăng:	27/11/2025