

MÔ PHỎNG NGẬP LỤT DO SÓNG TRẦN TẠI KHU VỰC ĐÊ BIỂN ĐỒ SƠN

Vũ Văn Ngọc⁽¹⁾, Nguyễn Thanh Bằng⁽²⁾, Trần Đăng Hùng⁽²⁾

⁽¹⁾Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học sóng biển

⁽²⁾Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

Ngày nhận bài: 4/12/2023; ngày chuyển phản biện: 5/12/2023; ngày chấp nhận đăng: 9/1/2024

Tóm tắt: Khu du lịch ven biển Đồ Sơn được bảo vệ bởi công trình đê biển có cao trình đỉnh đê nằm trong khoảng từ 3,7 m đến trên 4,2 m luôn cao hơn mực nước biển cực đại đã xảy ra. Mặc dù vậy, khu vực dân sinh, khu du lịch và cơ sở hạ tầng liên quan phía sau đê thường xuyên bị ảnh hưởng khi sóng lớn gây ra nước tràn qua đê và ngập lụt khu vực. Các tính toán ngập lụt trước đây đối với khu vực ven biển thường được tiếp cận theo hướng mô hình hóa, ngập lụt khu vực sau đê chỉ được xem xét khi mực nước cao hơn đê biển, trong khi đó thực tế mực nước thấp hơn đê biển thì ngập lụt sau đê vẫn diễn ra. Trong bài báo này, nhóm tác giả giới thiệu phương pháp mô phỏng tích hợp đồng thời lượng tràn qua đê biển và ngập lụt khu vực sau đê. Các thông số độ lưu không đỉnh đê (R_d), độ cao sóng (H_s), chu kỳ sóng (T_p), lưu lượng tràn đơn vị (q) được tích hợp đầy đủ và liên hoàn trong một lần mô phỏng.

Từ khóa: Đồ Sơn, MIKE 21 Couple, EurOtop.

1. Giới thiệu

Xác định vùng ngập lụt ven biển do bão là vấn đề đã được quan tâm từ lâu trên thế giới, đặc biệt với các quốc gia có biên giới là biển [1], [2]. Gallien và cộng sự (2014) [3] đã tích hợp mô hình dòng chảy trên đất liền dựa trên các phương trình nước nông với các mô hình thoát nước và sóng tràn để tính toán ngập lụt thành phố ven biển tại California (Mỹ). Tốc độ tràn nước theo thời gian được đánh giá bằng công thức bán kinh nghiệm với số liệu sóng tại khu vực ven bờ được lấy liên tục từ mô hình SWAN. Patrick J. Lynett và cộng sự [4] đã ứng dụng liên hoàn các mô hình để tính toán mực nước và sóng gồm mô hình ADCIRC để tính toán mực nước thủy triều và nước dâng do bão, ứng dụng mô hình STWAVE tính toán các yếu tố sóng gần bờ, ứng dụng mô hình Boussinesq để tính toán lượng nước tràn do sóng trong bão Katrina năm 2005 cho khu vực cửa sông Mississippi. Zou và các cộng sự (2013) [5] sử dụng hệ thống mô hình tổng hợp bao gồm mô hình dự báo khí tượng ERA-Interim/ECMWF EPS để tính toán trường

gió và khí áp tại mặt nước, làm đầu vào cho việc tính toán sóng, thủy triều, nước dâng ngoài khơi bằng mô hình POLCOMS/ProWAM/SWAN, sau đó dữ liệu được đưa vào cho mô hình thủy động lực vùng sóng đổ gần bờ bằng cách kết hợp RANSVOF/GODA và công thức sóng tràn để tính toán lượng nước tràn do sóng.

Ở Việt Nam việc nghiên cứu và tính toán ngập lụt do bão, nước biển dâng được quan tâm đặc biệt trong những năm gần đây ([6-19]). Trong đó một số nghiên cứu chỉ tính toán ngập lụt do mực nước tổng cộng do thủy triều và nước dâng do bão ([8], [16], [17]). Một số nghiên cứu đã tính toán mực nước tổng cộng có xét đến sự ảnh hưởng của sóng ven bờ qua ứng suất sóng ([5], [6], [9], [10], [11], [12], [15], [18]). Trong các nghiên cứu nêu trên, công trình đê biển chỉ được thể hiện trong mô hình toán thông qua cao độ địa hình tuyến đê, do vậy ngập lụt chỉ xảy ra khi mực nước tổng cộng lớn hơn cao độ đỉnh công trình. Trong thực tế, ngập lụt ven biển đã và đang xảy ra khi mực nước tổng cộng thấp hơn cao trình đỉnh công trình.

Trong bài báo này, nhóm tác giả sử dụng mô hình toán và công thức thực nghiệm để tích hợp mô phỏng liên hoàn điều kiện sóng, mực nước, lưu lượng tràn qua đê biển và ngập lụt sau đê

Liên hệ tác giả: Vũ Văn Ngọc

Email: vuvannngoc85@gmail.com

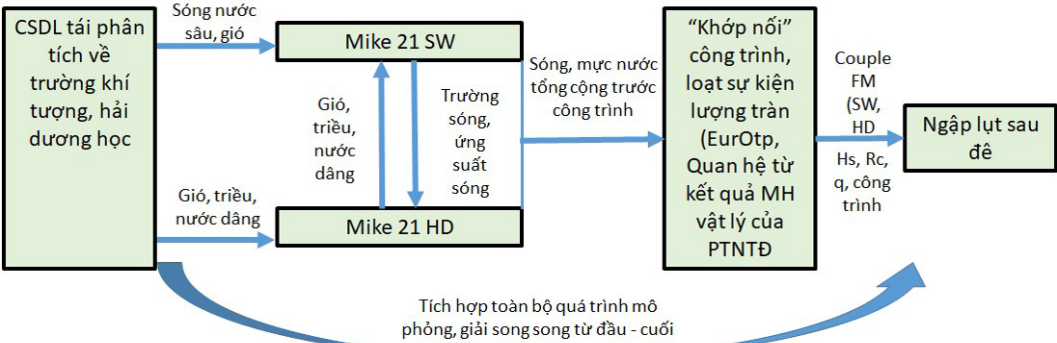
biển. Khu vực thực hiện nghiên cứu là vùng biển Đồ Sơn, thành phố Hải Phòng.

2. Phương pháp và số liệu nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Để mô phỏng ngập lụt khu vực đê biển Đồ Sơn, trong nghiên cứu này sử dụng bộ mô hình Mike 21 Couple và công thức thực nghiệm tính toán lưu lượng sóng tràn theo EurOtop. Mô

đun mô phỏng sóng Mike 21 SW và mô đun mô phỏng thủy động lực Mike 21 HD được nối kết, mô phỏng song song bằng Mike 21 Couple. Lưu lượng sóng tràn qua đê biển được tính toán theo công thức 1 và 2 để tạo ra tổ hợp 630 sự kiện tràn ứng với các trường hợp độ lưu không đỉnh đê (R_c), độ cao sóng (H_s), chu kỳ sóng (T_p). Sơ đồ nghiên cứu thể hiện như Hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu

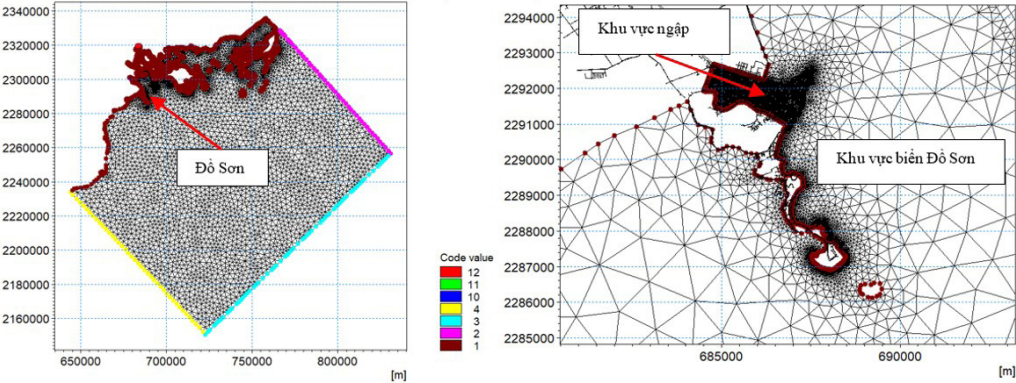
$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m_0}^3}} = 0,0155 \cdot \left(\frac{H_{m_0}}{h_{S_{m-1,0}}}\right)^{0,5} \exp\left(-2,2 \frac{R_c}{H_{m_0}}\right) \quad \text{điều kiện: } 0,1 < R_c/H_{m_0} < 1,35 \tag{1}$$

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m_0}^3}} = 0,0020 \cdot \left(\frac{H_{m_0}}{h_{S_{m-1,0}}}\right)^{0,5} \left(\frac{R_c}{H_{m_0}}\right)^{-3} \quad \text{điều kiện: } R_c/H_{m_0} \geq 1,35 \tag{2}$$

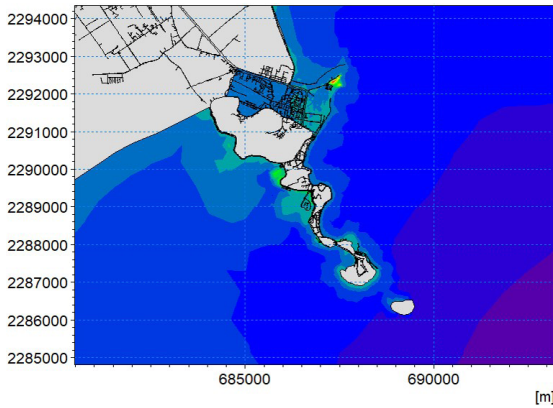
2.2. Số liệu nghiên cứu

Số liệu sử dụng trong nghiên cứu là các số liệu địa hình có tỉ lệ 1/50.000 ở khu vực biển, tỉ lệ 1/10.000 ở khu vực trên cạn. Số liệu địa hình được xử lý và nội suy theo lưới tam giác

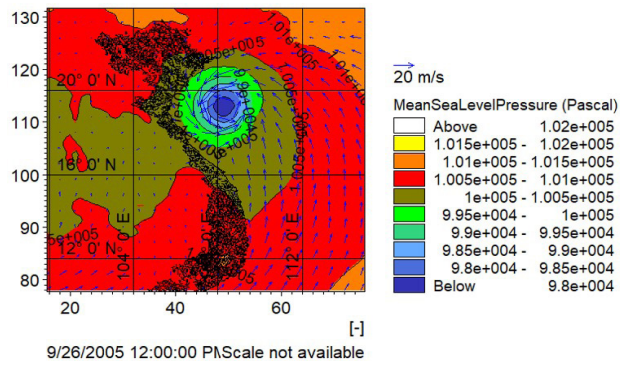
có dạng như Hình 2, kết quả nội suy địa hình để thực hiện mô phỏng thể hiện như Hình 3. Số liệu trường gió và khí áp trong trận bão Damrey năm 2005 được thu thập từ nguồn tài liệu tái phân tích ERA5 thực hiện bởi ECMWF (Hình 4).



Hình 2. Lưới tính toán và vị trí các biên giới hạn



Hình 3. Địa hình khu vực biển Đồ Sơn



Hình 4. Trường gió và khí áp trong bão Damrey năm 2005

3. Kết quả tính toán

3.1. Kết quả tính toán lưu lượng tràn qua đê biển

Bằng cách sử dụng công thức 1 và công thức 2, lưu lượng tràn qua đê được tính toán với 630 trường hợp khác nhau. Kết quả tính toán được thể hiện ở Hình 5 và lưu dưới định dạng tệp có đuôi mở rộng là txt hoặc dat. Cấu trúc của tệp dữ liệu gồm hàng thứ nhất thể hiện 21 trường hợp độ lưu không đỉnh đê trên mực nước tính toán (R_c từ 0,1 m đến 2,1 m); hàng thứ hai thể hiện 10 trường hợp độ cao sóng (H_s từ 0,25 m đến 2,5 m), hàng thứ ba thể hiện 3 trường hợp chu kỳ sóng (T_p từ 5 s đến 9 s), các hàng còn lại

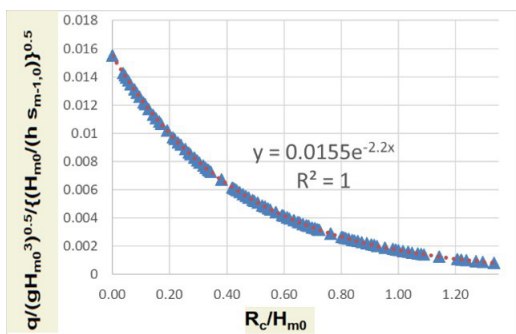
thể hiện lưu lượng tràn đơn vị (q) ứng với các tổ hợp của R_c , H_s , T_p . Như vậy, tổng số sự kiện là $21 \times 10 \times 3 = 630$, ứng với nó là 630 kết quả lưu lượng tràn đơn vị thể hiện từ hàng 4 đến hàng 33 ở Hình 5.

Hình 8 thể hiện tích hợp tổ hợp sự kiện tràn theo kết quả tính toán ở Hình 5. Khi mô hình thực thi mô phỏng, lưu lượng tràn sẽ được tìm kiếm trong tổ hợp sự kiện ở Hình 5 tùy theo R_c , H_s , T_p để tự động chuyển ra phía sau đê theo dạng nguồn đổ vào từng ô lưới sau đê.

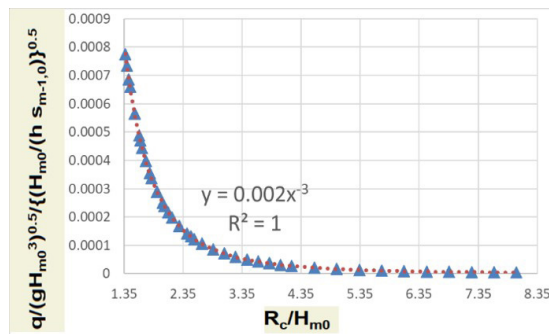
Hình 6 và Hình 7 thể hiện quan hệ giữa lưu lượng tràn đơn vị ứng với tỉ số R_c/H_{m0} nhỏ hơn hoặc lớn hơn 1,35 tương ứng theo công thức 1 và công thức 2.

Q EuroTop.dat	Q Dta/dung.dat
1 21 0.10 2.1	
2 10 0.25 2.5	
3 3 5.00 9.0	
4 0.027 0.012 0.005 0.002 0.001 0.001 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	
5 0.115 0.077 0.051 0.034 0.023 0.015 0.010 0.007 0.005 0.004 0.003 0.002 0.002 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001	
6 0.244 0.187 0.143 0.110 0.084 0.065 0.050 0.038 0.029 0.023 0.018 0.014 0.011 0.009 0.008 0.006 0.005 0.005 0.004 0.004 0.003	
7 0.403 0.331 0.272 0.224 0.184 0.152 0.125 0.103 0.085 0.070 0.058 0.048 0.040 0.033 0.028 0.023 0.020 0.017 0.015 0.013 0.012	
8 0.587 0.503 0.431 0.370 0.318 0.273 0.234 0.202 0.173 0.149 0.129 0.111 0.096 0.082 0.071 0.062 0.053 0.047 0.041 0.036 0.032	
9 0.793 0.699 0.617 0.544 0.480 0.424 0.375 0.331 0.293 0.259 0.230 0.204 0.181 0.160 0.142 0.127 0.113 0.100 0.090 0.080 0.072	
10 1.020 0.917 0.825 0.743 0.669 0.603 0.543 0.490 0.442 0.399 0.361 0.326 0.295 0.267 0.242 0.219 0.199 0.181 0.165 0.150 0.137	
11 1.265 1.155 1.054 0.963 0.881 0.805 0.737 0.675 0.618 0.566 0.519 0.477 0.438 0.402 0.370 0.341 0.314 0.290 0.268 0.248 0.230	
12 1.527 1.410 1.303 1.204 1.114 1.031 0.954 0.883 0.819 0.759 0.704 0.654 0.608 0.565 0.526 0.490 0.457 0.426 0.399 0.373 0.350	
13 1.805 1.683 1.569 1.464 1.367 1.276 1.193 1.115 1.043 0.976 0.914 0.856 0.803 0.754 0.708 0.666 0.627 0.591 0.557 0.526 0.498	
14 0.038 0.016 0.007 0.003 0.002 0.001 0.001 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	
15 0.162 0.108 0.072 0.048 0.032 0.021 0.014 0.010 0.007 0.005 0.004 0.003 0.003 0.002 0.002 0.001 0.001 0.001 0.001 0.001	
16 0.341 0.262 0.201 0.154 0.118 0.091 0.070 0.054 0.041 0.032 0.025 0.020 0.016 0.013 0.011 0.009 0.008 0.007 0.006 0.005	
17 0.564 0.463 0.381 0.314 0.258 0.213 0.175 0.144 0.119 0.098 0.081 0.067 0.055 0.046 0.039 0.033 0.028 0.024 0.021 0.019 0.017	
18 0.822 0.704 0.604 0.518 0.445 0.382 0.328 0.282 0.243 0.209 0.180 0.155 0.134 0.115 0.100 0.086 0.075 0.066 0.058 0.051 0.045	
19 1.110 0.979 0.863 0.762 0.673 0.594 0.525 0.464 0.410 0.363 0.322 0.285 0.253 0.224 0.199 0.177 0.158 0.141 0.125 0.112 0.100	
20 1.428 1.284 1.155 1.040 0.936 0.844 0.760 0.686 0.619 0.559 0.505 0.456 0.413 0.374 0.338 0.307 0.279 0.254 0.231 0.210 0.192	
21 1.770 1.616 1.476 1.349 1.233 1.128 1.032 0.944 0.865 0.795 0.727 0.667 0.613 0.563 0.518 0.477 0.440 0.406 0.375 0.347 0.321	
22 2.137 1.974 1.824 1.686 1.559 1.443 1.335 1.237 1.146 1.063 0.986 0.915 0.851 0.791 0.736 0.686 0.639 0.597 0.558 0.522 0.490	
23 2.527 2.356 2.197 2.050 1.913 1.787 1.670 1.561 1.460 1.366 1.279 1.199 1.124 1.055 0.991 0.932 0.877 0.827 0.780 0.737 0.697	
24 0.048 0.021 0.009 0.004 0.002 0.001 0.001 0.001 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000	
25 0.208 0.139 0.092 0.062 0.041 0.027 0.018 0.013 0.009 0.007 0.005 0.004 0.003 0.003 0.002 0.002 0.002 0.001 0.001 0.001	
26 0.439 0.337 0.258 0.198 0.152 0.117 0.090 0.069 0.053 0.041 0.032 0.025 0.020 0.017 0.014 0.012 0.010 0.009 0.007 0.007 0.006	
27 0.725 0.596 0.490 0.403 0.332 0.273 0.225 0.186 0.153 0.126 0.104 0.086 0.071 0.059 0.050 0.042 0.036 0.031 0.027 0.024 0.021	
28 1.056 0.906 0.777 0.666 0.572 0.491 0.422 0.363 0.312 0.269 0.231 0.199 0.172 0.148 0.128 0.111 0.096 0.085 0.074 0.065 0.058	
29 1.428 1.259 1.110 0.980 0.865 0.764 0.675 0.596 0.528 0.467 0.413 0.366 0.325 0.288 0.256 0.228 0.203 0.181 0.161 0.144 0.129	
30 1.835 1.651 1.485 1.337 1.204 1.085 0.978 0.882 0.796 0.718 0.649 0.587 0.531 0.481 0.436 0.395 0.359 0.326 0.297 0.271 0.247	
31 2.276 2.078 1.898 1.734 1.585 1.450 1.326 1.214 1.112 1.019 0.935 0.858 0.788 0.724 0.666 0.613 0.565 0.522 0.482 0.446 0.413	
32 2.748 2.538 2.345 2.168 2.005 1.855 1.717 1.590 1.474 1.366 1.268 1.177 1.094 1.017 0.946 0.882 0.822 0.768 0.717 0.672 0.630	
33 3.249 3.029 2.825 2.636 2.460 2.297 2.147 2.007 1.877 1.756 1.645 1.541 1.446 1.357 1.275 1.198 1.128 1.063 1.003 0.948 0.890	

Hình 5. Kết quả tính toán lưu lượng tràn qua đê biển Đồ Sơn



Hình 6. Tương quan R_c và lượng tràn, ứng với trường hợp $R_c/H_{m0} < 1,35$



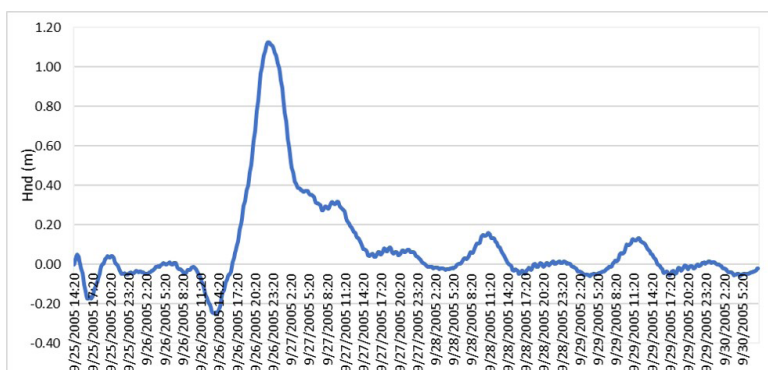
Hình 7. Tương quan R_c và lượng tràn, ứng với trường hợp $R_c/H_{m0} > 1,35$

Hình 8. Tích hợp sự kiện lưu lượng tràn theo kết quả mô hình

3.2. Kết quả mô phỏng

Hình 9 thể hiện kết quả tính toán nước dâng tại khu vực trạm hải văn Hòn Dấu trong trận bão Damrey năm 2005. Qua kết quả cho thấy trên

toàn bộ đường biển trình theo thời gian trong bão diễn ra cả nước dâng và nước rút, thành phần nước rút diễn ra trước khi bão đổ bộ đến khu vực, độ lớn nước rút đạt khoảng -0,2 m, độ lớn nước dâng đạt khoảng 1,12 m

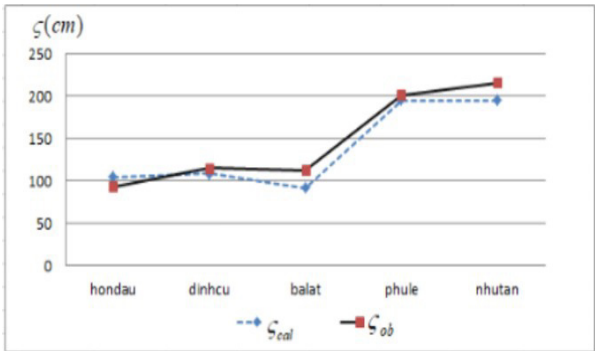


Hình 9. Kết quả tính toán độ lớn nước dâng trong bão Damrey 2005

Để xác định độ tin cậy của kết quả mô phỏng, kết quả tính toán độ lớn nước dâng được so sánh đối chiếu với kết quả đã được công bố từ nghiên cứu khác. Theo kết quả

nghiên cứu của nhóm tác giả Nguyễn Thanh Cơ và cộng sự [20], nước dâng trong bão Damrey cho khu vực Hòn Dấu đạt khoảng hơn 1 m (Hình 10, bên trái); nước dâng dọc bờ theo không gian

có phần gia tăng dần từ phía Bắc đến phía Nam dọc theo địa danh từ Hòn Dấu (Hải Phòng) đến Như Tân (Nam Định). Theo kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả Phạm Văn Tiến và cộng sự [21], nước dâng trong bão Damrey đạt khoảng trên 0,8 m (Hình 10, bên phải). Theo kết quả điều tra của nhóm nghiên cứu thuộc Trung tâm Khí tượng Thủy văn biển (nay là Trung tâm Hải văn), nước dâng tại khu vực ứng với các điểm điều tra



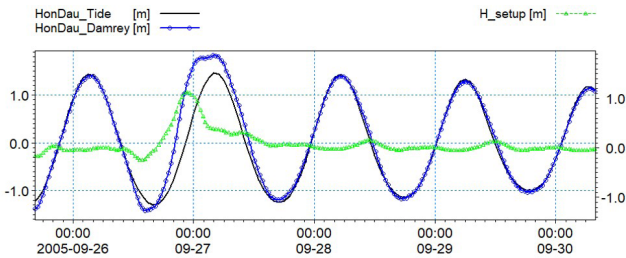
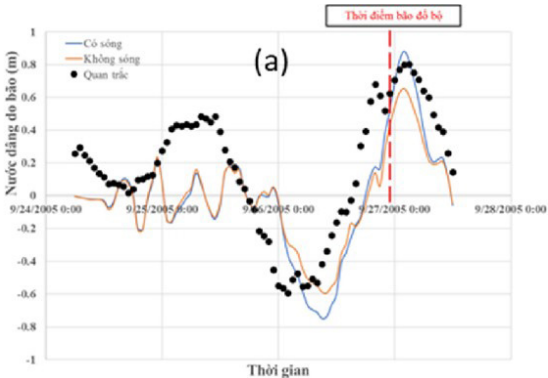
Hình 10. Tham khảo kết quả tính toán để đối chứng

Bảng 1. Kết quả điều tra nước dâng

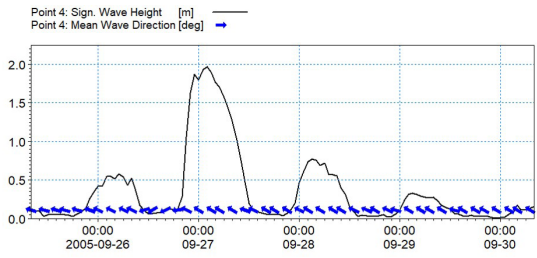
Địa điểm khảo sát	Độ lớn nước dâng h_{ND} (m)
Đình Vũ	1
Cửa Cấm	1,17
Hòn Dấu	1

tại Đình Vũ đạt 1,0 m, tại Cửa Cấm đạt 1,17 m, tại Hòn Dấu đạt 1,0 m (Bảng 1).

Hình 11 và Hình 12 thể hiện kết quả tính toán mực nước tổng cộng, độ lớn nước dâng tại khu vực Hòn Dấu trong bão Damrey năm 2005 và kết quả diễn biến sóng tương ứng tại khu vực Hòn Dấu. Mực nước tổng cộng trong bão đạt dưới 2 m, độ lớn nước dâng đạt khoảng 1,12 m. Độ cao sóng tại khu vực đạt khoảng xấp xỉ 2 m.



Hình 11. Diễn biến các thành phần mực nước



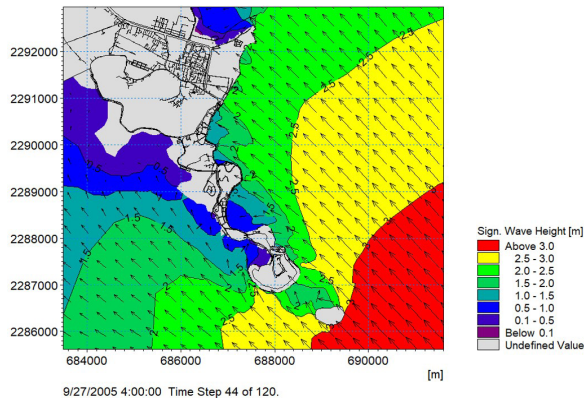
Hình 12. Diễn biến độ cao và hướng sóng tại khu vực Hòn Dấu

Để minh họa hiệu quả của việc kích hoạt tính toán đê biển với lượng tràn mô phỏng tích hợp, Hình 13 và Hình 14 thể hiện kết quả mô phỏng ứng với cùng điều kiện biên mà chỉ khác nhau là “không” hoặc “có” kích hoạt lượng tràn. Kết quả cho thấy sự khác nhau hoàn toàn về phạm vi ngập lụt vùng sau đê; trong trường hợp tính toán đến lượng nước tràn qua đê do sóng thì xuất hiện khu vực ngập lụt lan tỏa sau đê như

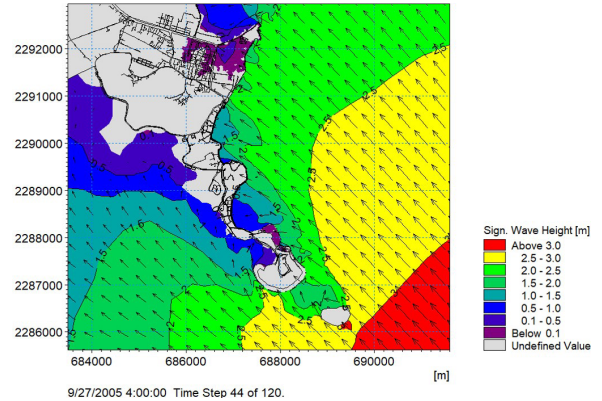
Hình 14, trong trường hợp không tính đến nước tràn do sóng khu vực sau đê không bị ngập lụt thể hiện như Hình 13. Như vậy cho thấy rõ ràng, việc nối kết các mô đun đã cho quá trình mô phỏng đầy đủ các quá trình nước dâng, sóng, ngập lụt sau đê. Trong khi đó trường hợp không nối kết đê và lưu lượng tràn thì khu vực sau đê luôn khô cạn trong toàn thời gian mô phỏng mặc dù điều kiện địa hình như nhau.

Kết quả mô phỏng cũng thể hiện được toàn bộ các kết quả như mô đun tính toán ngập lụt thông thường (Hình 15 đến Hình 18). Kết quả cho thấy độ sâu ngập lụt tại khu vực trong điều kiện tổng hợp có thể đạt đến 0,7-0,9 m (Hình 15). Vận tốc dòng chảy khu vực ngập lụt có thể

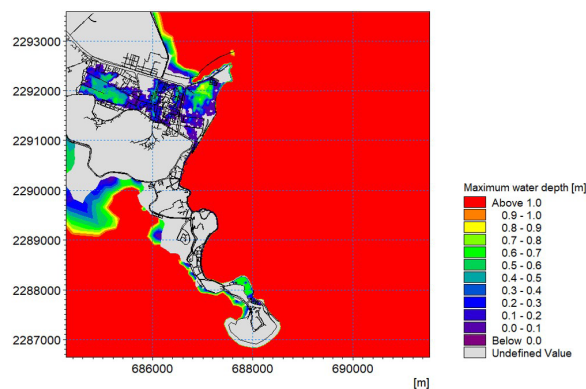
đạt đến 0,2-0,4 m/s (Hình 16). Trường mực nước phía biển luôn nhỏ hơn 2 m khi nước dâng đạt đỉnh (Hình 17) và khi mực nước tổng cộng lớn nhất (Hình 18). Những thông số này có vai trò quan trọng trong hoạch định kế hoạch, giải pháp ứng phó rủi ro thiên tai khu vực ven biển.



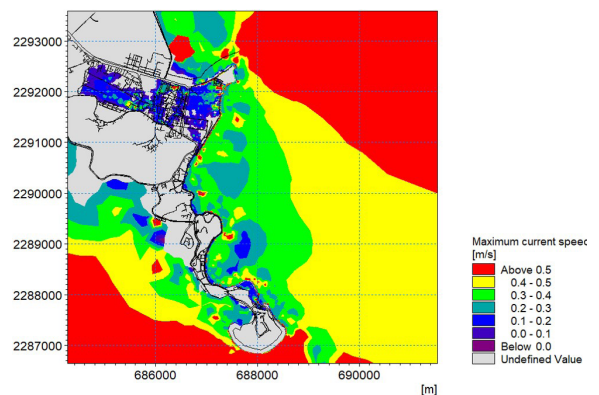
Hình 13. Kết quả trường sóng ứng với trường hợp mô phỏng không kích hoạt nước tràn qua tuyến đê và lượng tràn



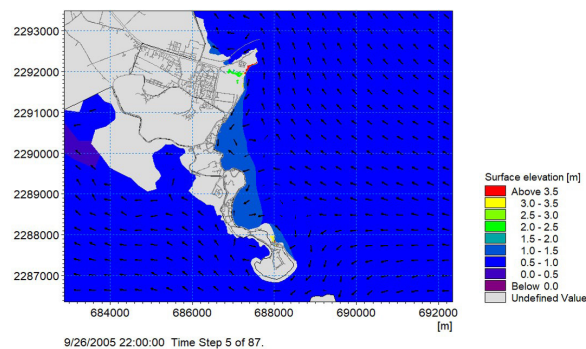
Hình 14. Kết quả trường sóng ứng với trường hợp mô phỏng có kích hoạt nước tràn qua tuyến đê và lượng tràn



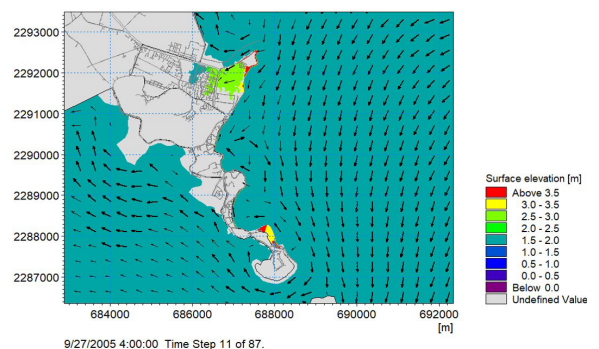
Hình 15. Độ sâu ngập lụt lớn nhất toàn thời gian mô phỏng



Hình 16. Vận tốc dòng chảy ngập lụt lớn nhất toàn thời gian mô phỏng



Hình 17. Trường mực nước và dòng chảy khi nước dâng bắt đầu đạt đỉnh



Hình 18. Trường mực nước và dòng chảy khi nước dâng kết hợp triều cường (mực nước tổng cộng lớn nhất)

4. Kết luận

Bộ mô hình tích hợp đã mô phỏng diễn biến trường sóng, trường dòng chảy và ngập lụt khu vực đê biển Đồ Sơn một cách liên hoàn, tích hợp trong cùng một lần mô phỏng. Kết quả mô phỏng cho thấy việc mô phỏng đạt độ chính xác phù hợp thông qua thử nghiệm mô phỏng trận bão Damrey năm 2005. Kết quả cho thấy nước dâng đạt khoảng 1,12 m, mực nước tổng cộng đạt dưới 2,0 m. Cao trình đê biển Đồ Sơn trong

khoảng 3,7 m - 4,2 m luôn cao hơn mực nước cực đại tại khu vực. Khu vực sau đê ngập lụt chủ yếu do cơ chế sóng tràn. Để mô phỏng ngập lụt khu vực sau đê biển tại khu vực Đồ Sơn thì việc tích hợp sóng tràn đóng vai trò quan trọng, đảm bảo độ chính xác của tính toán phù hợp thực tế khu vực đê biển Đồ Sơn thường xuyên ngập khi có bão, sóng lớn tràn qua đê biển gây ngập phía sau đê ngay cả khi mực nước phía biển thấp hơn đỉnh đê.

Tài liệu tham khảo

1. Alexandre Nicolae Lerma et al. (2017), "*High-resolution marine flood modelling coupling overflow and overtopping processes: framing the hazard based on historical and statistical approaches*", *NHESS*, vol 18, 207-229, doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-207-2018>.
2. Andrew B. Kennedy, et al. (2012), "*Tropical cyclone inundation potential on the Hawaiian Islands of Oahu and Kauai*", *Elsevier, Ocean Modelling*, vol. 52-53, pp. 54-68, doi:10.1016/j.ocemod.2012.04.009
3. Gallien, T.W., et al. (2014), "*Urban coastal flood prediction: integrating wave overtopping, flood defenses and drainage*", *Coast. Eng.* 91, 18–28, doi:10.1016/j.coastaleng.2014.04.007.
4. Lynett, P.J., et al. (2010), "*An application of Boussinesq modeling to Hurricane wave overtopping and inundation*", *Ocean Eng.* 37 (1), 135–153, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2009.08.021>.
5. Zou, Q.P. et al. (2013), "*Ensemble prediction of coastal flood risk arising from overtopping by linking meteorological, ocean, coastal and surf zone models*", *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.* 139 (671), 298-313, doi:10.1002/qj.2078.
6. Ngoc Pham Khanh et al. (2016), "*The impact of wave on coastal inundation*", *The 8th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics in Naval Architecture, Ocean Technology and Constructions, APHydro 2016*.
7. Nguyen Ba Thuy et al. (2016), "*Assessment of Storm Surge along the Coast of Central Vietnam*", *Journal of Coastal Research*, 33(3), 518-530 (2017), <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00248.1>.
8. Đinh Văn Mạnh và cộng sự (2018), *Nước dâng do bão vùng biển ven bờ Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ, ISBN 9786049137884.
9. Đỗ Đình Chiến và cộng sự (2014), "*Nghiên cứu tương tác sóng và nước dâng do bão bằng mô hình số trị*", *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, số 647, 19-24.
10. Đỗ Đình Chiến và cộng sự (2015), "*Nghiên cứu đánh giá nước dâng do bão khu vực ven biển từ Quảng Bình đến Quảng Nam*", *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, số 654, 34-39.
11. Nguyễn Bá Thủy và cộng sự (2014), "*Đánh giá diễn biến nước biển dâng do bão số 3 năm 2014 và vấn đề dự báo*", *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, số 647, 16-20.
12. Nguyễn Xuân Hiên (2013), *Nghiên cứu nước dâng do bão có tính đến ảnh hưởng của sóng và áp dụng cho vùng ven biển hải phòng*, luận án tiến sĩ địa lý, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường.
13. Trần Hồng Thái và cộng sự (2018), "*Nghiên cứu mô phỏng tác động của sóng và nước dâng bão khu vực ven biển miền Trung*", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 03 (2018), 1-14.
14. Trần Thanh Tùng và cộng sự (2016), "*Nghiên cứu tính toán nước biển dâng trong tình huống bão mạnh, siêu bão phục vụ xây dựng bản đồ ngập lụt tỉnh Phú Yên*", *Tạp chí Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường*, số 55, 181-188.

15. Trần Thực, và nnk (2014), "Tính toán nguy cơ gây ngập bởi nước biển dâng do siêu bão", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 3/2014, 30-36.
16. Trương Văn Bốn và cộng sự (2000), "Nghiên cứu hệ thống dự báo nước dâng do bão bằng cách kết hợp mô hình số trị thủy động hai và ba chiều", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 7(487), 37-40.
17. Trương Văn Bốn và cộng sự (2007), "Tính toán thủy triều, nước dâng khu vực ven bờ vịnh Bắc Bộ bằng mô hình toán", *Tạp chí Khoa Học Công Nghệ Thủy Lợi*, số 2/7, 27-32.
18. Trương Văn Bốn, Vũ Văn Ngọc (2016), "Nghiên cứu dự báo nguy cơ ngập lụt vùng ven biển Việt Nam khi xảy ra nước dâng do bão mạnh, siêu bão", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy lợi*, số 33/2016, 69-73.
19. Vũ Văn Ngọc, Trương Văn Bốn (2018), "Nghiên cứu, đánh giá khả năng ngập lụt vùng cửa sông ven biển tỉnh Quảng Ngãi do siêu bão", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, số 60(3), 7-10.
20. Nguyễn Thanh Cơ, Đinh Văn Minh, Nguyễn Văn Nơi (2021), "Ảnh hưởng của thủy triều đến nước dâng do bão ở vùng biển Đồ Sơn, Hải Phòng", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*, Tập 21, Số 4; 2021:471-480.
21. Phạm Văn Tiến và cộng sự (2021), "Ảnh hưởng của sóng trong bão tới ngập lụt vùng ven biển tỉnh Thái Bình", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, tập 724, 72-81; doi:10.36335/VNJHM.2021(724).72-81.

SIMULATION OF INUNDATION INDUCED BY WAVE OVERTOPPING OVER DO SON COASTAL DIKE

Vu Van Ngoc⁽¹⁾, Nguyen Thanh Bang⁽²⁾, Tran Dang Hung⁽²⁾

⁽¹⁾The Key Laboratory of River and Coastal Engineering

⁽²⁾The Viet Nam Institute of Meteorology, Hydrology and Climate Change

Received: 4/12/2023; Accepted: 9/1/2024

Abstract: Do Son coastal tourist area is protected by a coastal dike system with a dike elevation ranging from 3.7 meters to over 4.0 meters, consistently higher than the maximum sea level occurred. However, the residential areas, tourist zones, and related infrastructure behind the dike are frequently affected by large waves, causing wave overtopping and inundation. Previous inundation calculations for coastal areas have typically approached the issue through modelling, with a truth contrary being that inundation behind the dike is only considered when the water level is higher than the dike elevation. In this paper, the authors introduced an integrated simulation method that considers the overflow of the coastal dike and the inundation behind the dike simultaneously. Parameters including crest freeboard (R_c), wave height (H_s), wave period (T_p), and discharge (q) were entirely and continuously integrated in a single simulation.

Keywords: Do Son, MIKE 21 couple, EurOtop.