NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG TÁC ĐỘNG CỦA SÓNG VÀ NƯỚC DÂNG BÃO KHU VỰC VEN BIỂN MIỀN TRUNG

Trần Hồng Thái[1], Đoàn Quang Trí[2], Đinh Việt Hoàng[2]

Tóm tắt: *Nghiên cứu mô phỏng tác động của sóng và nước dâng do bão đến khu vực ven biển miền Trung bao gồm các tỉnh từ Nghệ An - Phú Yên. Nghiên cứu đã áp dụng các mô hình bão Fujita để thiết lập trường gió - áp, mô hình SWAN để mô phỏng trường sóng trong bão và mô hình SuWAT để mô phỏng nước dâng bão, ngập lụt do bão Ketsana (năm 2009) cho khu vực nghiên cứu. Kết quả mô phỏng trường gió - áp từ mô hình bão tương đối sát trường gió - áp ở vùng gần tâm bão, nhưng khu vực xa tâm bão rất khó chính xác. Bão Ketsana gây sóng lớn dọc ven biển Nghệ An - Phú Yên, đặc biệt là khu vực gần tâm bão gây sóng lớn trên 7 m tại khu vực bão đổ bộ. Ở ngoài khơi, bão Ketsana gây sóng lớn trên 5 m với phạm vi khoảng gần 400 km. Kết quả mô phỏng nước dâng lớn nhất trong trường hợp tính theo phương án tổ hợp trong bão Ketsana tại ven biển Quảng Nam - Quảng Ngãi ở mức xấp xỉ 1,5 m. Kết quả nghiên cứu cho thấy việc áp dụng các mô hình SWAN và SuWAT để tính toán và mô phỏng sóng và nước dâng do bão Ketsana nhằm xác định khả năng ngập lụt đóng vai trò hết sức cần thiết và mang ý nghĩa khoa học thực tiễn góp phần giảm thiểu thiệt hại do thiên tai gây ra.*

Từ khóa: *Bão Ketsana, nước dâng bão, Fujita, SWAN, SuWAT.*

Ban Biên tập nhận bài: 08/01/2018 Ngày phản biện xong: 25/02/2018 Ngày đăng bài: 25/03/2018

1. Mở đầu

Dưới tác động của biến đổi khí hậu đang diễn ra trên phạm vi toàn cầu, các thiên tai có nguồn gốc khí tượng thủy văn (KTTV) trong đó có bão ngày càng diễn biến phức tạp. Một trong những hệ quả tiêu cực trong bão là hiện tượng sóng lớn và nước dâng bão [10]. Sóng lớn trong bão có thể phá hủy các công trình ven biển và có thể làm chìm các tàu có trọng tải lớn. Tác động chính của nước dâng bão tới vùng ven bờ là ngập lụt, xâm nhập mặn và xói lở bờ biển, đặc biệt nếu bão xảy ra trong thời kỳ triều cường [14]. Có thể nhận thấy rằng, nghiên cứu và tính toán mô phỏng sóng, nước dâng bão là cần thiết và có ý nghĩa khoa học thực tiễn góp phần phòng tránh, giảm thiểu thiệt hại do thiên tai [4, 6, 8, 9, 11, 16]. Khi bão đổ bộ vào thời kỳ triều cường sẽ trở nên đặc biệt nguy hiểm do sự kết hợp của mực nước triều cao với nước dâng bão và sóng lớn trên mực nước nền cao sẽ tiến sâu hơn vào đất liền làm gia tăng diện tích ngập lụt vùng ven bờ cũng như phá hủy các công trình, gây thiệt hại nặng nề về người và của. Mức độ ngập lụt vùng ven bờ do nước dâng bão ngoài yếu tố thủy triều còn phụ thuộc vào địa hình trên bờ và lũ trong sông. Nước dâng bão kết hợp với thủy triều dâng cao sẽ làm giảm khả năng thoát lũ trên các sông. Một thí dụ điển hình như khu vực ven biển Thừa Thiên - Huế là nơi có địa hình trũng, bờ biển cấu tạo chủ yếu là cát, không có đê biển bao bọc nên đã xảy ra ngập lụt rất nặng nề của cơn bão mạnh Ketsana (năm 2009) [5]. Tại Việt Nam, hiện nay có khá nhiều công nghệ tính toán, mô phỏng trường gió-áp, sóng trong bão, nước dâng bão theo các kịch bản khác nhau hiện đã hoàn thiện. Để thiết lập trường gió-áp theo các tham số bão có thể sử dụng các mô

[1]*Tổng cục Khí tượng Thủy văn*
[2]*Tạp chí Khí tượng Thủy văn*
Email: doanquangtrikttv@gmail.com

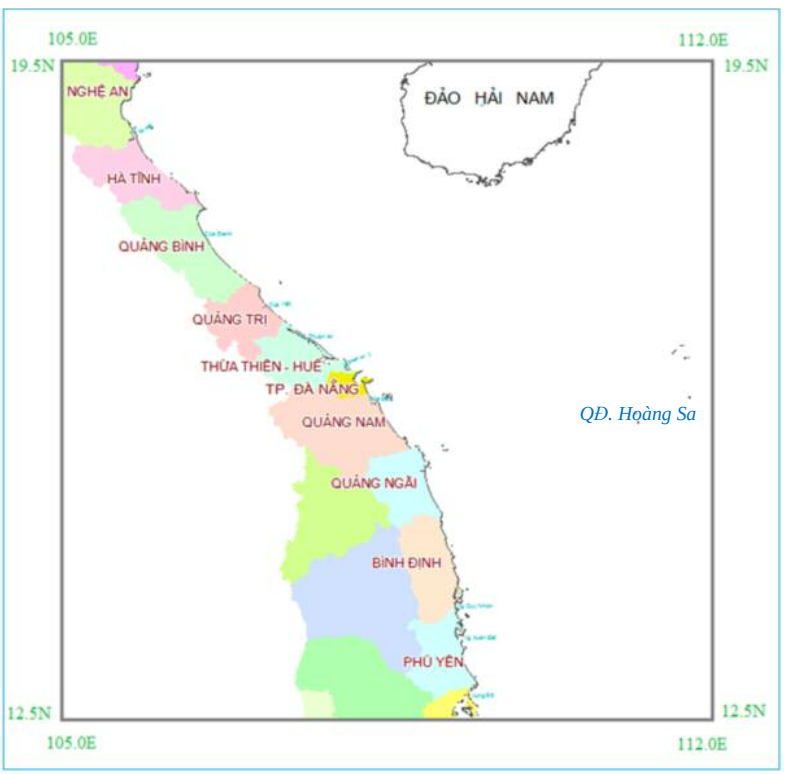
hình bão giải tích như Fujita [3], Hollans, Boose ... hoặc sử dụng trường gió - áp tái phân tích. Đối với sóng biển, có thể sử dụng mô hình SWAN để tính toán mô phỏng. Để mô phỏng nước dâng bão, có thể sử dụng các mô hình số như: Delft3D, MIKE [2], ROMS, SuWAT [11, 16].

Trong nghiên cứu này, mô hình SWAN được sử dụng để mô phỏng trường sóng trong bão và mô hình SuWAT mô phỏng nước dâng, ngập lụt do bão Ketsana (năm 2009) cho khu vực nghiên cứu. Các mô hình này hiện đang được sử dụng trong công tác dự báo nghiệp vụ tại Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn (KTTV) quốc gia. Trường gió, áp đầu vào cho các mô hình sóng và nước dâng là tổ hợp của trường gió - áp tính theo mô hình bão Fujita và dữ liệu tái phân tích.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1 Miêu tả khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là vùng biển các tỉnh từ Nghệ An đến Phú Yên thuộc vùng biển miền Trung của Việt Nam, được giới hạn từ vĩ độ 12.5^{0}N đến 19.5^{0}N và kinh độ từ 105.0^{0}E đến 112.0^{0}E (Hình 1). Về vị trí địa lý, khu vực miền Trung có phía Bắc giáp khu vực đồng bằng Sông Hồng và Trung du miền núi Bắc Bộ; phía Nam giáp các tỉnh thuộc Nam Bộ; phía Đông giáp Biển Đông và phía Tây giáp hai nước Lào và Campuchia. Dải đất miền Trung được bao bọc bởi những dãy núi chạy dọc bờ phía Tây và sườn bờ biển phía Đông, vùng có chiều ngang theo hướng Đông - Tây hẹp nhất Việt Nam (khoảng 50 km) nằm trên địa bàn tỉnh Quảng Bình. Địa hình Trung Bộ có độ cao thấp dần từ khu vực miền núi xuống trung du, xuôi xuống các đồng bằng phía trong dải cồn cát ven biển ra đến các đảo ven bờ. Khu vực miền Trung có thể coi là nơi thường xuyên chịu nhiều ảnh hưởng của thiên tai nhất cả nước. Hàng năm, khu vực này chịu ảnh hưởng của 4 đến 5 cơn bão, áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) và kèm theo đó là thiệt hại rất lớn cả về người và của cải vật chất [12].



Hình 1. Phạm vi khu vực nghiên cứu (Nghệ An - Phú Yên)

2.2 Thu thập số liệu

- Tham số bão: trong nghiên cứu này, nguồn số liệu tham số bão được lấy trên website của Cơ quan Khí tượng Nhật Bản (JMA:http://ds.data.jma.go.jp).

- Dữ liệu gió, áp tái phân tích: nguồn dữ liệu JRA-25 (*Japanese 25-year Reanalysis*), được Cơ quan khí tượng Nhật Bản (JMA) hợp tác với Viện nghiên cứu Trung tâm về công nghệ năng lượng điện của Nhật Bản xây dựng. Nguồn dữ liệu JRA-25 gồm các số liệu quan trắc được thu thập chi tiết của JMA dựa trên hệ thống đồng hóa số liệu tiên tiến để xây dựng bộ số liệu tái phân tích có chất lượng và độ tin cậy cao. Với chu trình đồng hóa số liệu 06h, JRA-25 bao gồm các trường số liệu phân tích 06h và trường dự báo của nhiều biến vật lý khác nhau với độ phân giải là khoảng 120 km theo phương ngang và 40 mực thẳng đứng, từ mặt đất lên đến mực 0.4hPa. Bên cạnh các số liệu quan trắc mặt đất truyền thống và số liệu cao không, số liệu gió từ các vệ tinh địa tĩnh, nhiệt độ sáng, giáng thủy tính toán từ các thiết bị đo bức xạ trên các vệ tinh cực cũng được sử dụng trong quá trình đồng hóa số liệu. Nguồn số liệu JRA-25 được thu thập theo địa chỉ cung cấp bởi JMA như sau: http://ds.data.jma.go.jp.

- Số liệu quan trắc: để đánh giá kết quả mô phỏng chúng tôi thu thập các dữ liệu quan trắc tại một số Trạm quan trắc, cụ thể như sau: Trạm khí tượng hải văn: Hòn Ngư (Nghệ An), Cồn Cỏ (Quảng Trị), Sơn Trà (Đà Nẵng) và Quy Nhơn (Bình Định); Trạm khí tượng: Kỳ Anh (Hà Tĩnh), Đồng Hới (Quảng Bình), Đông Hà (Quảng Trị), Huế (Thừa Thiên Huế), Đà Nẵng (Đà Nẵng), Tam Kỳ (Quảng Nam), Trà My (Quảng Nam), Lý Sơn (Quảng Ngãi), Quảng Ngãi (Quảng Ngãi) và Tuy Hòa (Phú Yên). Tại các Trạm khí tượng hải văn sẽ thu thập các yếu tố: gió, khí áp, độ cao sóng và mực nước; Trạm khí tượng thu thập yếu tố gió và khí áp. Ngoài ra, riêng đối với số liệu mực nước cũng thu thập thêm tại một số trạm thủy văn cửa sông ven biển.

- Thời gian thu thập: là thời gian bão (bão Ketsana năm 2009) bắt đầu đi vào khu vực Biển Đông đến khi bão suy yếu thành áp thấp nhiệt đới.

2.3 Mô hình bão Fujita

Trong nghiên cứu này, mô hình bão giải tích của Fujita được sử dụng để mô phỏng trường gió, áp cho cơn bão quá khứ Ketsana (2009). Mô hình bão Fujita được lựa chọn là do đã được sử dụng trong nhiều tính toán trong việc thiết lập trường gió, áp làm đầu vào cho mô hình tính toán sóng và nước dâng do bão.Trong mô hình bão giải tích của Fujita (1952), trường áp suất khí quyển được tính theo công thức:

$$P(r) = P_\infty - \frac{P_\infty - P_c}{\sqrt{1+(r/r_0)^2}} \quad (1)$$

Trong đó: Pc là áp suất ở tâm bão; P∞ là áp suất ở rìa bão; r0 là bán kính gió cực đại; r là khoảng cách từ tâm bão tới điểm tính. Vận tốc gió gradien được tính theo mối liên hệ với phân bố của áp xuất khí quyển như dưới đây:

$$-\frac{v^2}{r} - fv = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial r} \rightarrow V_g = \frac{fr}{2}\left[-1+\sqrt{1+\frac{4\Delta P}{\rho_a r_0^2 f^2}\left\{1+\left(\frac{r}{r_0}\right)^2\right\}^{-\frac{3}{2}}}\right] \quad (2)$$

Vận tốc gió tính theo tốc độ di chuyển của bão như sau: $V_F = c_2 V_t e^{-\frac{\pi r}{500}}$; tổng hợp 2 thành phần này ta có vận tốc tổng hợp như sau:

$$\mathbf{v} = \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = c_1 \begin{pmatrix} -V_g(\sin\alpha\cdot\cos\theta + \cos\alpha\cdot\sin\theta) \\ V_g(\cos\alpha\cdot\cos\theta - \sin\alpha\cdot\sin\theta) \end{pmatrix} + c_2 \begin{pmatrix} v_{tx} \\ v_{ty} \end{pmatrix} e^{-\frac{\pi r}{500}} \quad (3)$$

2.4 Mô hình tính toán, dự báo sóng SWAN

Mô hình SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) được phát triển tại Viện Thủy lực Delft, Hà Lan [1] đã và đang được sử dụng rộng rãi tại nhiều nước trên thế giới, trong đó có Việt Nam. Mô hình SWAN cho phép tính toán các đặc trưng sóng vùng gần bờ, trong các hồ và vùng cửa sông từ các điều kiện của gió, điều kiện đáy và dòng chảy. Trong mô hình SWAN các sóng được mô tả bằng phổ mật độ tác động sóng hai chiều. Phương trình cân bằng phổ mật độ tác động cơ bản được sử dụng trong những điều kiện phi tuyến cao. Trong mô hình SWAN phổ mật độ tác động N(δ,θ) được chú ý hơn bởi vì, khi có mặt dòng chảy mật độ tác động được bảo toàn trong khi phổ mật độ năng lượng thì không. Các biến độc lập là tần số δ và hướng sóng θ. Mật độ tác động được tính bằng mật độ năng lượng chia cho tần số.

Trong SWAN sự tiến triển của phổ sóng được mô tả bằng phương trình cân bằng tác động phổ được viết trong hệ toạ độ Đề Các:

$$\frac{\partial}{\partial t}N+\frac{\partial}{\partial x}C_xN+\frac{\partial}{\partial y}C_yN+\frac{\partial}{\partial \sigma}C_\sigma N+\frac{\partial}{\partial \theta}C_\theta N=\frac{S}{\sigma} \quad (4)$$

Trong đó: Thành phần đầu trong vế trái là thay đổi của phổ mật độ tác động theo thời gian. Thành phần thứ hai và thứ ba là sự lan truyền của phổ mật độ tác động trong không gian địa lý (với vận tốc truyền là C_x và C_y tương ứng trong hướng x và y). Thành phần thứ tư biểu thị sự thay đổi của tần số dưới ảnh hưởng của độ sâu và dòng chảy (với vận tốc truyền là C_{δ}). Thành phần thứ năm biểu thị sự tác động của độ sâu và dòng chảy đối với hiệu ứng khúc xạ. Vế phải của phương trình biểu thị các nguồn năng lượng sóng được cung cấp và tiêu tán trong quá trình truyền sóng với S là hàm nguồn.

Quá trình năng lượng truyền từ gió cho sóng trong mô hình SWAN được mô tả thông qua hai cơ chế: cơ chế cộng hưởng [15] và cơ chế phản hồi [13]. Giá trị nguồn năng lượng của gió tương ứng với hai cơ chế trên được biểu thị bằng tổng của quá trình tăng tuyến tính và quá trình tăng theo hàm mũ. Giá trị hàm nguồn có dạng:

$$S_{in}(\sigma,\theta)=A+BE(\sigma,\theta) \quad (5)$$

Trong đó: A là hệ số tăng tuyến tính, B là hệ số tăng theo hàm mũ. Hệ số A và B phụ thuộc vào tần số và bước sóng đồng thời phụ thuộc vào vận tốc và hướng của gió.

Trong mô hình 1D, nước dâng do sóng tính bằng cách tích phân phương trình cân bằng mô men, đó là sự cân bằng giữa tác động sóng (gradient ứng suất phát xạ) và gradient áp suất thuỷ tĩnh.

$$F_x+gd\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x}=0 \quad (6)$$

Trong đó: d là độ sâu nước tổng cộng, *n* là mực nước dâng so với mực nước trung bình.

2.5 Mô hình SuWAT

SuWAT (*Surge Wave and Tide*) là mô hình tích hợp thủy triều, sóng biển và nước dâng trong bão. Mô hình được xây dựng tại đại học Kyoto Nhật Bản, bao gồm hai mô hình thành phần là: mô hình thủy triều và nước dâng dựa trên hệ phương trình nước nông phi tuyến hai chiều có tính đến nước dâng do ứng suất bức xạ sóng và ứng suất bề mặt do sóng trong bão và mô hình SWAN tính toán sóng. Mô hình cho phép thiết lập một số lớn các miền tính lồng nhau thông qua giao diện MPI (*Message Passing Interface*). Hệ phương trình nước nông phi tuyến hai chiều mô phỏng thủy triều và nước dâng trong bão có xét đến thành phần ứng suất bức xạ gây ra bởi sóng được mô tả như sau:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=0$$

$$\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M^2}{d}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{MN}{d}\right)+gd\frac{\partial \eta}{\partial x}=fN-\frac{1}{\rho_w}d\frac{\partial P}{\partial x}+\frac{1}{\rho_w}\left(\tau_S^x-\tau_b^x+F_x\right)+A_h\left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 M}{\partial y^2}\right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N^2}{d}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{NM}{d}\right)+gd\frac{\partial \eta}{\partial y}=-fM-\frac{1}{\rho_w}d\frac{\partial P}{\partial y}+\frac{1}{\rho_w}\left(\tau_S^y-\tau_b^y+F_y\right)+A_h\left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 N}{\partial y^2}\right)$$

Trong đó η là dao động mực nước bề mặt (m); M, N là lưu lượng trung bình theo độ sâu hướng x và y (m^3/s); f là tham số Coriolis; P là áp suất khí quyển (hPa); g là gia tốc trọng trường (m/s^2); d là độ sâu tổng cộng d= η+h (m); là khuếch tán rối theo phương ngang; p_w là mật độ nước (kg/m^3); F_x, F_y là lực gây bởi ứng suất bức xạ sóng (kg/ms^2); τ_b là ứng suất đáy (kg/ms^2); n là hệ số nhám Manning (m/s1/3); τ_s là ứng suất bề mặt (kg/ms^2).

Điều kiện biên phản xạ được được sử dụng cho biên cứng, trong khi đó biên lỏng dùng điều kiện phát xạ. Độ ổn định của mô hình được xác định theo chỉ tiêu Courant (*Courant stability criterion*) về mối quan hệ giữa bước thời gian (Δt) và không gian (Δx, Δy).

3. Kết quả và thảo luận

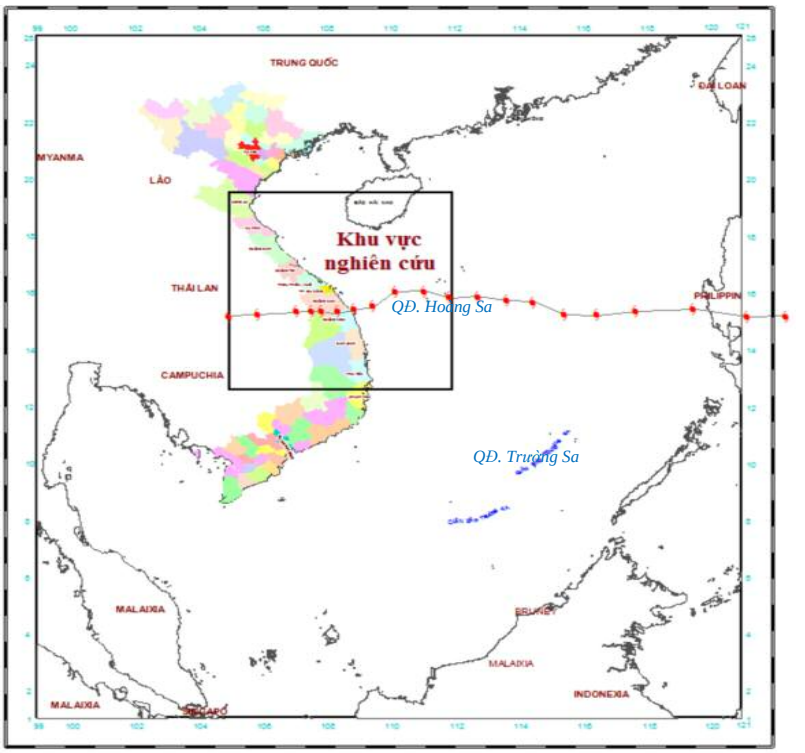
3.1 Mô tả kịch bản mô phỏng

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ tiến hành mô phỏng trường gió, áp, sóng biển và nước dâng cho cơn bão điển hình trong quá khứ đổ bộ vào khu vực Nghệ An - Phú Yên, đó là bão Ketsana năm 2009. Bão Ketsana có thể coi là cơn bão có mức tàn phá lớn, gây thiệt hại cả về người và ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống kinh tế xã hội các tỉnh khu vực Trung Bộ.

Bão Ketsana: Sáng ngày 23 tháng 9 năm 2009, một vùng áp thấp ở phía Đông miền Trung của Philippin đã mạnh lên thành ATNĐ và mạnh lên thành bão trong ngày 26/9 và có tên quốc tế là Ketsana. Đây là cơn bão thứ 16 hoạt động trên khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương trong năm 2009. Bão Ketsana di chuyển với tốc độ nhanh và là cơn bão số 9 trên Biển Đông. Bão Ketsana có cường độ rất mạnh, bão ảnh hưởng trực tiếp đến khu vực các tỉnh từ Nghệ An đến Phú Yên.

Tham số bão Ketsana và dữ liệu về tham số bão (*best track*) được lấy từ website của Cơ quan khí tượng Nhật Bản (JMA). Trên hình 2 là ảnh chụp vệ tinh của bão Ketsana. Quỹ đạo bão Ketsana theo dữ liệu best track được thể hiện trên hình 3.

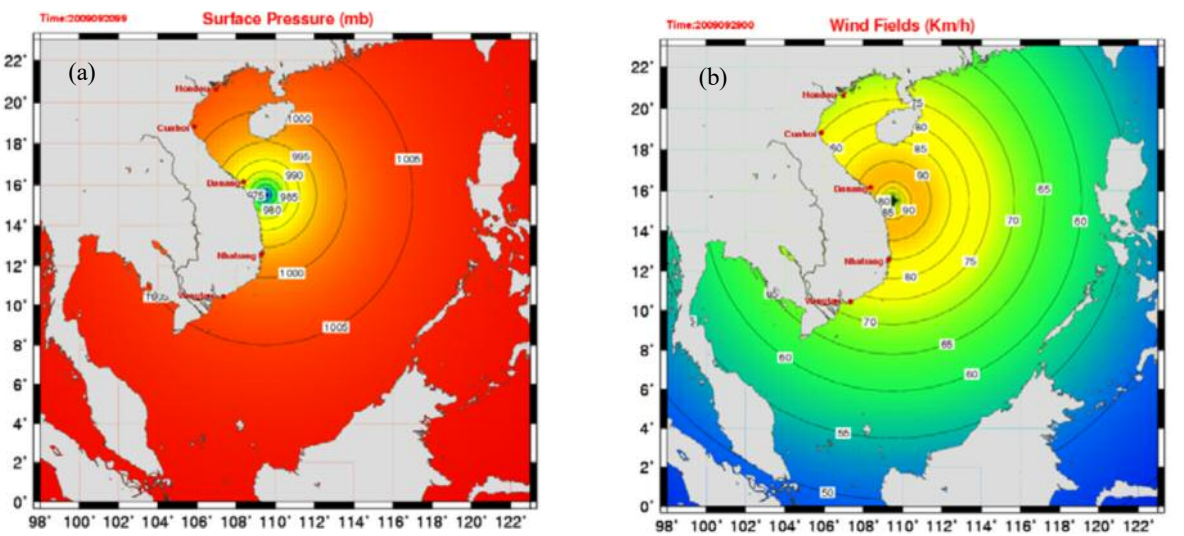
Hình 2. Ảnh vệ tinh của cơn bão Ketsana lúc 09 giờ 00 ngày 27/9 [12]



Hình 3. Quỹ đạo bão Ketsana (năm 2009)

3.2 Kết quả mô phỏng trường gió và khí áp

Trường áp và trường gió lúc trong bão Ketsana mô phỏng bằng mô hình bão Fujita được thể hiện trong các hình 4a - 4b. Nhận thấy rằng, khi mô phỏng gió, áp bằng mô hình bão nói chung thì cơ bản chỉ mô phỏng tương đối sát gió, áp ở vùng gần tâm bão, nhưng khu vực xa tâm bão rất khó chính xác.



Hình 4. (a) Mô phỏng trường áp trong bão Ketsana (00UTC, 29/09/2009);
(b) Mô phỏng trường gió trong bão Ketsana (00UTC, 29/09/2009)

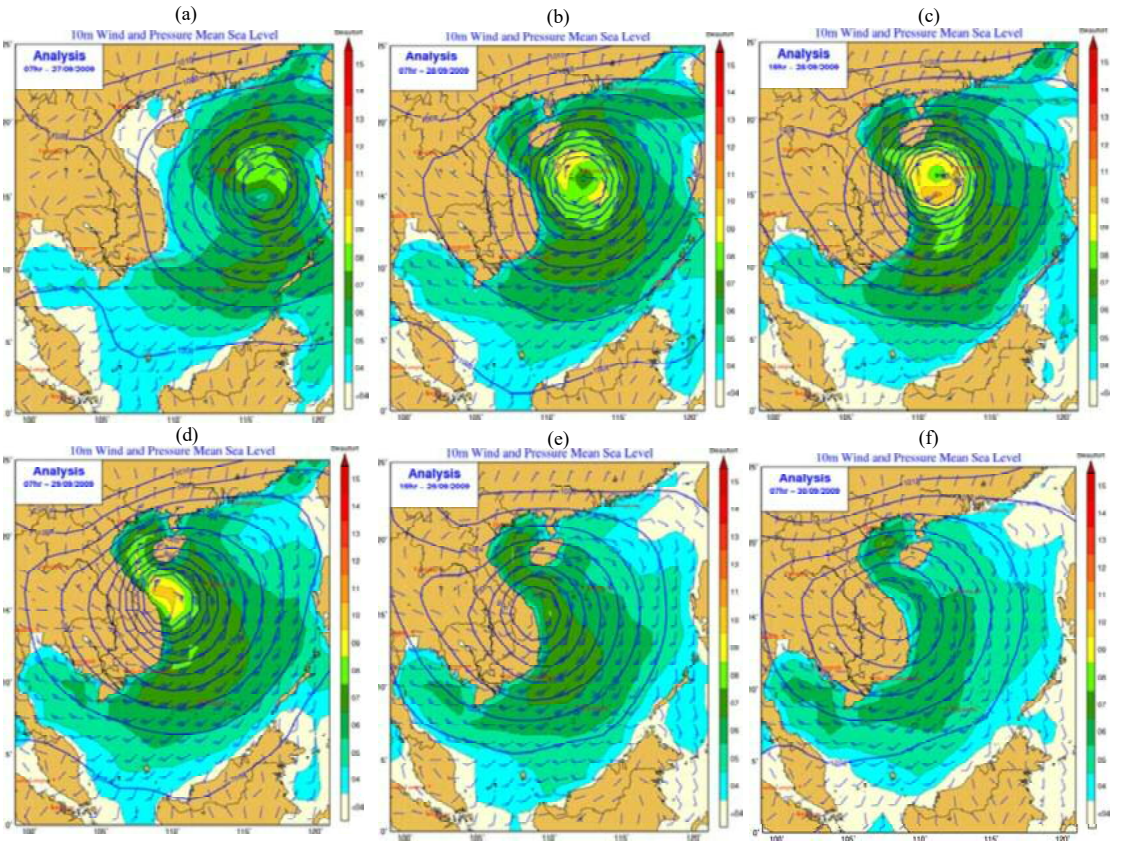
Bảng 1 đưa ra so sánh giữa kết quả tính toán mô phỏng tốc độ gió bằng mô hình bão Fujita trong bão Ketsana tại một số trạm. Qua đó cho thấy, về cơ bản mô hình mô phỏng tương đối sát với thực tế. Tuy nhiên, tại vị trí tâm bão dữ liệu phù hợp hơn so với vị trí xa tâm bão. Tại khu vực tâm bão, thường cao hơn so với kết quả quan trắc.

Bảng 1. So sánh giữa dữ liệu mô phỏng tốc độ gió trong bão Ketsana và quan trắc tại trạm Cồn Cỏ (Quảng Trị) và Lý Sơn (Quảng Ngãi)

Cồn Cỏ (Quảng Trị)			Lý Sơn (Quảng Ngãi)		
Giờ (Hà Nội)	Quan trắc (m/s)	Tính toán (m/s)	Giờ (Hà Nội)	Quan trắc (m/s)	Tính toán (m/s)
2009092707	4	2	2009092707	9	7
2009092713	6	3	2009092713	9	7
2009092719	6	3	2009092719	9	8
2009092801	6	4	2009092801	13	11
2009092807	8	7	2009092807	15	13
2009092813	10	7	2009092813	21	20
2009092819	8	8	2009092819	23	21
2009092901	12	9	2009092901	25	26
2009092907	12	9	2009092907	27	30
2009092913	13	10	2009092913	5	12
2009092919	17	13	2009092919	10	8
2009093001	11	9	2009093001	6	7
2009093007	9	7	2009093007	8	5
2009093013	9	5	2009093013	8	6
2009093019	7	5	2009093019	7	4

Bên cạnh việc thiết lập trường gió, áp bằng mô hình bão giải tích, nghiên cứu cũng đưa ra trường gió, áp theo phương án tổ hợp (dựa trên đồng hóa giữa dữ liệu mô phỏng bằng mô hình Fujita với dữ liệu tái phân tích). Đồng thời cũng so sánh độ tin cậy giữa dữ liệu mô phỏng bằng mô hình Fujita và phương án tổ hợp để lựa chọn dữ liệu làm đầu vào cho các mô hình mô phỏng sóng và nước dâng bão. Dưới đây sẽ đưa ra một số kết quả mô phỏng tổ hợp và những đánh giá, phân tích giữa kết quả mô phỏng bằng mô hình Fujita, phương án tổ hợp với số liệu quan trắc thực tế tại một số trạm đo khí tượng thủy văn. Hình 5a - 5f dưới đây thể hiện trường gió, khí áp trong bão Ketsana mô phỏng theo phương án tổ hợp. So sánh giữa kết quả tính toán mô phỏng tốc độ gió mạnh nhất trong bão Ketsana tại một số trạm được thể hiện trong bảng 2.

Qua phân tích cho thấy, khi mô phỏng bằng mô hình Fujita, kết quả mô phỏng thường cao hơn so với quan trắc, nhất là tại tâm bão. Tại khu vực xa tâm bão, kết quả mô phỏng Fujita thường không sát với thực tế. Với dữ liệu mô phỏng tổ hợp, kết quả mô phỏng có xu hướng nhỏ hơn thực tế nhưng đối với khu vực xa tâm bão thì kết quả mô phỏng vẫn khá tốt và ổn định. Điều đó cho thấy, khi sử dụng dữ liệu tổ hợp sẽ tối ưu hơn chỉ sử dụng kết quả mô phỏng bằng mô hình Fujita. Chính vì thế, trường gió, áp tổ hợp được sử dụng làm đầu vào cho các mô hình tính toán mô phỏng sóng và nước dâng do bão.



Hình 5. Trường gió trong bão Ketsana mô phỏng theo phương án tổ hợp: (a) 00Z, ngày 27/09/2009; (b) 00Z, ngày 28/09/2009, (c) 12Z, ngày 28/09/2009, (d) 00Z, ngày 29/09/2009, (e) 12Z, ngày 29/09/2009, (f) 00Z, ngày 30/09/2009

Bảng 2. So sánh kết quả mô phỏng tốc độ gió mạnh nhất trong bão Ketsana

TT	Khu vực	Quan trắc (m/s)	Tính toán mô phỏng (m/s)	
			Fujita	Tổ hợp
1	Hòn Ngư (Nghệ An)	16	13	14
2	Kỳ Anh (Hà Tĩnh)	14	12	12
3	Đồng Hới (Quảng Bình)	14	13	13
4	Đông Hà (Quảng Trị)	13	12	12
5	Huế (Thừa Thiên Huế)	11	10	9
6	Sơn Trà (Đà Nẵng)	22	20	23
7	Tam Kỳ (Quảng Nam)	16	17	14
8	Lý Sơn (Quảng Ngãi)	32	34	30
9	Quy Nhơn (Bình Định)	13	9	10
10	Tuy Hòa (Phú Yên)	11	8	8

3.3 Mô phỏng trường sóng trong bão

3.3.1. Thiết kế lưới lồng mô phỏng sóng trong bão cho khu vực biển Nghệ An - Phú Yên

Nhằm mô phỏng tối ưu nhất trường sóng trong bão cho khu vực nghiên cứu, mô hình SWAN sử dụng với cấu trúc lưới lồng 02 lớp. Thông tin về miền tính và lưới tính được thể hiện chi tiết dưới đây:

- Lưới tính Biển Đông: đây là miền tính lớn nhất được xây dựng với độ phân giải ngang là 4 phút (khoảng 7.4 km x 7.4 km), bao phủ từ vĩ độ 01^0 - $25^0$0N, kinh độ 99^0 - 121^0E.

- Lưới tính khu vực Nghệ An - Phú Yên: lưới tính được thiết lập để mô phỏng sóng cho khu vực nghiên cứu với độ phân giải ngang khoảng 1,85 km. Hệ thống lưới lồng được xây dựng riêng cho các khu vực nghiên cứu nhằm có thể chi tiết hóa sự biến đổi phức tạp của địa hình của khu vực ven bờ nhằm tăng độ chính xác của tính toán. Dữ liệu địa hình được lấy từ các nguồn: GEBCO (*General Bathymetry Chart of the Ocean*), BODC (*British Ocean Data Center*), GEODAS, và số liệu được số hóa từ bản đồ địa hình đáy biển tỉ lệ 1/100.000 của Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam. Bảng 3 mô tả thông tin chi tiết về các lưới tính cho mô hình SWAN mô phỏng sóng trong bão cho khu vực ven biển Nghệ An - Phú Yên.

Bảng 3. Thông tin lưới tính cho mô hình SWAN mô phỏng sóng trong bão cho khu vực biển Nghệ An - Phú Yên

	Lưới tính Biển Đông	**Lưới tính khu vực**
Giới hạn	01^0N -25^0Nvà 99^0N -121^0N	12.5^0N - 19.5^0N và 105.0^0E - 112.0^0E
Độ phân giải	7.4 km	1.85 km

3.3.2. Kết quả mô phỏng trường sóng trong bão

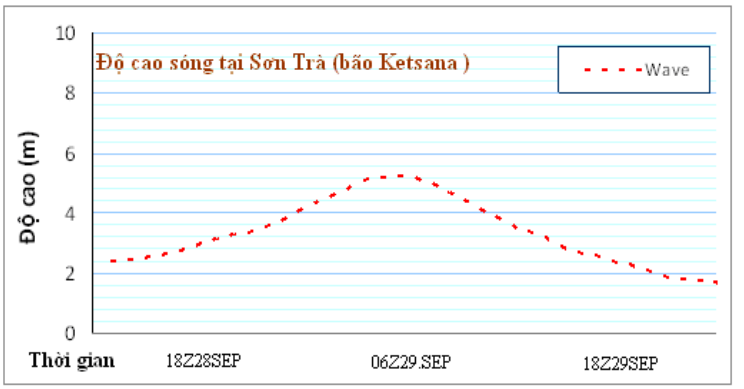
Nghiên cứu đã triển khai tính toán mô phỏng trường sóng cơn bão trong quá khứ là bão Ketsana (năm 2009) với trường gió đầu vào được tính theo phương án tổ hợp giữa mô hình bão giải tích và dữ liệu tái phân tích. Kết quả tính toán sóng lớn nhất tại một số khu vực biển từ Nghệ An - Phú Yên được thể hiện trong bảng 4. Cơn bão Ketsana gây sóng lớn dọc ven biển Nghệ An - Phú Yên, đặc biệt là khu vực gần tâm bão đổ bộ. Bão Ketsana gây sóng lớn trên 7 m tại khu vực bão đổ bộ. Ở ngoài khơi, bão Ketsana gây sóng lớn trên 5 m với phạm vi khoảng gần 400 km.

Bảng 4. Độ cao sóng lớn nhất tại một số khu vực thuộc vùng biển Nghệ An - Phú Yên trong bão Ketsana

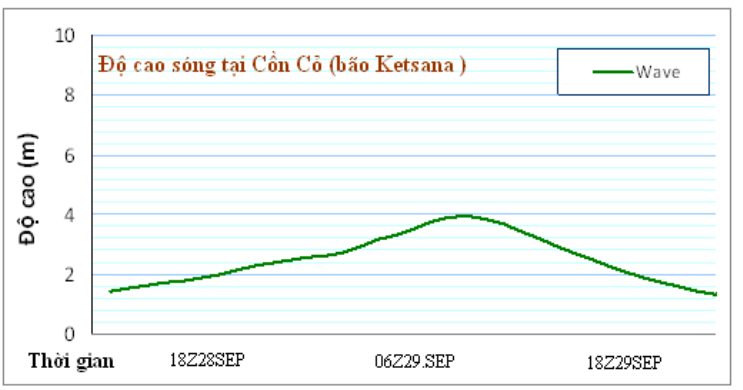
TT	**Vùng biển**	**Độ cao sóng (m)**
1	Nghệ An	2.6
2	Hà Tĩnh	2.2
3	Quảng Bình	3.5
4	Quảng Trị	4.0
5	Thừa Thiên Huế	4.8
6	Đà Nẵng	5.3
7	Quảng Nam	6.1
8	Quảng Ngãi	7.2
9	Bình Định	3.2
10	Phú Yên	2.0

Hình 6 - 7 thể hiện dao động độ cao sóng trong bão tại một số vị trí trong bão Ketsana. Có thể thấy rằng, thời gian duy trì sóng lớn trên 2 m tại khu vực gần vị trí bão đổ bộ là khá dài, nơi khá xa vị trí bão đổ bộ (khoảng 350 km), cũng gây sóng lớn lên đến 4 m.

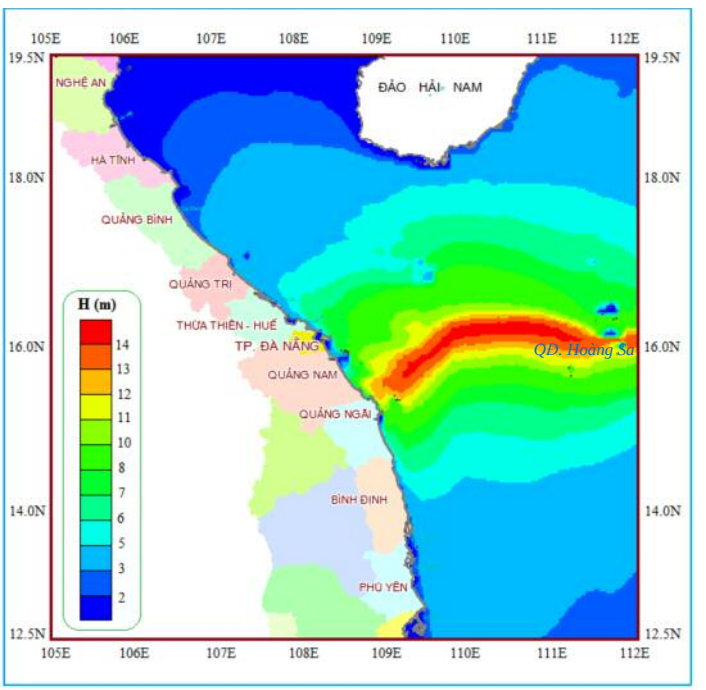
Trường sóng cực đại trên vùng biển Nghệ An - Phú Yên trong bão Ketsana mô phỏng theo mô hình SWAN được thể hiện qua hình 8.



Hình 6. Dao động của độ cao sóng trong bão Ketsana tại Sơn Trà



Hình 7. Dao động của độ cao sóng trong bão Ketsana tại Cồn Cỏ



Hình 8. Trường sóng cực đại trên vùng biển Nghệ An - Phú Yên (bão Ketsana)

3.4 Kết quả mô phỏng nước dâng bão

3.4.1. Xây dựng lưới lồng mô phỏng nước dâng bão cho khu vực biển Nghệ An - Phú Yên

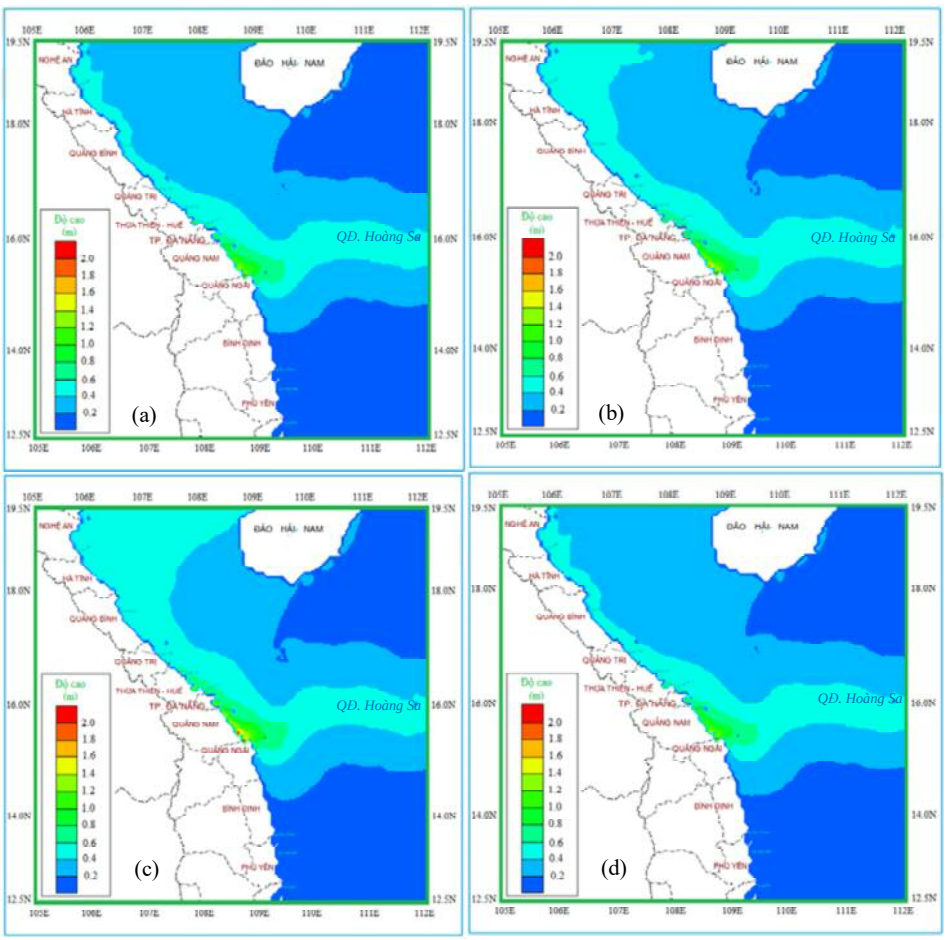
Mô hình SuWAT với cấu trúc lưới lồng nhiều lớp sẽ đảm bảo chi tiết hóa sự biến đổi phức tạp của địa hình của khu vực ven bờ nhằm tăng độ chính xác của tính toán mô phỏng nước dâng bão. Để mô phỏng nước dâng cho khu vực ven biển Nghệ An - Phú Yên, nghiên cứu sử dụng cấu trúc lưới lồng 02 lớp. Miền tính và lưới tính lồng 02 lớp cho mô hình SuWAT được thiết kế tương tự như đối với mô hình SWAN. Theo cấu trúc của mô hình SuWAT, lưới tính với độ phân giải thấp hơn sẽ sử dụng kết quả tính mực nước và dòng chảy từ lưới thô làm điều kiện biên lỏng. Tại các biên cứng, điều kiện phản xạ toàn phần được áp dụng.

3.4.2. Kết quả mô phỏng nước dâng do bão

Nghiên cứu triển khai tính toán mô phỏng nước dâng do bão theo 04 kịch bản, cụ thể như sau:

Kịch bản 1: Phương án gió - áp: tính nước dâng chỉ tính tới ảnh hưởng của trường gió và khí áp; Kịch bản 2: Phương án kết hợp với thủy triều: tính nước dâng bão có xét đến ảnh hưởng của thủy triều; Kịch bản 3: Phương án kết hợp với sóng biển: tính nước dâng bão có xét đến ảnh hưởng của sóng biển; Kịch bản 4: Phương án tổ hợp: tính nước dâng bão có xét đến ảnh hưởng của tổ hợp (gió - áp, thủy triều và sóng biển).

Hình 9 là trường nước dâng cực đại trong bão Ketsana theo 04 kịch bản mô phỏng. Nhận thấy rằng, khi xét tới ảnh hưởng của thủy triều, nước dâng cực đại không có thay đổi nhiều. Tuy nhiên, khi xét đến ảnh hưởng của sóng, độ cao nước dâng cực đại có thay đổi đáng kể, nhất là khu vực gần vị trí bão đổ bộ.



Hình 9. Trường nước dâng cực đại trong bão Ketsana tại ven biển Nghệ An - Phú Yên: (a) phương án gió - áp; (b) phương án kết hợp với thủy triều; (c) phương án kết hợp với sóng biển; (d) phương án tổ hợp

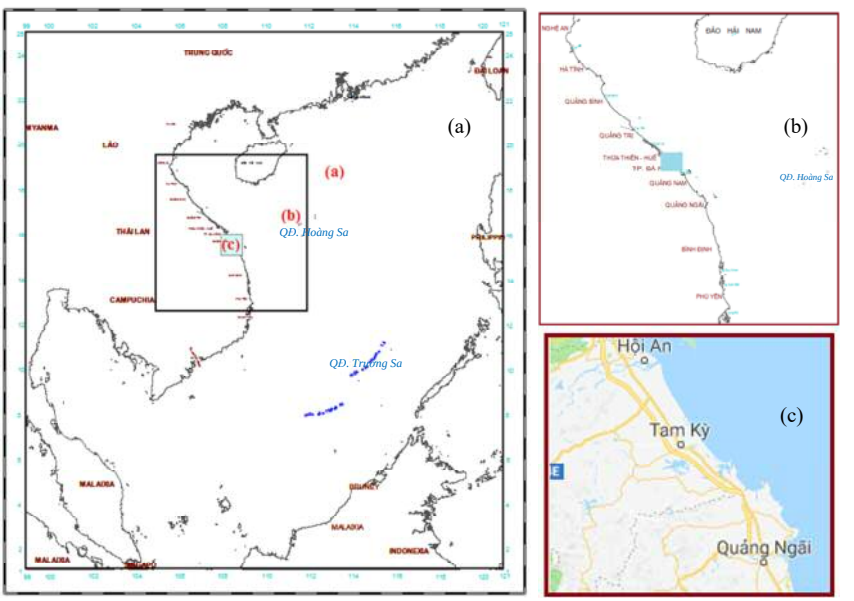
3.5 Kết quả mô phỏng ngập lụt ven biển do nước dâng bão

3.5.1. Xây dựng lưới tính cho mô hình mô phỏng ngập lụt

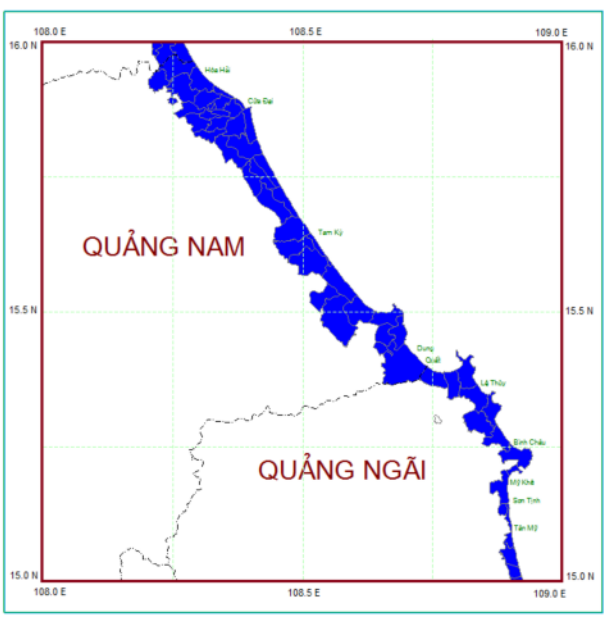
Ngoài khả năng tính toán nước dâng bão, mô hình SuWAT còn có chức năng mô phỏng ngập lụt ven biển do nước dâng bão. Do tính toán ngập lụt ven biển đòi hỏi nhiều thời gian tính toán, cho nên để tiết kiệm thời gian vận hành mô hình chúng thiết kế lưới lồng 03 lớp và mỗi cơn bão sẽ có lưới tính chi tiết (lưới tính c có độ phân giải 0,925 km) (Hình 10).

Bảng 5. Thông tin lưới tính ngập lụt do bão Ketsana

Lưới tính Biển Đông (a)		Lưới tính khu vực (b)	Lưới tính chi tiết (c)
		Nghệ An-Phú Yên	Ketsana
Giới hạn	01^0N -25^0N và 99^0N -121^0N	12.5^0N - 19.5^0N và 105.0^0E - 112.0^0E	15.5^0N - 16.5^0N và 107.5^0E - 108.5^0E
Độ phân giải	7.4km	1.85km	0.925km



Hình 10. Sơ đồ miền tính ngập lụt do bão Ketsana (năm 2009)



Hình 11. Mô phỏng ngập lụt ven biển do nước dâng bão Ketsana

Kết quả mô phỏng ngập lụt do nước dâng bão Ketsana được thể hiện trên hình 11. Cơn bão này gây ngập lụt trên diện tích khá lớn khu vực ven biển nơi bão đổ bộ. Bão Ketsana gây ngập chủ yếu ở khu vực ven biển Quảng Nam và một số huyện ven biển tỉnh Quảng Ngãi như Lệ Thủy, Bình Châu, Mỹ Khê, Sơn Tinh và Tân Mỹ.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, nhóm thực hiện đã sử dụng mô hình SuWAT mô phỏng nước dâng cho khu vực Nghệ An - Phú Yên theo nhiều kịch bản khác nhau (chỉ tính nước dâng thuần túy; tính đến nước dâng có kết hợp với thủy triều và sóng biển). Đối với sóng biển, đã áp dụng mô hình SWAN mô phỏng trường sóng trong bão. Ngoài mô phỏng sóng và nước dâng bão, nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng ngập lụt do nước dâng bão. Cơn bão quá khứ được lựa chọn để mô phỏng sóng, nước dâng và ngập lụt do nước dâng là bão Ketsana (năm 2009). Hiện nay, hai mô hình SWAN và SuWAT đang được sử dụng trong dự báo nghiệp vụ tại Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia. Qua các kết quả tính toán mô phỏng chúng tôi đưa ra một số nhận định như sau:

- Mô phỏng gió, áp: thiết lập trường gió, áp theo các tham số bão là rất quan trọng cho việc mô phỏng các trường sóng, nước dâng và ngập lụt do nước dâng. Qua so sánh với số liệu quan trắc cho thấy, dữ liệu gió - áp tính theo phương án tổ hợp (đồng hóa giữa mô phỏng bằng mô hình bão Fujita và dữ liệu tái phân tích) đảm bảo độ tin cậy ở mức cho phép. Như vậy, việc sử dụng dữ liệu gió - áp theo phương án tổ hợp làm đầu vào cho các mô hình mô phỏng các trường sóng, nước dâng và ngập lụt do nước dâng sẽ tối ưu hơn việc chỉ sử dụng gió, áp từ mô hình bão giải tích hoặc dữ liệu tái phân tích.

- Sóng trong bão: bão Ketsana là cơn bão mạnh có khả năng gây sóng lớn trên 10 m nơi tâm bão đi qua ở vùng biển ngoài khơi cách bờ khoảng trên 50 km. Tại vùng ven bờ khu vực gần vị trí tâm bão đổ bộ, bão Ketsana cũng gây sóng lớn phổ biến từ 3 - 5 m. Ngoài ra, thời gian duy trì sóng lớn trên 3 m trong bão Ketsana khu vực gần tâm bão phổ biến trên 48 giờ, điều đó sẽ rất khó khăn cho công tác tìm kiếm cứu hộ, cứu nạn trên biển trong trường hợp xuất hiện sự cố.

- Nước dâng do bão: nước dâng lớn nhất trong trường hợp tính theo phương án tổ hợp (xét đến cả ảnh hưởng của sóng biển và tương tác với thủy triều) trong bão Ketsana tại ven biển Quảng Nam - Quảng Ngãi ở mức xấp xỉ 1,5 m. Như vậy trong trường hợp giả định, khu vực Nghệ An - Phú Yên chịu tác động của cơn bão có cường độ mạnh tương tự như Ketsana, đổ bộ vào triều cường, khi đó nước dâng bão kết hợp với triều cường sẽ gây ngập lụt nghiêm trọng tại khu vực ven biển nơi bão đổ bộ (chưa cần tính đến có cả mưa lũ). Điều này cũng gây khó khăn lớn cho việc thoát lũ từ trong các sông từ nội địa ra phía biển.

- Ngập lụt do nước dâng bão: mức độ ngập lụt do nước dâng bão Ketsana gây ra là khá lớn. Tuy nhiên, do không có dữ liệu kiểm tra nên khó đánh giá được chính xác độ đảm bảo của kết quả mô phỏng ngập lụt do nước dâng bão. Bên cạnh đó, để mô phỏng ngập lụt đảm bảo độ tin cậy thì địa hình trên cạn phải có độ phân giải rất cao (khoảng dưới 0,2 km) để mô tả chi tiết sự biến đổi của địa hình.

Lời cảm ơn: *Bài báo hoàn thành trong khuôn khổ luận văn thạc sĩ chuyên ngành Biến đổi khí hậu, Khoa Các khoa học liên ngành, Đại học Quốc gia Hà Nội: "Đánh giá ảnh hưởng của nước biển dâng do bão đến khu vực ven biển tỉnh Quảng Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu". Bài báo này sử dụng số liệu mô hình từ một số dự án, đề tài BĐKH.20/16-20, ĐTĐL-C.35/15.*

Tài liệu tham khảo

1. Booij, N., Ris, R. and Holthuijsen, L. (1999). *A third-generation wave model for coastal regions 1*. Model description and validation, Journal of geophysical research,104(C4), 7649- 7666.

2. Doan, Q.T., Chen, Y.C., and Mishra, P.K. (2015). *Numerical Simulation of Typhoon Waves Propagation: Case Study of Tat Estuary, Vietnam*. International Journal of Earth Sciences and En-

gineering, 08(01), 164-171.

3. Fujita, T. (1952). *Pressure distribution within typhoon*, Geophysical Magazine, 23, pp 437-451.

4. Harris, D.L. (1963). *Characteristics of the Hurricane Storm Surge*, United States Department of Commerce, Washington D.C, United States.

5. Hurricane Season, (2009). *Typhoon Ketsana (Western Pacific)*. https://www.nasa.gov/mission_pages/hurricanes/archives/2009/h2009_Ketsana.html

6. Kim, S.Y. (2007). *Effect of Large Tidal Variation on Storm Surgein the Western Coastal Sea of Korea*, Ph. D thesis, Kyoto University, Japan.

7. Japan Meteorological Agency (JMA): http://ds.data.jma.go.jp

8. Kim, S.Y., Yasuda, T., H. Mase, (2008). *Storm Surge Simulations Occurred in Tosa Bay by Using Surge-Wave-Tide Coupled Model*, Annual Journal of Coastal Engineering, JSCE, 55, 321-325

9. Kim, S.Y., Yasuda, T., Mase, H. (2010). *Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves*, Applied Ocean Research, 28, 311-322.

10. Lionelloa, P., A. Sannaa, Elvini, E. and R. Mufatob, (1996). *A data assimilation procedure for operational prediction of storm surge in the northern Adriatic Sea*. Continental Search Journal. 26 (4), 655-674.

11. Nguyen, B.T. (2017).*Study on the storm surge forcasting model and service forecasting in Vietnam*. Report on scientific and technological project of the Ministry of Natural Resources and Environment.

12. National Center for Hydrometeorological Forecasting (NCHMF), 2005-2017. Report of hydrometeorological characteristic during 2005-2017.

13. Miles, J.W. (1957). *On the generation of surface waves by shear flows*. J. Fluid M., 3, 185-204.

14. Nguyen, M.H. and Duong, C.D. (2006). *Effect of the storm nuber 7 (Damrey) on the sea dyker system of Nam Dinh provinve*, Journal of Marine Sciences and Technology, 4, 87-99.

15. Phillips, O.M. (1957). *On the generation of waves by turbulent wind*. Journal of Fluid Mechanics,2 (5), 417-445.

16. Tran, T.D., Dinh, D.T., Doan, Q.T., Tran, Q.T. (2018). *Applications of numerical modelling for the study on storm surge in typhoon xangsane in the central coast of Vietnam*. Tropical cyclone research and review. 7 (03), 1-14.

Research on The Affected Simulation of Waves and Storm Surge In Coastal Central Vietnam

Tran Hong Thai[1], Doan Quang Tri[2], Dinh Viet Hoang[2]

[1]Viet Nam Meteorological and Hydrological

[2]Vietnam Journal of Hydrometeorology

Abstract: *Research on the simulation of effects of waves and storm surge in coastal Central Viet Nam including provinces ranging from Nghe An to Phu Yen. The research applied Fujita storm model to construct wind-pressure field, applied SWAN model to simulate wave-field during the storm and applied SuWAT to simulate storm surge and the inundation in Ketsana storm (2009) in the research area. The results of the wind-pressure field simulation are similar to the genuine one which is nearby the storm center, but they are different from the wind-pressure field which is far away from the storm center. Ketsana storm caused enormous waves along the seashore from Nghe An to Phu Yen province, especially in the area which is close to the center storm, the parameter of the storm reached 7 meters. Besides, Ketsana storm the parameter of the storm caused by Ketsana reached 5 meters in a 400 km area. The results of storm surge are the biggest in case the parameter of the storm reached 1.5 meters. According to the results, the application of SWAN and SuWAT to simulate waves and storm surge caused by Ketsana storm to clarify flooding capacity is essential and practical to risk management.*

Keyword: *Ketsana storm, storm surge, Fujita, SWAN, SuWAT.*