

## TÍCH HỢP MÔ HÌNH THÔNG SỐ BÃO VỚI MÔ HÌNH THỦY ĐỘNG LỰC MÔI TRƯỜNG EFDC+

Nghiêm Tiến Lam<sup>1</sup>

**Tóm tắt:** Bài báo phân tích các phương pháp tiếp cận tích hợp các mô hình thông số bão với các mô hình thủy động lực và lựa chọn cho việc tích hợp bốn mô hình thông số bão vào trong mã nguồn mô hình thủy động lực và chất lượng nước EFDC+. Các mô hình bão đã được kiểm định với số liệu gió thực đo trong trận bão Katrina năm 2005 cho thấy khá phù hợp với thực tế. Việc tích hợp các mô hình thông số trận bão vào EFDC+ bổ sung thêm công cụ để đánh giá ảnh hưởng của bão đến các quá trình thủy động lực, vận chuyển vật chất, xói lở bờ biển và ô nhiễm môi trường.

**Từ khóa:** Bão, xoáy thuận nhiệt đới, mô hình thông số bão, thủy động lực.

### 1. MỞ ĐẦU

Bão là một hệ thống xoáy thuận nhiệt đới với không khí chuyển động quay rất nhanh xung quanh một tâm khí áp thấp phát triển trên vùng biển nhiệt đới và tạo ra gió và gió giật cực mạnh kèm mưa lớn. Do hiệu ứng Coriolis, chiều quay của bão là ngược chiều kim đồng hồ ở Bắc bán cầu trong và xuôi chiều kim đồng hồ ở Nam bán cầu.

Khi bão đổ bộ vào các khu vực đất liền thường gây ra nhiều thiệt hại về con người và tài sản. Các tác động nghiêm trọng do bão gây ra bao gồm gió giật làm đổ nhà cửa, cây cối và các công trình xây dựng, mưa lớn gây ra lũ, ngập lụt và trượt lở đất. Ngoài ra, sự thay đổi nhanh và gấp của áp suất khí quyển và trường gió trong bão theo không gian và thời gian còn tạo ra nước dâng do bão và sóng lớn gây xói lở bờ biển và bồi lấp các luồng lạch cũng như gây ra các vụ đắm tàu làm tràn dầu và ô nhiễm môi trường.

Do vậy trong nhiệm vụ mô hình hóa các bài toán thủy động lực, để đánh giá tác động của các trận bão đến các khu vực ven biển cần thiết phải cung cấp các điều kiện biên bề mặt mô tả các trận bão để làm đầu vào cho mô hình, từ đó có thể đánh giá được ảnh hưởng của bão đến các trường

thủy động lực như mực nước, sóng, dòng chảy, vận chuyển vật chất và các tác động của chúng như xói lở bờ biển và ô nhiễm môi trường. Thường thì số liệu đo đạc về trường gió và trường khí áp của các trận bão không đủ để mô tả chi tiết các trận bão do mật độ trạm thường không đủ dày. Ngoài ra thì các số liệu này cũng không có sẵn trong trường hợp dự báo các tác động của một trận bão trong tương lai chưa thực sự xảy ra. Do đó, thông thường việc cung cấp các điều kiện biên bề mặt do bão cho các mô hình thủy động lực phải dựa vào các mô hình mô tả các trận bão.

Để phục vụ cho việc phân tích ảnh hưởng của các trận bão đến chế độ thủy động lực, vận chuyển bùn cát, chất lượng nước khi có bão, bài viết này sẽ phân tích và lựa chọn phương pháp tiếp cận cho việc phát triển mô hình bão cho mô hình thủy động lực môi trường EFDC+. Nội dung chính của bài viết bắt đầu bằng việc phân tích các phương pháp tiếp cận mô phỏng bão trong quá trình mô phỏng thủy động lực. Tiếp theo là cơ sở của mô hình thông số trận bão và phương pháp tiếp cận nhằm kết hợp mô hình thông số trận bão với mô hình thủy động lực. Kế đó là các mô hình thông số trận bão được cài đặt cho mô hình EFDC+. Cuối cùng là kiểm định các mô hình thông số trận bão được cài đặt cho mô hình EFDC+.

---

<sup>1</sup> Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

## 2. PHƯƠNG PHÁP TIẾP CẬN

### 2.1. Các tiếp cận mô hình bão

Có hai tiếp cận chính trong việc mô tả các trận bão bằng các mô hình:

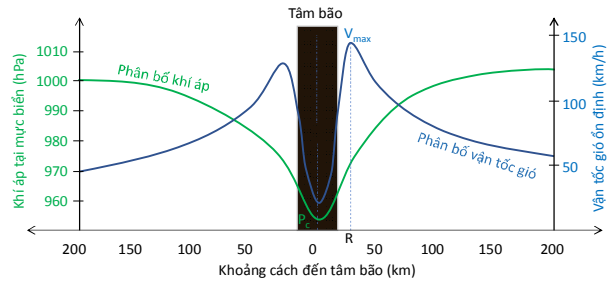
Tiếp cận thứ nhất là sử dụng kết quả từ các mô hình nhiệt động lực mô phỏng các trận bão trong lớp biên không khí của Trái đất. Các mô hình này có thể cho kết quả chi tiết về cấu trúc của trận bão trong lớp biên khí quyển nhưng đòi hỏi khối lượng lớn dữ liệu và thời gian tính toán. Ngoài ra, việc áp dụng tiếp cận này còn phụ thuộc vào sự có sẵn của mô hình hoặc các kết quả tính toán, do vậy không phải trường hợp nào cũng có thể sử dụng được.

Tiếp cận thứ hai là sử dụng một mô hình thông số để mô tả các trận bão. Dạng mô hình này có khả năng tính toán trường khí áp và trường gió trong lớp khí quyển bề mặt chỉ dựa trên một số thông số của trận bão như vị trí tâm bão, khí áp ở tâm bão, cường độ và qui mô của trận bão. Các tiếp cận này cho phép tính toán đơn giản để nhận được các kết quả một cách nhanh chóng nên được phát triển và ứng dụng phổ biến trong hơn nửa thế kỷ vừa qua.

### 2.2. Mô hình thông số bão

Tiếp cận mô hình thông số trận bão cho các trận bão phát triển hoàn toàn trên đại dương được bắt đầu với một xoáy đối xứng ổn định trong môi trường không khí tĩnh. Nghiệm xoáy được xác định dựa trên phương trình chuyển động Euler cho hệ tọa độ quay với sự cân bằng lực giữa độ dốc chênh lệch khí áp, lực Coriolis và lực ly tâm ở độ cao gió địa chuyển phía trên của lớp biên khí quyển (Harper, 2001). Quan hệ giữa phân bố khí áp và gió bề mặt với các thông số trận bão được nhiều tác giả xây dựng dựa trên các số liệu đo đạc (ví dụ, Schloemer, 1954). Hình 1 là một ví dụ điển hình của phân bố khí áp và vận tốc gió trong bão. Phân bố khí áp trong bão thường khá ổn định ở bên ngoài phạm vi ảnh hưởng của bão và giảm dần theo hàm mũ khi đạt đến giá trị cực tiểu  $P_c$  tại tâm bão. Phân bố của vận tốc gió trong bão cũng tăng dần từ phía ngoài trận bão và đạt đến

giá trị lớn nhất  $V_{max}$  ở một khoảng cách từ tâm bão  $R$  được gọi là bán kính gió lớn nhất trước khi giảm đột ngột theo hàm mũ đến giá trị lặng gió ở tâm bão.



Hình 1. Phân bố khí áp và vận tốc gió trong bão

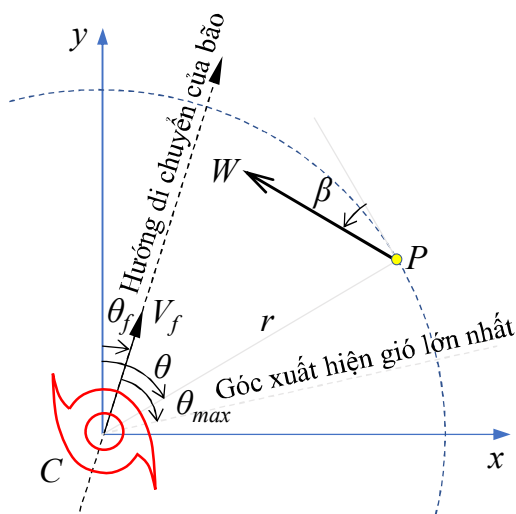
Ở gần mặt đất, ảnh hưởng của ma sát bề mặt trong lớp khí quyển sát biên khiến cho vận tốc gió suy giảm và hướng gió thay đổi lệch thêm hướng vào tâm bão. Sự thay đổi vận tốc gió được biểu thị bởi một hệ số suy giảm lớp biên. Sự thay đổi hướng gió này được biểu thị bởi đại lượng góc hướng vào (inflow angle)  $\beta$ .

Ngoài ra, do trận bão thường di chuyển nên tốc độ di chuyển của trận bão kết hợp với vận tốc quay của không khí tạo thành một trường gió bất đối xứng với vị trí xuất hiện vận tốc gió lớn nhất nằm lệch về bên phải hướng di chuyển của bão một góc  $\theta_{max}$  ở Bắc bán cầu. Ở Nam bán cầu góc có giá trị  $\theta_{max} < 0$  biểu thị vị trí xuất hiện vận tốc gió lớn nhất nằm lệch về bên trái hướng di chuyển của trận bão. Hình 2 biểu diễn giá trị của trường gió tại một điểm tính toán  $P$  có tọa độ  $(r, \theta)$  so với tâm  $C$  của một trận bão ở Bắc bán cầu. Khi đó, trường vận tốc gió trong bão tại toán  $P$  được xác định từ thành phần chuyển động quay và thành phần chuyển động tịnh tiến như sau:

$$\begin{cases} W_x = K_m V_r \cos \phi + K_f V_{fx} \\ W_y = K_m V_r \sin \phi + K_f V_{fy} \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó  $W_x, W_y$  là các thành phần vận tốc gió theo phương  $x$  và  $y$  của trường gió bão;  $V_{fx}, V_{fy}$  là các thành phần vận tốc di chuyển của tâm bão

theo phương  $x$  và  $y$ ;  $V_r$  là thành phần vận tốc gió gradient chuyển động quanh tâm bão sinh ra do sự chênh lệch của khí áp trong bão;  $K_m$  là hệ số chuyển đổi từ vận tốc gió vận tốc gió gradient ở đỉnh của lớp biên khí quyển về vận tốc gió bề mặt ở độ cao 10 m và có giá trị điển hình từ 0,7 – 0,9. Hệ số  $K_f$  biểu thị sự ảnh hưởng bởi tốc độ dịch chuyển tịnh tiến của trận bão đến trường gió, có giá trị điển hình từ 0,5 – 1,0 (Happer, 2001).  $\phi$  là góc hướng gió so với trục  $x$  có giá trị  $\phi = \pi - \theta + \beta$ ;  $\theta$  là phương vị của điểm tính toán  $P$  so với hướng Bắc;  $\beta$  là góc hướng vào của gió.



Hình 2. Sơ họa hướng gió tại điểm  $P$  cho trận bão ở Bắc bán cầu

### 2.3. Kết hợp giữa mô hình thông số bão và mô hình thủy động lực

Ngoài tiếp cận tích hợp giữa các mô hình đại dương và mô hình khí quyển để phân tích tác động của các trận bão đến trường thủy động lực ở qui mô lớn thì phần lớn các mô hình mô phỏng thủy động lực qui mô vừa và nhỏ hiện nay sử dụng các mô hình thông số trận bão làm đầu vào cho bài toán phân tích, đánh giá các ảnh hưởng của bão. Tuy nhiên, việc xem xét các ảnh hưởng của bão trong các mô hình thủy động lực cũng có thể tiến hành theo hai cách như sau:

Cách thứ nhất là sử dụng độc lập các mô hình bão với các mô hình thủy động lực. Trong đó việc

liên kết giữa các mô hình thủy động lực với các mô hình bão chỉ được thực hiện thông qua các tệp số liệu mô tả các trường khí áp và gió trong bão. Các trường trường khí áp và gió trong bão có thể được tạo ra từ các công cụ hay mô hình bão bất kỳ và ghi ra các định dạng tệp dữ liệu nhất định. Các mô hình thủy động lực sau đó chỉ cần đọc các tệp dữ liệu lấy đầu vào cho các tính toán mô phỏng của mình. Ví dụ mô hình MIKE 21 đọc dữ liệu trường khí áp và trường gió của các trận bão ở định dạng tệp dữ liệu có các điểm lưới cách đều nhau rồi từ đó nội suy vào các phần tử của lưới trong quá trình mô phỏng. Bộ công cụ MIKE 21 Toolbox có thể tạo ra các tệp dữ liệu này sử dụng các mô hình thông số trận bão như các mô hình Rankine, mô hình của Young và Sobey, mô hình Holland cho một xoáy và hai xoáy (DHI, 2013). Tuy nhiên, nếu độ phân giải về không gian và thời gian của tệp dữ liệu đầu vào quá thô có thể dẫn đến sai số lớn về trường gió trong quá trình nội suy không gian. Mô hình Delft3D cũng có khả năng đọc tệp dữ liệu đầu vào của trường khí áp và gió đã được nội suy vào lưới tính của mô hình cho từng thời điểm. Để khắc phục sai số trong quá trình nội suy trường gió bão trong không gian, mô hình Delft3D còn sử dụng kỹ thuật nội suy theo định dạng lưới mạng nhện (spider web) di chuyển cùng trận bão (Deltares, 2011). Những tiếp cận này có ưu điểm là sự linh hoạt trong việc lựa chọn mô hình bão cho các tính toán mô phỏng thủy động lực. Tuy nhiên chúng cũng có nhược điểm trong quá trình nội suy theo không gian và thời gian. Nếu các trường dữ liệu của bão ghi ra tệp quá thưa sẽ ảnh hưởng đến các kết quả tính toán do sai số của các phép tính nội suy đã nêu. Nếu các trường dữ liệu của bão ghi ra tệp rất dày để hạn chế sai số do nội suy thì lại làm cho tệp dữ liệu trao đổi có kích thước rất lớn.

Cách thứ hai là phát triển mã nguồn của các mô hình trận bão bên trong mã nguồn của mô hình thủy động lực. Khi đó việc tính toán trường khí áp và gió trong bão sẽ được thực hiện một cách trực tiếp trong quá trình mô phỏng với bất kỳ độ phân

giải thời gian và không gian nào mà không cần phải thông qua tệp dữ liệu trao đổi. Tệp dữ liệu đầu vào của mô hình bão khi đó sẽ chỉ là tệp số liệu đường đi của bão cùng các thông số trận bão biến đổi theo thời gian rất đơn giản và gọn nhẹ. Quá trình tính toán tạo ra các trường khí áp và trường gió trong bão sử dụng các mô hình thông số trận bão cũng rất nhanh chóng, chiếm thời gian không đáng kể so với quá trình mô phỏng thủy động lực. Tuy nhiên, cách này cũng có nhược điểm là chỉ có thể sử dụng được các mô hình trận bão đã được cài đặt trong mã nguồn của mô hình thủy động lực mà không có thể có thêm sự lựa chọn nào khác. Cách tiếp cận này đã được nhiều mô hình sử dụng, tiêu biểu là các mô hình ADCIRC, FVCOM, .... Mô hình ADCIRC cài đặt mã nguồn tạo ra các trường khí áp và gió trong bão sử dụng mô hình thông số trận bão của Holland (1980). Trong đó, thông số hình dạng trận bão  $B$  được xác định theo Holland (1980) từ số liệu vận tốc gió lớn nhất  $V_{max}$  sau khi chuyển đổi từ bề mặt lên đỉnh của lớp biên khí quyển sử dụng hệ số  $K_m = 0,9$ . Vận tốc gió gradient sau khi tính được theo phân bố vận tốc gió của Holland ở đỉnh của lớp biên lại được chuyển đổi về độ cao 10m trên bề mặt sử dụng cùng hệ số này. Đồng thời vận tốc gió ổn định trong 10 phút được chuyển đổi từ vận tốc gió ổn định trong 1 phút sử dụng hệ số chuyển đổi 0,88. Tương tự, mô hình FVCOM sử dụng kết hợp các phân bố khí áp và gió của của Fujita (1952) cho phạm vi  $2R$  từ tâm bão và phân bố của Takahashi (1939) ngoài phạm vi này. Mô hình này sử dụng hệ số  $K_m = 1,0$  và  $K_f = 0,8$ . Cả hai mô

hình FVCOM và ARCIRD đều không xét đến góc hướng vào  $\beta$ .

### 3. CÀI ĐẶT MÔ HÌNH BÃO TRONG EFDC+

#### 3.1. Kết hợp giữa mô hình thông số bão và mô hình thủy động lực

Dựa trên các phân tích ở trên, chúng tôi lựa chọn phương pháp tiếp cận thứ hai là phát triển mã nguồn của các mô hình trận bão bên trong mã nguồn của mô hình thủy động lực môi trường EFDC+. Để tính toán trường gió và trường khí áp trong quá trình mô phỏng của EFDC+, chúng tôi lựa chọn sử dụng 4 mô hình thông số trận bão là các mô hình như sau:

#### 3.2. Mô hình Holland (1980)

Holland (1980) xây dựng phân bố khí áp trong bão dưới dạng

$$P(r) = P_c + \Delta P \cdot \exp\left[-\left(\frac{R}{r}\right)^B\right] \quad (2)$$

Trong đó  $r$  là khoảng cách từ điểm tính toán đến tâm bão (km),  $R$  là bán kính gió lớn nhất (km),  $P(r)$  là khí áp bề mặt tại điểm tính toán (hPa),  $\Delta P$  là độ giảm áp tại tâm bão với  $\Delta P = P_n - P_c$ ,  $P_c$  là khí áp bề mặt tại tâm bão (hPa),  $P_n$  là khí áp bề mặt bên ngoài phạm vi ảnh hưởng của trận bão (hPa),  $B$  là thông số Holland quyết định đến hình dạng của đường phân bố, có thể xác định từ vận tốc gió lớn nhất trong bão.

Tại đỉnh của lớp biên khí quyển, vận tốc gió gradient gây ra bởi sự cân bằng giữa chênh lệch khí áp, lực Coriolis và lực ly tâm được xác định theo công thức:

$$V_g(r) = \sqrt{100B \frac{\Delta P}{\rho_a} \left(\frac{R}{r}\right)^B \exp\left[-\left(\frac{R}{r}\right)^B\right] + \left(\frac{r \cdot f}{2}\right)^2} - \frac{r \cdot f}{2} \quad (3)$$

Trong đó  $V_g(r)$  là vận tốc gió gradient tại điểm tính toán,  $f = 2\Omega \sin\varphi$  là thông số Coriolis,  $\varphi$  là vĩ độ địa lý.

Vận tốc gió gradient cuối cùng được chuyển đổi thành vận tốc gió bề mặt như trong công thức

(1). Mô hình này bỏ qua sự thay đổi của hướng gió thổi vào  $\beta = 0$ .

#### 3.3. Mô hình Hubert et al. (1991)

Hubert et al. (1991) sử dụng mô hình Holland (1980) nhưng sử dụng góc gió thổi vào không đổi

$\beta = 25^\circ$ . Ngoài ra, mô hình này cũng sử dụng hệ số bất đối xứng thông qua góc xuất hiện gió lớn nhất so với hướng di chuyển của trận bão  $\theta_{max} = 70^\circ$ .

$$K_f = \cos(\theta_f + \theta_{max} - \theta) \quad (4)$$

Trong đó  $\theta$  là góc phương vị của vị trí tính toán;  $\theta_f$  là hướng di chuyển của trận bão so với hướng Bắc;  $\theta_{max}$  là góc xuất hiện vận tốc gió lớn nhất so với hướng di chuyển của bão.

### 3.4. Mô hình McConochie et al. (2004)

Phương pháp tiếp cận của McConochie et al. (2004) cũng tương tự như phương pháp tiếp cận của Hubert et al. (1991) là dựa trên mô hình Holland (1980). Tuy nhiên mô hình này sử dụng góc gió thổi vào là hàm số phụ thuộc vào khoảng cách đến tâm bão và hệ số suy giảm gió bề mặt do ảnh hưởng của lớp biên phụ thuộc vào độ lớn của vận tốc gió. Góc gió thổi vào được tính toán sử dụng kết quả của Sobey et al. (1977). Hệ số suy giảm gió bề mặt do ảnh hưởng của lớp biên được lấy theo Harper et al. (2001).

Thành phần vận tốc gió chuyển động quay xung quanh tâm bão ở gần bề mặt được tính toán

$$V_o = V_{max} \left[ (1-A) \cdot \exp\left(\frac{R-r}{X_1}\right) + A \cdot \exp\left(\frac{R-r}{X_2}\right) \right], \quad r \geq R_2 \quad (9)$$

Trong đó  $X_1$  là khoảng cách diễn ra sự suy giảm vận tốc gió theo hàm mũ bên ngoài xoáy bão;  $X_2 = 25$  km;  $n$  là số mũ của hàm lũy thừa bên trong mắt bão;  $A$  là thông số tỷ lệ của hai hàm lũy thừa được dùng để xây dựng phân bố vận tốc gió;  $w$  là trọng số được sử dụng để làm trơn phân bố gió trong đoạn chuyển tiếp từ  $R_1$  đến  $R_2$ . Góc gió thổi vào được lấy theo Phadke et al. (2003). Hệ số xét đến ảnh hưởng của lớp biên được tính toán theo Harper et al. (2001). Hệ số xét đến sự bất đối xứng của phân bố gió trong bão được tính theo

$$K_f = \frac{r \cdot R}{r^2 + R^2} \quad (10)$$

## 4. KIỂM ĐỊNH CÁC MÔ HÌNH BÃO

Các mô hình bão được cài đặt trong EFDC+ đã được kiểm định với các số liệu của trận bão

đã xét đến sự bất đối xứng do ảnh hưởng bởi chuyển động tịnh tiến của trận bão

$$V_r = V_g + K_f \cdot V_f \quad (5)$$

Trong đó  $K_f$  được tính theo

$$K_f = \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos(\theta_f + \theta_{max} - \theta) \right] \frac{V_g}{\max(|V_g|)} \quad (6)$$

### 3.5. Mô hình Willoughby et al. (2006)

Willoughby et al. (2006) tính toán phân bố vận tốc gió gradient dựa vào các thành phần gió tiếp tuyến  $V_i$  ở vùng mắt bão có bán kính  $r < R_1$  và thành phần gió tiếp tuyến  $V_o$  ở bên ngoài vùng chuyển tiếp có khoảng cách  $r > R_2$  như sau:

$$V_g = \begin{cases} V_i, & r < R_1 \\ (1-w) \cdot V_i + w \cdot V_o, & R_1 < r < R_2 \\ V_o, & r > R_2 \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó, thành phần gió tiếp tuyến  $V_i$  ở vùng mắt bão bên trong bán kính  $r < R_1$  tính từ tâm bão là:

$$V_i = V_{max} \left( \frac{r}{R} \right)^n, \quad r < R_1 \quad (8)$$

Thành phần gió tiếp tuyến  $V_o$  ở bên ngoài vùng chuyển tiếp có bán kính  $r > R_2$  là:

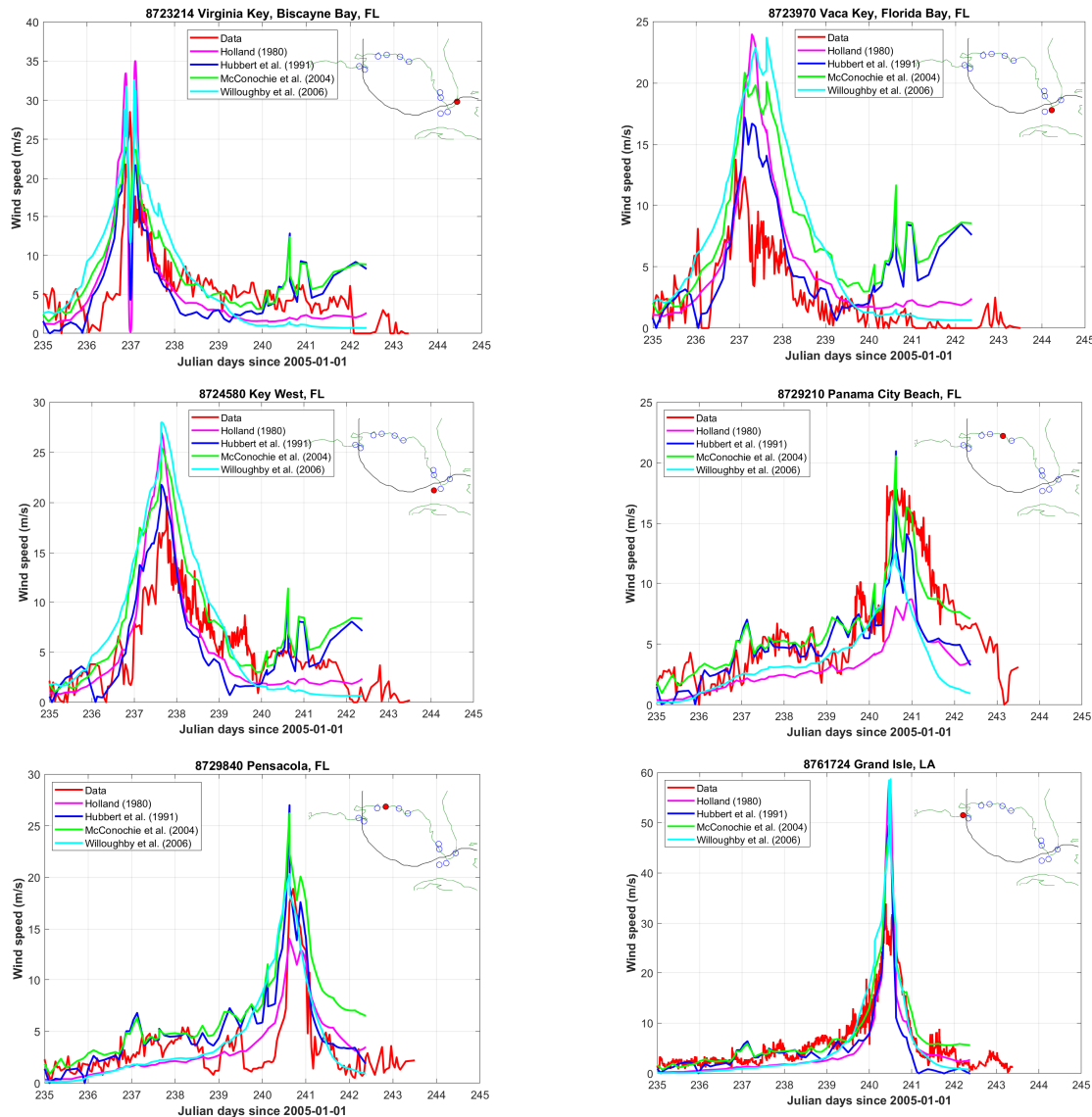
Katrina đổ bộ vào vùng Đông Nam Hoa Kỳ năm 2005. Hình 3 thể hiện đường đi của bão Katrina và vị trí các trạm có số liệu đo đạc gió có thể sử dụng để kiểm định các mô hình bão.



Hình 3. Đường đi của bão Katrina và vị trí các trạm quan trắc gió

Hình 4 trình bày các đồ thị so sánh giữa kết quả tính toán của các mô hình bão với các số liệu đo đạc tự động với thời khoảng 6 phút tại các trạm đo đạc. Cũng cần lưu ý rằng đo đạc vận tốc gió trong bão được chính xác là rất khó do bản chất nhiễu loạn của chuyển động không khí rất nhanh trong bão cùng với các ảnh hưởng phức

tạp của các điều kiện mặt đệm. Thực chất trong hàng chục trạm đo gió ở khu vực chỉ có thể chọn ra được 6 trạm đo có số liệu tương đối hợp lý với thực tế trận bão. Còn số liệu các trạm đo khác đều không sử dụng được. Do vậy, độ chính xác của các số liệu đo gió tại các trạm cũng chỉ là tương đối.



Hình 4. So sánh vận tốc gió của các mô hình bão và số liệu đo đạc

Từ Hình 4 có thể thấy rằng các mô hình bão đều khá phù hợp với các số liệu thực đo, nhất là các mô hình của Holland (1980) và Willoughby et al. (2006). Các mô hình bão của Hubbert et al. (1991), McConochie et al. (2004) cho kết quả thiên lớn sau khi trận bão đã đi qua do ảnh hưởng của việc sử dụng hàm số phân bố gió bất đối xứng trong bão.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phương pháp tiếp cận tích hợp mô hình thông số trận bão trong mã nguồn mô hình thủy động lực và chất lượng nước EFDC+. Cơ sở lý thuyết và các phương pháp tiếp cận tích hợp mô hình thông số trận bão với mô hình thủy động lực đã được phân tích để lựa chọn phương pháp

tiếp cận thích hợp. Bốn mô hình thông số trận bão gồm Holland (1980), Hubert et al. (1991), McConochie et al. (2004) và Willoughby et al. (2006) đã được tích hợp vào mô hình EFDC+. Các mô hình được cài đặt đã được kiểm định với số liệu gió thực đo trong trận bão Katrina năm 2005 cho

thấy các mô hình khá phù hợp với thực tế. Việc tích hợp các mô hình thông số trận bão vào EFDC+ sẽ giúp cho các nhà nghiên cứu có thêm công cụ để đánh giá ảnh hưởng của bão đến các quá trình thủy động lực, vận chuyển vật chất, xói lở bờ biển và ô nhiễm môi trường.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Deltares (2011). *Delft3D-FLOW Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments* - User Manual Version: 3.15
- DHI (2013). *MIKE 21 Cyclone Wind Generation Tool - Scientific Documentation*.
- Fujita, T. (1952). Pressure distribution within typhoon. *Geophys. Mag.* 23:437–451.
- Harper, B., T. Hardy, L. Mason (2001). *Queensland Climate Change and Community Vulnerability to Tropical Cyclones*. Ocean Hazards Assessment Stage 1, Queensland.
- Holland, G. J. (1980). *An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes*. *Mon. Wea. Rev.*, 108:1212-1218.
- Hubbert, G.D., G.J. Holland, L.M. Leslie, M.J. Manton (1991). *A Real-Time System for Forecasting Tropical Cyclone Storm Surges*. *Weather and Forecasting* 6(1):86-97
- McConochie, J.D., T.A. Hardy, L.B. Mason, (2004). *Modelling tropical cyclone over-water wind and pressure fields*. *Ocean Eng.*, 31:1757-1782.
- Phadke, A. C., C. D. Martino, K. F. Cheung, S. H. Houston (2003). *Modeling of tropical cyclone winds and waves for emergency management*. *Ocean Eng.* 30:553-578.
- Sobey, R.J., Harper, B.A., Stark, K.P. (1977). *Numerical simulation of tropical cyclone storm surge*. *Research Bulletin CS14*, 186pp.
- Schloemer, R.W. (1954). *Analysis and synthesis of hurricane wind patterns over Lake Okechobee, FL*. *Hydromet. Rep.* 31, 49pp
- Takahashi, K. (1939). *Distribution of pressure and wind in a typhoon*. *J. Meteor. Soc.* 17: 417–421.
- Willoughby, H. E., R. W. R. Darling, M. E. Rahn (2006). *Parametric Representation of the Primary Hurricane Vortex. Part II: A New Family of Sectionally Continuous Profiles*. *Mon. Wea. Rev.*, 134(4): 1102-1120.
- Young, I.R. and Sobey, R.J. (1981). *The numerical prediction of tropical cyclone wind-waves*, *Research Bulletin No. CS20*. James Cook University of North Queensland

### Abstract:

#### IMPLEMENTATION OF TROPICAL CYCLONE MODELS IN EFDC+

*Different approaches to integrate tropical cyclone parametric models with hydrodynamic models are investigated and four tropical cyclone parametric models are integrated into the Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC+). The models are verified with wind observations during Hurricane Katrina in 2005 showing that the models are quite consistent with reality. The integration of tropical cyclone parametric models into EFDC+ will provide researchers an effective tool to assess the effects of typhoons on hydrodynamic processes, mass transports, coastal erosion, and environmental pollution.*

**Keywords:** Typhoon, tropical cyclone, parametric models, hydrodynamics.

---

Ngày nhận bài: 11/10/2021

Ngày chấp nhận đăng: 26/10/2021