

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**

**Đào Nguyễn Quỳnh Hoa**

**NGHIÊN CỨU DỰ BÁO SỰ HÌNH THÀNH VÀ PHÁT TRIỂN  
CỦA XOÁY THUẬN NHIỆT ĐỐI TRÊN KHU VỰC  
BIỂN ĐÔNG BẰNG MÔ HÌNH SỐ**

Chuyên ngành: Khí tượng học

Mã số: 9440222.01

**(DỰ THẢO) TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHÍ TƯỢNG HỌC**

**Hà Nội - 2023**

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Khoa học Tự nhiên  
- Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học: GS.TS. Trần Tân Tiến

Phản biện: .....

.....

Phản biện: .....

.....

Phản biện: .....

.....

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Cơ sở chấm luận  
án tiến sĩ họp tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – ĐHQGHN vào  
hồi      giờ      ngày      tháng      năm 20...

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam

- Trung tâm Thư viện và Tri thức số - ĐHQGHN

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Xoáy thuận nhiệt đới (XTNĐ) là một hiện tượng thời tiết nguy hiểm, trong đó các giai đoạn khác nhau trong sự phát triển của XTNĐ thường nối tiếp nhau một cách tuần tự, từ nhiễu động nhiệt đới cho tới áp thấp nhiệt đới, bão nhiệt đới và bão mạnh. Quá trình hình thành và phát triển XTNĐ thường xuất hiện ở trên những đại dương nhiệt đới, nơi hệ thống dữ liệu quan thường rất hạn chế và phân bố rải rác, dẫn tới những hạn chế về trong công tác dự báo và cảnh báo XTNĐ trong nghiệp vụ.

Biển Đông – thuộc một phần của vùng biển Tây Bắc Thái Bình Dương, là vùng biển nửa kín bao quanh bởi 9 quốc gia, trong đó có Việt Nam. Đây là một vùng biển có hoạt động XTNĐ hoạt động rất thường xuyên và diễn biến hết sức phức tạp. Dự báo XTNĐ và sự hình thành, phát triển của chúng trên khu vực Biển Đông là hiện tượng thời tiết rất cấp thiết trong nghiên cứu khoa học khí quyển. Tổng quan từ các nghiên cứu trong quá khứ và hiện tại trên thế giới, cũng như xuất phát từ thực tiễn trên Biển Đông, nghiên cứu sinh lựa chọn đề tài “*Nghiên cứu dự báo sự hình thành và phát triển của XTNĐ trên khu vực Biển Đông bằng mô hình số*” làm đối tượng nghiên cứu.

### 2. Mục đích nghiên cứu đề tài

- Phát triển và cải tiến hệ thống dự báo đồng hóa tổ hợp đối với mô hình dự báo thời tiết khu vực dự báo sự hình thành và phát triển XTNĐ trên Biển Đông hạn từ 1 – 5 ngày;
- Triển khai và đánh giá tính chính xác và độ tin cậy của hệ thống dự báo được thiết lập để dự báo sự hình thành và phát triển của XTNĐ trên Biển Đông;

- Phân tích thống kê trên các sản phẩm thu được từ mô hình tổ hợp dự báo sự hình thành XTNĐ, nhằm dự báo khả năng phát triển của XTNĐ đạt cường độ bão nhiệt đới trên Biển Đông hạn trước 5 ngày.

### **3. Đối tượng nghiên cứu đề tài**

- Sự hình thành XTNĐ trên Biển Đông;
- Sự phát triển XTNĐ trên Biển Đông.

### **4. Phạm vi phân tích, nghiên cứu đề tài**

Phạm vi nghiên cứu của đề tài giới hạn trong phân tích, dự báo các XTNĐ hình thành và phát triển ngay trên khu vực Biển Đông giai đoạn từ 2012 – 2019 với hạn dự báo từ 1 đến 5 ngày.

### **5. Luận điểm bảo vệ của luận án**

- 1) Thực hiện đồng hóa tập hợp số liệu quan trắc bổ sung gió vệ tinh mực cao AMV với hệ thống dự báo tổ hợp trên mô hình WRF tối ưu hóa khả năng dự báo sự hình thành của XTNĐ điển hình trong hạn dự báo trước 3 ngày.
- 2) Việc sử dụng hệ thống dự báo tổ hợp đa vật lý đối với sự hình thành và phát triển của XTNĐ trên Biển Đông là khả thi. Chất lượng dự báo sự hình thành tốt hơn so với dự báo sự phát triển XTNĐ.
- 3) Phương trình hồi quy logistic xây dựng từ các đặc trưng động lực và nhiệt động lực của XTNĐ tại giai đoạn hình thành từ sản phẩm dự báo của hệ thống đồng hóa tổ hợp đa vật lý cải thiện được chất lượng dự báo xác suất phát triển XTNĐ. Mô hình dự báo đặc biệt hữu ích với những chu trình dự báo sớm so với thời điểm hình thành thực tế.

### **6. Những đóng góp mới của luận án**

- 1) Luận án đã nghiên cứu cải tiến và áp dụng hai phương pháp đồng hóa số liệu LETKF - 3DVAR và thử nghiệm dự báo sự hình thành và phát triển XTNĐ trước 5 ngày khi có XTNĐ trong giai đoạn 2012 – 2019 trên khu vực Biển Đông.

- 2) Luận án đã chứng minh được tầm quan trọng của việc đồng hóa bộ số liệu đầy đủ bổ sung gió vệ tinh mực cao AMV đối với khả năng dự báo sự hình thành XTNĐ điển hình trên Biển Đông.
- 3) Luận án đã chứng minh được khả năng dự báo sự hình thành và phát triển XTNĐ trên Biển Đông dựa trên các sản phẩm của hệ thống dự báo tổ hợp với các hạn dự báo trước 5 ngày với độ tin cậy có ý nghĩa thống kê.
- 4) Trên cơ sở đánh giá khả năng XTNĐ phát triển đạt cường độ bão với các đặc trưng nhiệt động lực học của XTNĐ tại giai đoạn hình thành từ sản phẩm dự báo, luận án đã xây dựng mô hình hồi quy logistic dự báo xác suất phát triển của XTNĐ trên Biển Đông với hạn dự báo trước 5 ngày.

## **7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

Luận án đã nghiên cứu thiết lập và áp dụng hai phương pháp đồng hóa số liệu LETKF – 3DVAR và thử nghiệm dự báo sự hình thành và phát triển XTNĐ trước 5 ngày khi có XTNĐ trên Biển Đông trong giai đoạn 2012 - 2019. Ngoài ra, luận án đã chỉ ra được tầm quan trọng của đồng hóa bộ số liệu quan trắc bổ sung số liệu gió vệ tinh mực cao AMV đối với dự báo sự hình thành XTNĐ trên Biển Đông. Luận án đã chỉ ra tiềm năng khai thác các sản phẩm dự báo của mô hình tổ hợp cho mô hình hồi quy logistic dự báo xác suất về khả năng phát triển của XTNĐ tới cường độ bão trên Biển Đông. Các sản phẩm dự báo từ hệ thống đồng hóa tổ hợp và mô hình hồi quy logistic có tiềm năng ứng dụng trong dự báo nghiệp vụ, góp phần cung cấp những cảnh báo cho công tác phòng tránh, giảm thiểu thiệt hại do XTNĐ gây ra.

## **8. Cấu trúc của luận án**

Ngoài các mục mở đầu, danh mục bảng biểu và hình ảnh, kết luận, tài liệu tham khảo và phụ lục,... luận án bao gồm 04 Chương:

**Chương 1.** Tổng quan về dự báo sự hình thành và phát triển của XTNĐ trên Biển Đông

**Chương 2.** Phương pháp nghiên cứu và số liệu dự báo sự hình thành và phát triển XTNĐ trên Biển Đông

**Chương 3.** Thử nghiệm dự báo sự hình thành xoáy thuận nhiệt đới phát triển thành bão Wutip (2013)

**Chương 4.** Kết quả dự báo sự hình thành và phát triển XTNĐ trên Biển Đông hạn 5 ngày bằng hệ thống đồng hóa tổ hợp

**Kết luận và kiến nghị**

# **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ DỰ BÁO SỰ HÌNH THÀNH VÀ PHÁT TRIỂN CỦA XTNĐ TRÊN BIỂN ĐÔNG**

## **1.1. Cơ sở lý thuyết về sự hình thành và phát triển của XTNĐ trên Biển Đông**

- Giai đoạn hình thành XTNĐ liên quan tới quá trình chuyển biến từ nhiễu động nhiệt đới tới áp thấp nhiệt đới.
- Giai đoạn phát triển XTNĐ là quá trình tiếp nối sự hình thành XTNĐ, là sự tăng cường độ của áp thấp nhiệt đới cho tới các cấp bão cao hơn. Luận án tập trung vào nghiên cứu dự báo khả năng phát triển hay suy yếu của ATNĐ đạt tới cường độ bão.

## **1.2. Phương pháp dự báo sự hình thành và phát triển của XTNĐ**

Với sự phát triển của các hệ thống máy tính và lưu trữ, bài toán dự báo sự hình thành và phát triển của XTNĐ hiện nay được nghiên cứu và thực hiện bằng phương pháp số trị. Để giảm thiểu những sai số dự báo, phương pháp số trị hiện nay thường kết hợp với phương pháp đồng hóa số liệu và dự báo tổ hợp.

Mục tiêu của phương pháp đồng hóa là tạo ra trường ban đầu tối ưu kết hợp trường quan trắc và trường dự báo từ mô hình số trị dựa trên ước lượng độ bất định mỗi quan hệ động lực – thống kê. Hai phương pháp đồng hóa phổ biến là phương pháp đồng hóa biến phân và đồng hóa dãy.

Mục tiêu của phương pháp dự báo tổ hợp là ước lượng độ bất định của khí quyển và sai số do mô hình thông qua phương pháp dự báo xác suất.

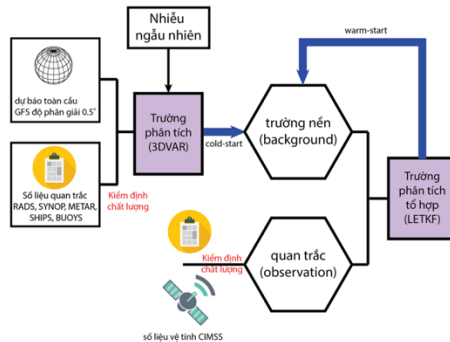
Tiếp thu và định hướng từ các sản phẩm khoa học trước đó, cùng với kết hợp những tối ưu của cả hai phương pháp đối với mô hình số trị, luận án thiết lập hệ thống đồng hóa tổ hợp đa vật lý và đánh giá dự báo xác suất sự hình thành và phát triển của XTNĐ trên Biển Đông.

## CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VÀ SỐ LIỆU

### 2.1. Phương pháp dự báo đồng hóa tổ hợp

#### 2.1.1. Thiết lập mô hình đồng hóa tổ hợp

Để xem xét khả năng dự báo sự hình thành XTNĐ trên Biển Đông, phiên bản phi thủy tĩnh của mô hình WRF (WRF-ARW) phiên bản 3.9.1. được áp dụng với sơ đồ đồng hóa tổ hợp. Quy trình của phương pháp đồng hóa tổ hợp được miêu tả trong Hình 2.1.



**Hình 2.1.** Sơ đồ tóm tắt hệ thống dự báo đồng hóa tổ hợp thực hiện trong luận án

Hệ thống đồng hóa ứng dụng trong luận án có sự kết hợp giữa hai phương pháp đồng hóa phổ biến: thuật toán đồng hóa tổ hợp LETKF và phương pháp đồng hóa biến phân 3DVAR truyền thống. Để ban đầu hóa hệ thống đồng hóa tổ hợp với một trường nền dự báo tổ hợp cold-start, luận án sử dụng sơ đồ đồng hóa biến phân 3DVAR để tạo ra trường phân tích từ số liệu ban đầu trường dự báo toàn cầu GFS và đầu ra từ bước tích phân 12 giờ được sử dụng thành trường nền cho bước warm-start của các chu trình đồng hóa tiếp theo.

Trong các chu trình warm-start, số liệu quan trắc tại trạm đầu tiên được kiểm định chất lượng và kết hợp với nhiễu tổ hợp nền phân tích bằng 3DVAR để tạo ra trường phân tích ban đầu. Trường phân tích này sau đó



sử dụng sơ đồ đồng hóa lọc Kalman tổ hợp địa phương LETKF đồng hóa số liệu vệ tinh mực cao CIMSS, tạo ra bộ nhiều tổ hợp phân tích và các điều kiện biên tương ứng. Song song với quá trình dự báo thời tiết hạn 5 ngày, mô hình WRF cũng lưu trữ một tổ hợp các dự báo rất ngắn 12 giờ làm trường nền cho chu trình dự báo tiếp theo.

Hệ thống đồng hóa tổ hợp ứng dụng sơ đồ lọc Kalman tổ hợp địa phương (LETKF), tại Việt Nam được phát triển bởi TS. Kiều Quốc Chánh. Tất cả các thí nghiệm dự báo tổ hợp được thực hiện trong luận án có một số hữu hạn thành phần tổ hợp là 21, tương ứng với số lượng tổ hợp đa vật lý gồm các sơ đồ tham số vật lý khác nhau trong mô hình WRF.

### *2.1.2. Tạo trường ban đầu trong những ngày hình thành và phát triển XTNĐ trên Biển Đông*

Điều kiện biên và điều kiện ban đầu của tất cả các trường hợp dự báo được lấy từ dự báo nghiệp vụ NCEP GFS độ phân giải ngang  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  cập nhật mỗi 6 giờ một lần.

Đối với tập số liệu quan trắc bổ sung được sử dụng trong sơ đồ đồng hóa số liệu, các thiết kế thử nghiệm trong luận án sử dụng hai nguồn số liệu chính. Nguồn thứ nhất là trường gió phân tích từ số liệu vệ tinh mực cao AMV thông qua Viện nghiên cứu Vệ tinh Khí tượng (CIMSS). Cùng với số liệu vệ tinh AMV, nguồn số liệu thứ hai bao gồm quan trắc địa phương trong khu vực nghiên cứu, bao gồm số liệu METAR; trạm thuyền/trạm phao; thám không; và SYNOP trong thời gian dự báo.

### *2.1.3. Thiết kế mô hình và miền tính*

Luận án lựa chọn sử dụng bộ số liệu XTNĐ của IBTrACS xác định tâm xoáy tại thời điểm hình thành (đạt cường độ ATNĐ) và thời điểm phát triển (đạt cường độ bão nhiệt đới) trên khu vực Biển Đông. Giai đoạn được thực hiện khảo sát là 2012 – 2019, bao gồm 45 trường hợp XTNĐ hình thành và trong đó 35 trường hợp phát triển thành bão.

Miền tính mô hình WRF được thiết lập sao cho bao phủ toàn bộ Biển Đông và lân cận vùng biển phía ngoài Tây Bắc Thái Bình Dương, vùng diện tích có tọa độ {95°Đ - 145°Đ; 0° - 30°B}, độ phân giải 27 km và 31 mực độ cao. Thiết lập dự báo tổ hợp được thực hiện trong luận án là tổ hợp đa vật lý, với bộ các sơ đồ vật lý được sử dụng bao gồm 2 sơ đồ tham số mây đối; 3 sơ đồ tham số lớp biên khí quyển; 3 sơ đồ vi vật lý; cùng với 2 sơ đồ bức xạ sóng ngắn và sóng dài.

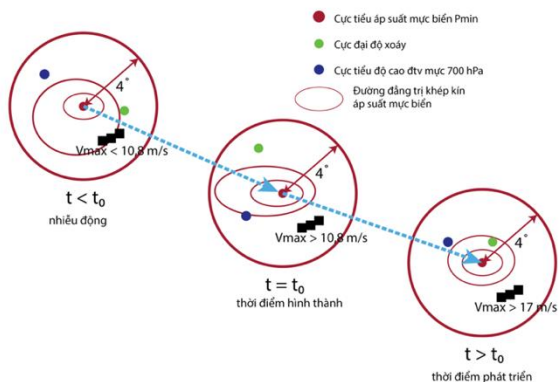
## 2.2. Phương pháp đánh giá dự báo tổ hợp sự hình thành và phát triển xoáy thuận nhiệt đới trên Biển Đông

### 2.2.1. Phương pháp xác định tâm xoáy

Quy trình tìm tâm XTNĐ bao gồm ba bước cơ bản:

- (1) Xây dựng thuật toán dò tìm các vùng xoáy tiềm năng
- (2) Đánh giá và chọn lọc tâm XTNĐ trên khu vực Biển Đông
- (3) Thiết lập quỹ đạo xoáy thuận theo thời gian

Trong phương pháp dò tìm này, điểm đạt giá trị cực tiểu áp suất Pmin được xác định đại diện cho toàn bộ tâm xoáy tại các hạn dự báo. Mô tả trực quan của phương pháp này được thể hiện trên Hình 2.3.



**Hình 2.3.** Mô tả trực quan sơ đồ dò tâm xoáy thuận được sử dụng trong luận án.

## 2.2.2. Phương pháp đánh giá kỹ năng dự báo sự hình thành và phát triển của XTNĐ trên Biển Đông

### a) Phân loại các dự báo tổ hợp

#### (1) Dự báo sự hình thành XTNĐ

Một thành phần tổ hợp được coi là dự báo đúng sự hình thành XTNĐ khi tồn tại ít nhất một tâm xoáy trong chuỗi xoáy thuận tiềm năng thỏa mãn các điều kiện mô tả trong Mục 2.1.2 tại thời điểm bất kỳ trong hạn dự báo 120 giờ. Ngược lại, các dự báo thành phần không dự báo được những xoáy thuận thỏa mãn điều kiện  $V_{\max} \geq 10,8 \text{ ms}^{-1}$  nêu trên được xếp vào phân loại dự báo không hình thành.

#### (2) Dự báo sự phát triển XTNĐ

Trong mỗi quỹ đạo thu được từ tập hợp phân tích, nếu phát hiện một tâm xoáy được ghi nhận sau thời điểm hình thành thỏa mãn điều kiện  $V_{\max} \geq 17.1 \text{ ms}^{-1}$  thì thành phần tổ hợp tương ứng được xem là dự báo đúng sự phát triển của XTNĐ (xuất hiện tâm bão). Ngược lại, nếu các tâm xoáy trong quỹ đạo không thỏa mãn điều kiện trên, chúng được xếp vào nhóm không phát triển.

### b) Chỉ số Brier score (BS) và AUC-ROC

Đối với dự báo xác suất, kỹ năng dự báo của hệ thống tổ hợp và độ tin cậy của các dự báo xác suất được xác định thông qua chỉ số Brier Score (BS) và AUC-ROC.

- BS là thước đo cho xác suất dự báo được của một hiện tượng cho trước. BS nằm trong khoảng giá trị từ [0; 1] và BS càng tiệm cận tới 0, dự báo tổ hợp càng phù hợp với thực tế.
- AUC-ROC được sử dụng trong bài toán phân loại và đánh giá hiệu suất của mô hình dự báo. Giá trị AUC-ROC nằm trong khoảng [0; 1], giá trị càng gần 1 thì mô hình càng chính xác.

e) Các biến môi trường đánh giá điều kiện phân loại nhiệt động lực của XTNĐ

Luận án thực hiện đánh giá các điều kiện môi trường trung bình trong khu vực lân cận xung quanh tâm XTNĐ. Các biến môi trường đánh giá được nhóm vào hai loại: các biến động lực và các biến nhiệt động lực. Các đại lượng được lấy trung bình trong bán kính 5° kinh vĩ xung quanh XTNĐ.

**Bảng 2.2.** Bảng mô tả các đặc trưng động lực và nhiệt động lực đánh giá sự hình thành và phát triển XTNĐ.

	Biến môi trường	Mô tả chi tiết
Động lực	$\zeta_{low}$	Trung bình độ xoáy thẳng đứng $\zeta$ mực thấp
	$\omega_{mid}$	Tốc độ thẳng đứng trung bình mực 700 – 500hPa
	$V_{sh}$	Độ đứt gió giữa mực 200 và 850 hPa
Nhiệt động lực	MSE chuẩn hóa	Năng lượng tĩnh âm chuẩn hóa bởi $C_p$ của toàn bộ cột khí quyển
	SLHF	Thông lượng ẩn nhiệt bề mặt
	$HMC_{low}$	Hội tụ ẩm mực thấp

### 2.3. Xây dựng mô hình hồi quy logistic từ sản phẩm dự báo tổ hợp

Mô hình hồi quy logistic với biến phụ thuộc là giá trị nhị phân, 1 là có sự phát triển XTNĐ thành bão và 0 là không tồn tại khả năng phát triển XTNĐ. Các đại lượng đặc trưng động lực và nhiệt động lực đề xuất trong Bảng 2.2 từ sản phẩm dự báo XTNĐ tại thời điểm hình thành là các nhân tố dự báo cho mô hình hồi quy logistic sau khi được chuẩn hóa.

Với  $\mathbf{w} = (w_0, w_1, w_2, \dots, w_n)$  là các hệ số hồi quy, giả sử ta thu được một hàm hồi quy với một bộ gồm n biến độc lập  $\mathbf{x} = (1, x_1, x_2, \dots, x_n)$  như sau:  $\hat{y} = g(\mathbf{x}) = w_0 + w_1x_1 + \dots + w_nx_n = \mathbf{w}^T \mathbf{x}$

Với  $p(y = 1 | \mathbf{x}; \mathbf{w})$  là xác suất có điều kiện để xảy ra sự kiện  $y = 1$  tương ứng với các biến độc lập  $\mathbf{x}$ , với hệ số hồi quy  $\mathbf{w}$ .

$$p(y = 1|x; \mathbf{w}) = \sigma(\mathbf{w}^T \mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{-\mathbf{w}^T \mathbf{x}}}$$

Luận án thực hiện kiểm chứng chéo mô hình hồi quy trên tập số liệu 45 trường hợp XTND hình thành trong giai đoạn 2012 – 2019, trong đó có 35 trường hợp XTND phát triển và 10 trường hợp không phát triển bằng cách chia tập dữ liệu thành 5 phần. Để kiểm nghiệm phương trình dự báo và đưa ra phương trình cuối cùng, luận án sử dụng phương pháp kiểm nghiệm Wald để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các nhân tố dự báo đối với mô hình hồi quy.

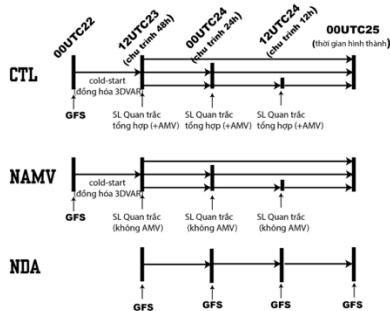
Kết quả dự báo sự phát triển của XTND trên Biển Đông từ mô hình tổ hợp động lực – thống kê được xác định từ giá trị trung bình xác suất của các thành phần tổ hợp:  $p_i(\text{XTND phát triển}) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M p_{i,j}$ .

Trong đó,  $M = 21$  là tổng số thành phần tổ hợp và  $p_{i,j}$  là xác suất dự báo sự phát triển XTND từ thành phần tổ hợp thứ  $j$  đối với trường hợp dự báo  $i$ .  $p_{i,j}$  bằng 0 nếu như thành phần tổ hợp không dự báo sự hình thành XTND; hoặc bằng giá trị xác suất từ hàm sigma thu được từ phương trình dự báo của mô hình hồi quy logistic.

## CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ DỰ BÁO SỰ HÌNH THÀNH VÀ PHÁT TRIỂN XTND TRÊN BIỂN ĐÔNG HẠN TỪ 3 ĐẾN 5 NGÀY BẰNG HỆ THỐNG ĐỒNG HÓA TỔ HỢP

### 3.1. Thử nghiệm dự báo sự hình thành xoáy thuận nhiệt đới của cơn bão Wutip (2013) bằng hệ thống đồng hóa tổ hợp

Luận án thực hiện khảo sát khả năng dự báo sự hình thành XTND của một trường hợp điển hình là cơn bão Wutip (2013) với hệ thống đồng hóa tổ hợp. Wutip là một cơn bão điển hình hình thành trên khu vực Biển Đông vào ngày 26 tháng 9 năm 2013, phát triển rất nhanh tới cường độ bão chỉ trong vòng 12 giờ. Luận án thực hiện 3 thử nghiệm dự báo, bao gồm CTL, NAMV, và NDA. Thiết kế các thử nghiệm trong luận án khác nhau cơ bản ở quy trình đồng hóa số liệu và tổ hợp số liệu quan trắc được sử dụng.



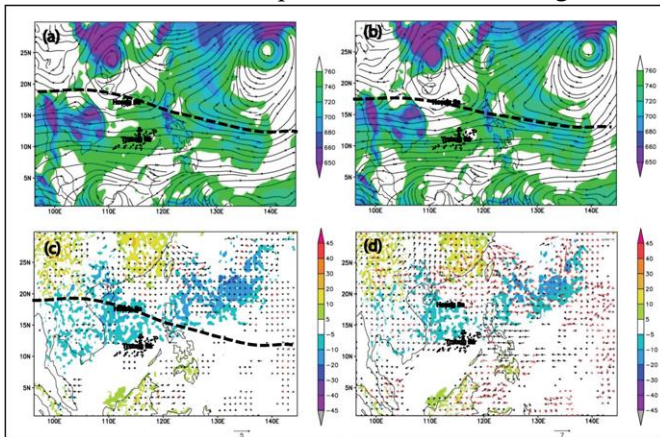
**Hình 3.3.** Mô tả thiết kế thử nghiệm CTL, NAMV và NDA

#### 3.1.1. Tác động của phương pháp đồng hóa tổ hợp tới trường phân tích ban đầu

Điều đáng chú ý đầu tiên trong khi phân tích trường ban đầu (Hình 3.4) là dấu hiệu rõ ràng của rãnh gió mùa với trường gió đông bắc ở phần phía bắc và trường gió tây nam thịnh hành ở phía nam Biển Đông trong điều kiện ban đầu của cả CTL và NDA. Thử nghiệm CTL đưa ra thông tin về sự khơi sâu rãnh gió mùa trên khu vực nghiên cứu. Cùng với đó,

một vùng hội tụ gió vào rãnh và gió hướng xoáy thuận liên quan tới hoàn lưu bão Usagi nhờ tương đồng với độ lệch trường gió quan trắc.

Sự hình thành của vùng giảm nhiễu động địa thế vị trên một vùng biển rộng lớn là hệ quả của sự tương thích động lực giữa trường gió và trường khí áp của hệ thống đồng hóa. Việc đồng hóa AMV có thể nâng cao chất lượng của trường gió và trường áp trên một khu vực rộng lớn hơn và độ phân giải tốt hơn so với số liệu trạm, nhất là trên khu vực Biển Đông – khi thực tế XTNĐ hình thành và phát triển trên đại dương.

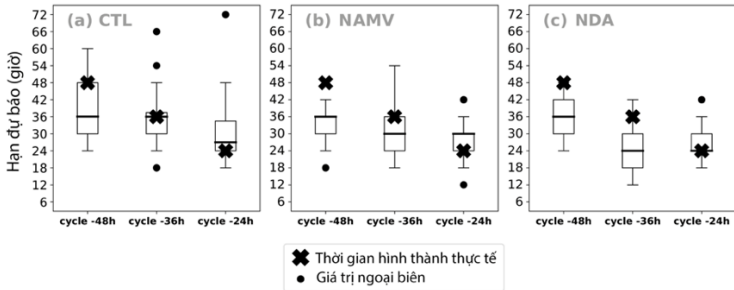


**Hình 3.4.** Phân bố nhiễu động địa thế vị (màu, đơn vị  $m^2 s^{-2}$ ) và đường dòng mực 700 hPa tại thời điểm ban đầu của chu trình 12 UTC ngày 23 tháng 9 từ (a) hệ thống dự báo tổ hợp; (b) trường ban đầu mô hình toàn cầu GFS, và (c) độ lệch phân tích (CTL – GFS) của nhiễu động địa thế vị (màu) và độ lệch trường gió phân tích (vector màu đen) mực 700 hPa, các vector màu đỏ là độ lệch trường gió quan trắc, và (d) tương tự (c) nhưng với mực 200 hPa. Đường nét đứt màu đen là vị trí của rãnh gió mùa phân tích phân dưới tầng đối lưu.

### 3.1.2. Đánh giá dự báo thời gian hình thành Wutip

Hình 3.6 thể hiện kết quả dự báo thời gian hình thành xác định được từ dự báo tổ hợp tất định CTL với 3 chu trình dự báo 48, 36 và 24 giờ trước thời điểm hình thành trên quan trắc của ATNĐ phát triển thành bão Wutip. Trong dự báo tổ hợp CTL thì các dự báo thành phần trong chu

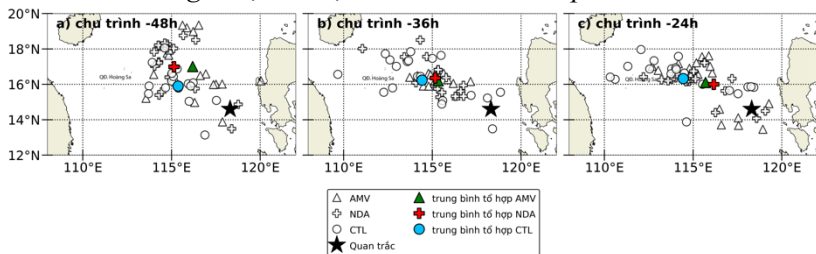
trình dự báo 36 giờ thể hiện thông tin tương đối đồng nhất về thời gian hình thành của Wutip khi so sánh với thời gian hình thành thực tế là 12 UTC ngày 25 tháng 9 (Hình 3.6).



**Hình 3.6.** Boxplot thời gian hình thành Wutip của ba chu trình dự báo dự báo 48, 36 và 24 giờ trước thời điểm hình thành Wutip đối với các thử nghiệm dự báo tổ hợp a) CTL, b) NAMV và c) NDA. Dấu (x) màu đen thể hiện vị trí thực tế hình thành Wutip vào 12 UTC ngày 25 tháng 9.

Dự báo thời gian hình thành trong thử nghiệm với số liệu trạm NAMV cũng cho thấy sự sai khác khá lớn, thời gian hình thành sai khác đáng kể so với thực tế. Trong tất cả các trường hợp thử nghiệm dự báo, dự báo tổ hợp không đồng hóa NDA cho kết quả dự báo thời gian hình thành kém nhất.

### 3.1.4. Đánh giá dự báo vị trí hình thành Wutip



**Hình 3.9.** Phân bố vị trí hình thành Wutip trong các thử nghiệm dự báo tổ hợp CTL (hình tam giác), NAMV (hình tròn) và NDA (dấu thập) ở các hạn dự báo a) 48 giờ, (b) 36 giờ và (c) 24 giờ. Các dấu có màu thể hiện vị trí trung bình tổ hợp tương ứng với các dự báo.



Sai số dự báo vị trí hình thành Wutip trong dự báo tổ hợp NDA và NAMV là hệ quả của một quá trình tăng cường xoáy một nhiễu động nhiệt đới gần đó rất sớm ở một vài thành phần tổ hợp (Hình 3.9), gây ra sai số khoảng cách trung bình của NAMV lớn hơn khoảng 25% so với trong thử nghiệm dự báo CTL. Sai số khoảng cách hình thành lớn hơn cả hiển thị rõ nhất ở chu trình hạn dự báo 36 giờ, tại đó cả thử nghiệm dự báo NAMV và NDA không thể nắm bắt được thời điểm hình thành chính xác của Wutip. Hệ quả là, môi trường quy mô lớn trong thử nghiệm dự báo NDA thay đổi đột ngột, dẫn tới vị trí hình thành Wutip bị lệch quá xa về phía tây so với vị trí thực.

Thử nghiệm dự báo CTL cho kết quả dự báo vị trí hình thành XTNĐ tốt nhất đến từ hai yếu tố: 1) điều kiện ban đầu được cải thiện sau khi đồng hóa số liệu quan trắc bổ sung, và 2) tổ hợp đa vật lý. Sự cải thiện điều kiện ban đầu có thể nhìn thấy rõ nhất ở chu trình dự báo 24 – 36 giờ, và việc tạo ra các tổ hợp đa vật lý đóng vai trò quan trọng hơn cả ở hạn dự báo xa hơn trong hệ thống đồng hóa.

Với những kết quả ban đầu thu hoạch được, thiết kế hệ thống dự báo tổ hợp với quy trình đồng hóa số liệu đã cho thấy tầm quan trọng của số liệu vệ tinh. Bộ số liệu này giúp tăng cường thông tin về môi trường quy mô lớn nơi xảy ra sự hình thành của XTNĐ Wutip. Ngược lại, không đồng hóa hoặc chỉ đồng hóa dữ liệu trạm bề mặt và cục bộ đóng vai trò ít quan trọng hơn do đặc thù phân bố rải rác. Những kết quả này nhấn mạnh vai trò của đồng hóa số liệu và thiết lập dự báo CTL có thể giúp cải thiện tính đại diện của môi trường quy mô lớn đối với dự báo sự hình thành XTNĐ. Với tiềm năng này, luận án áp dụng hệ thống dự báo tổ hợp cho tất cả các trường hợp XTNĐ trong giai đoạn 2012 – 2019 được phân tích sau đây.

## CHƯƠNG 4. ĐÁNH GIÁ DỰ BÁO SỰ HÌNH THÀNH VÀ PHÁT TRIỂN XOÁY THUẬN NHIỆT ĐỐI TRÊN BIỂN ĐÔNG HẠN TỪ 1 ĐẾN 5 NGÀY TRONG GIAI ĐOẠN 2012 – 2019

### 4.1. Đánh giá tổng quan khả năng dự báo XTNĐ hình thành và phát triển trên Biển Đông

#### 4.1.1. Đánh giá dự báo xác suất hình thành và phát triển của XTNĐ

Nhìn chung, khả năng dự báo chính xác sự hình thành và phát triển của XTNĐ phụ thuộc vào các hạn dự báo. Các chu trình dự báo càng gần với thời điểm hình thành thực tế, khả năng dự báo sự hình thành và phát triển XTNĐ càng tốt hơn. Kể từ chu trình dự báo 48 giờ, hệ thống đồng hóa cho thấy kết quả dự báo xác suất có sự tăng lên ổn định về tần suất xuất hiện của các XTNĐ. Đối với dự báo sự phát triển của XTNĐ đạt cường độ bão, chỉ số BS cho thấy khả năng dự báo đã giảm đi đáng kể so với dự báo sự hình thành, hầu hết giá trị đều lớn hơn 0,1 và có sự giảm dần rõ rệt vào các chu trình dự báo gần thời điểm hình thành. Kết hợp với chỉ số kỹ năng AUC-ROC, có thể thấy chu trình dự báo 4.5 – 5 ngày trước thời điểm hình thành, mô hình không có khả năng phân loại khả năng có/không sự phát triển của ATNĐ thành bão.

**Bảng 4.1.** Giá trị các chỉ số đánh giá chất lượng dự báo tổ hợp sự hình thành và phát triển XTNĐ trên Biển Đông tại các hạn dự báo khác nhau

	-120 giờ	-108 giờ	-96 giờ	-84 giờ	-72 giờ	-60 giờ	-48 giờ	-36 giờ	-24 giờ	-12 giờ	0 giờ
Brier Score (hình thành)	0,028	0,047	0,037	0,090	0,038	0,062	0,039	0,039	0,033	0,016	0,011
Brier Score (phát triển)	0,294	0,283	0,268	0,212	0,246	0,269	0,228	0,187	0,235	0,179	0,166
AUC ROC (phát triển)	0,471	0,510	0,667	0,767	0,558	0,580	0,741	0,779	0,608	0,673	0,750

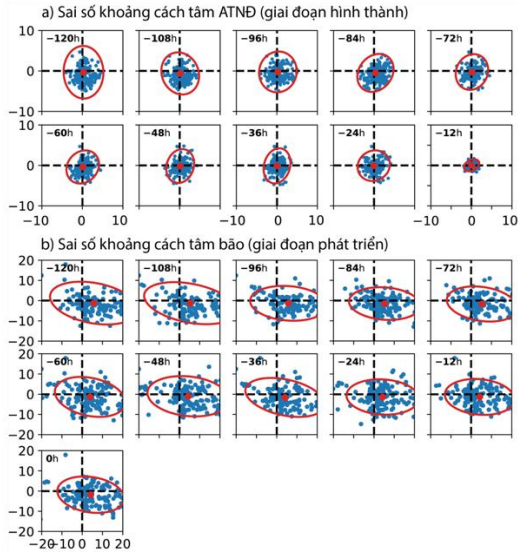
Về khả năng của hệ thống đồng hóa tổ hợp đối với dự báo sự hình thành ATNĐ, các tâm xoáy dự báo nhìn chung có xu hướng hội tụ về giá trị trung bình theo các chu trình dự báo khi tiến gần tới thời gian hình thành thực tế, thể hiện qua kích thước độ tán và giá trị sai số càng tiến gần tới 0 theo chu trình dự báo. Nhìn chung, sự hội tụ này diễn ra từ từ,

cá biệt có sự thay đổi đột ngột với chu trình dự báo 12 giờ trước thời gian hình thành. Vị trí trung bình gần dao động xung quanh điểm số 0 tại hầu hết các trường hợp dự báo. Như vậy, những dự báo sớm từ 3-5 ngày vẫn mang tới những thông tin dự báo quan trọng cho sự hình thành XTNĐ, theo đó ATNĐ hình thành thực tế có thể được ước lượng sớm thông qua đánh giá phân bố không gian của các tâm xoáy dự báo.

*4.1.2. Đánh giá vị trí, thời gian và cường độ của XTNĐ trong giai đoạn hình thành và phát triển tới cường độ bão*

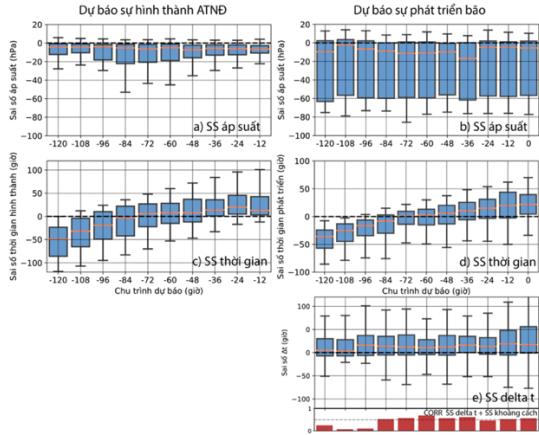
Nhìn chung, độ tán của sai số khoảng cách tại thời điểm phát triển thành bão lớn hơn đáng kể so với tại thời điểm hình thành và tốc độ hội tụ về giá trị quan trắc cũng chậm hơn rất nhiều.

Trong cả giai đoạn hình thành và phát triển, hệ thống dự báo tổ hợp có xu hướng dự báo những XTNĐ có cường độ lớn hơn so với giá trị quan trắc, biểu hiện thông qua sai số giá trị áp suất  $P_{\min}$  tại các thời điểm hình thành và phát triển đạt cường độ bão trên tất cả các chu trình dự báo. Khoảng sai số  $P_{\min}$  tăng lên đối với các dự báo sự phát triển XTNĐ đạt cường độ bão. Tuy nhiên, khoảng độ tán sai số không đồng đều. Đối với dự báo sai số thời gian hình thành và phát triển thành bão, các dự báo có sự cải thiện đáng kể theo các chu trình dự báo càng gần. Khoảng dự báo tốt nhất từ 4 - 2 ngày trước hình thành, trong đó độ tán bao quanh giá trị phân tích.



**Hình 4.3.** Thống kê sai số vị trí hình thành ATNĐ (a) và phát triển thành bão (b) của các thành phần tổ hợp so với quan trắc theo IBTrACs tương ứng với mỗi chu trình dự báo. Đường ellipse màu đỏ ước lượng phân bố chuẩn đối với sai số vị trí, bao phủ độ tán 3-sigma. Trục tung và trục hoành thể hiện sai số khoảng cách (a)  $[-10; 10] \times [-10; 10]$  độ kinh vĩ và (b)  $[-20; 20] \times [-20; 20]$  độ kinh vĩ.

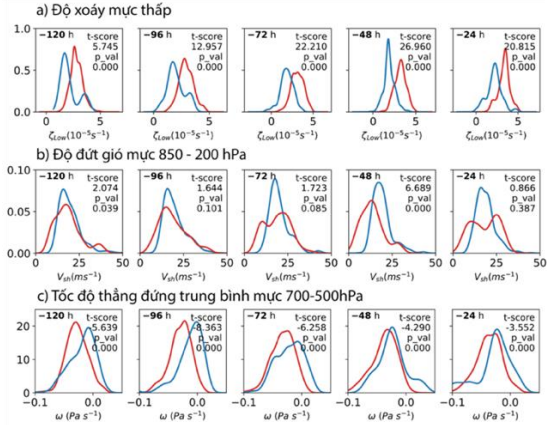
Nói cách khác, dự báo tổ hợp cho sự kiện một XTNĐ hình thành gần đúng về thời gian, vị trí hình thành và cường độ xoáy tại thời điểm hình thành không mang ý nghĩa dự báo đó đem lại thông tin đúng hơn về sự phát triển của XTNĐ đạt tới cường độ bão. Những nhiễu động nhiệt đới không hình thành và những XTNĐ không được dự báo đúng sự phát triển có thể được xếp vào nhóm dự báo sai, nhưng cũng có thể đưa ra những thông tin hữu ích cho dự báo viên khi ứng dụng mô hình đồng hóa tổ hợp cho mô hình WRF trong nghiệp vụ.



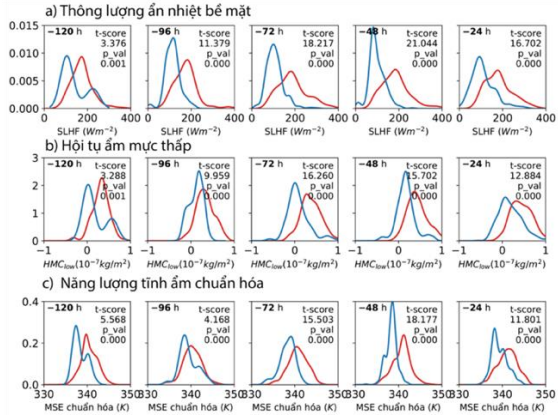
**Hình 4.4.** Biểu đồ hộp thống kê phân bố sai số áp suất mực biển cực tiểu của tâm xoáy và thời gian so với số liệu best-track IBTraCS tại thời điểm hình thành (a, c) và thời điểm phát triển (b, d). Phân bố sai số thời gian phát triển  $\Delta t = t_{PT} - t_{HT}$  và giá trị hệ số tương quan giữa sai số  $\Delta t$  và sai số vị trí tâm bão (giai đoạn phát triển) với biểu đồ cột được thể hiện trong hình e. Đường màu đỏ đại diện cho giá trị trung vị của sai số trên mỗi biểu đồ hộp thành phần.

#### 4.2. Đặc điểm khí quyển phân loại XTNĐ hình thành và phát triển

Thực hiện so sánh hàm phân bố xác suất của các biến môi trường tại thời điểm hình thành với các nhóm phát triển và không phát triển (Hình 4.9 và 4.10) cho thấy phổ phân bố xác suất giữa hai nhóm khác nhau đáng kể ở tất cả các hạn dự báo. Ngoại trừ độ đứt gió và tốc độ thẳng đứng trung bình 700 – 500 hPa, phổ phân bố xác suất của các nhóm phát triển đa phần theo phân phối chuẩn và tách biệt khá rõ ràng với phổ phân bố của nhóm không phát triển (thông qua kiểm nghiệm Student với độ tin cậy 95%).



**Hình 4.9.** Hàm phân bố xác suất của các biến động lực tại thời điểm hình thành giữa nhóm phát triển (đường màu đỏ) và nhóm không phát triển (đường màu xanh). Giá trị  $t$  và xác suất  $p\_value$  của kiểm nghiệm Student giữa hai chuỗi số liệu được thể hiện trong hình.



**Hình 4.10.** Hàm phân bố xác suất của các biến nhiệt động lực tại thời điểm hình thành giữa nhóm phát triển (đường màu đỏ) và nhóm không phát triển (đường màu xanh).

Nhìn chung, các kết quả trên thể hiện rằng khả năng phát triển của các XTNĐ được dự báo bởi hệ thống đồng hóa tổ hợp liên quan phần nào tới điều kiện môi trường ở thời điểm hình thành, gắn liền với độ xoáy lớn và

sự tăng cường các quá trình âm. Do đó, để cải thiện chất lượng dự báo, luận án sử dụng các đại lượng đặc trưng về động lực và nhiệt động lực tại thời điểm hình thành theo dự báo từ hệ thống đồng hóa tổ hợp là các nhân tố dự tuyển cho mô hình hồi quy logistic dự báo khả năng phát triển của XTNĐ đạt cường độ bão.

### 4.3. Dự báo xác suất phát triển của xoáy thuận nhiệt đới trên Biển Đông bằng mô hình hồi quy logistic

Các phương trình dự báo sự phát triển của XTNĐ trên Biển Đông từ mô hình hồi quy logistic thu được là:

$$p(\text{XTNĐ phát triển}) = \frac{1}{1+e^{-z}} \text{ với}$$

- Trường hợp 1 (PT1):

$$z = 1,6243 + 1,4384 \times MSE + 0,4075 \times SLHF + 0,3576 \times \zeta_{low} + 0,2898 \times HMC_{low}$$

- Trường hợp 2 (PT2):

$$z = 1,6661 + 1,4215 \times MSE + 0,4268 \times SLHF + 0,4036 \times \zeta_{low} + 0,3384 \times HMC_{low}$$

- Trường hợp 3 (PT3):

$$z = 1,6150 + 1,4487 \times MSE + 0,4947 \times SLHF + 0,3662 \times \zeta_{low} + 0,2965 \times HMC_{low}$$

- Trường hợp 4 (PT4):

$$z = 1,5918 + 1,3863 \times MSE + 0,4133 \times SLHF + 0,3658 \times \zeta_{low} + 0,2942 \times HMC_{low}$$

- Trường hợp 5 (PT5):

$$z = 1,6016 + 1,4676 \times MSE + 0,4353 \times SLHF + 0,3677 \times \zeta_{low} + 0,3307 \times HMC_{low}$$

**Bảng 4.7.** Một số chỉ số đánh giá kỹ năng dự báo xác suất phát triển của XTNĐ trên toàn bộ tập số liệu dựa trên sản phẩm dự báo của hệ thống đồng hóa tổ hợp tại các hạn dự báo khác nhau trong giai đoạn 2012 - 2019 trên Biển Đông.

Chu trình DB (giờ)	Mô hình tổ hợp thống kê – động lực trên toàn bộ tập số liệu giai đoạn 2012 - 2019									
	PT1		PT2		PT3		PT4		PT5	
	AUC-ROC	Brier Score	AUC-ROC	Brier Score	AUC-ROC	Brier Score	AUC-ROC	Brier Score	AUC-ROC	Brier Score
-120	0,7885	0,1507	0,7692	0,1504	0,8077	0,1497	0,8077	0,1517	0,8077	0,1508
-108	0,8846	0,1198	0,8846	0,1192	0,8846	0,1171	0,8846	0,1207	0,8846	0,1192

<b>-96</b>	0,7500	0,1725	0,7500	0,1732	0,7500	0,1719	0,7500	0,1737	0,7500	0,1729
<b>-84</b>	0,8333	0,1256	0,8333	0,1256	0,8333	0,1253	0,8333	0,1271	0,8333	0,1263
<b>-72</b>	0,6731	0,1926	0,6731	0,1921	0,6731	0,1918	0,6731	0,1926	0,6731	0,1918
<b>-60</b>	0,8462	0,1459	0,8462	0,1454	0,8462	0,1442	0,8462	0,1463	0,8462	0,1453
<b>-48</b>	0,7500	0,1464	0,7500	0,1464	0,7500	0,1447	0,7500	0,1464	0,7500	0,1457
<b>-36</b>	0,7292	0,1602	0,7083	0,1603	0,7083	0,1601	0,7292	0,1609	0,7083	0,1598
<b>-24</b>	0,6923	0,1483	0,6923	0,1489	0,6923	0,1481	0,6923	0,1490	0,6923	0,1483
<b>-12</b>	0,7143	0,1964	0,7143	0,1977	0,7143	0,1971	0,7143	0,1969	0,7143	0,1970
<b>0</b>	0,6923	0,1987	0,6731	0,1998	0,6923	0,1979	0,6923	0,1988	0,6923	0,1984

Mô hình tổ hợp động lực – thống kê có sự cải thiện đáng kể so với kết quả dự báo được phân tích trên Bảng 3.2, nhất là tại các chu trình dự báo xa thời điểm hình thành thực tế. Trong đó, tất cả các phương trình dự báo đều cho thấy chỉ số BS đã giảm đáng kể ở các chu trình dự báo từ 120 giờ cho tới 24 giờ trước thời điểm hình thành, thể hiện rằng mô hình dự báo mô tả chính xác hơn khả năng có/không sự phát triển của XTNĐ đạt tới cường độ bão. Giá trị BS thấp nhất đạt được ở các chu trình dự báo 120 giờ và 108 giờ trước thời điểm hình thành thực tế. Do đó mô hình hồi quy logistic tối ưu dựa trên kết quả dự báo tổ hợp được đề xuất trong luận án có thể xem là một công cụ hữu hiệu trong việc dự báo khả năng phát triển của XTNĐ đạt cường độ bão trên khu vực Biển Đông.

## **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

### **Kết luận**

(1) Luận án đã thiết kế hệ thống đồng hóa tổ hợp dựa trên sơ đồ đồng hóa lọc Kalman tổ hợp địa phương LETKF với mô hình dự báo thời tiết khu vực WRF, bổ sung quy trình đồng hóa biến phân 3DVAR tại bước cold-start với mục tiêu cải thiện chất lượng của trường ban đầu. Để khảo sát chất lượng dự báo sự hình thành và phát triển của XTNĐ trên Biển Đông với hệ thống đồng hóa tổ hợp, luận án ứng dụng phương pháp dò tâm xoáy khách quan và phương pháp đánh giá thống kê – động lực cho dự báo xác suất.



(2) Kết quả dự báo sự hình thành và phát triển XTNĐ Wutip (2013) với các thử nghiệm đồng hóa tập số liệu bổ sung cho thấy:

- Đồng hóa tập hợp số liệu quan trắc bổ sung số liệu gió vệ tinh AMV có thể cải thiện trường ban đầu với các thông tin của rãnh gió mùa tốt hơn dự báo toàn cầu GFS, do đó tạo ra điều kiện thuận lợi để XTNĐ hình thành.
- Dự báo tất định CTL với việc đồng hóa đầy đủ bộ số liệu quan trắc bổ sung cho thông tin tốt nhất với hạn dự báo 36 giờ khi đã đủ thời gian ổn định động lực của mô hình.

(3) Hệ thống đồng hóa tổ hợp với tập hợp số liệu đầy đủ có bổ sung gió vệ tinh mực cao AMV cũng được thực hiện với mục tiêu dự báo 45 trường hợp hình thành và phát triển trên Biển Đông trong giai đoạn từ năm 2012 đến 2019. Kết quả của luận án đã chỉ ra rằng:

- Kỹ năng dự báo sự hình thành XTNĐ được mô tả tốt bởi hệ thống đồng hóa tổ hợp. Trong đó, trung bình thống kê vị trí hình thành dự báo rất gần với vị trí hình thành quan trắc và sai số cường độ tại thời điểm hình thành không đáng kể. Độ tán của các giá trị sai số không lớn, những dự báo ở các chu trình dự báo từ 4 – 2 ngày cho kết quả dự báo thời gian hình thành khá phù hợp với thực tế.
- Kỹ năng dự báo sự phát triển XTNĐ đạt cường độ bão kém hơn so với dự báo sự hình thành. Độ tán của sai số khoảng cách kéo dài theo trục đông – tây và giá trị sai số trung bình thống kê lệch về phía đông so với quan trắc.
- Các dấu hiệu dự báo sự phát triển của XTNĐ đạt tới cường độ bão có thể thu được từ thời gian hình thành, trong đó các đại lượng động lực và nhiệt động lực có phân bố khác nhau với độ tin cậy thống kê 95% giữa hai nhóm phát triển và không phát triển. Nhờ quy trình đồng hóa

số liệu, mô hình dự báo có thể phân biệt tốt các tác động của môi trường đối với nhóm phát triển, tốt nhất kể từ chu trình dự báo 3 ngày.

(4) Mô hình tổ hợp động lực – thống kê sử dụng các sản phẩm đặc trưng động lực và nhiệt động lực tại thời điểm XTNĐ hình thành làm nhân tố dự báo cho mô hình hồi quy logistic dự báo xác suất phát triển của XTNĐ đạt cường độ bão. Kỹ năng dự báo bằng phương pháp này cải thiện so với ứng dụng trực tiếp sản phẩm dự báo, nhất là tại các chu trình dự báo sớm trước thời điểm hình thành thực tế. Việc đánh giá các phương trình dự báo trên tập số liệu độc lập và khảo sát mức độ ổn định của các phương trình dự báo trên toàn bộ tập số liệu XTNĐ giai đoạn 2012 - 2019 cho thấy tiềm năng của việc áp dụng phương pháp này cho công tác dự báo sự phát triển của XTNĐ trên Biển Đông.

### **Kiến nghị**

- (1) Đối tượng nghiên cứu chỉ hạn chế sự phát triển của XTNĐ trong giai đoạn từ thời điểm hình thành ATNĐ tới sự hình thành bão. Do đó, các nghiên cứu trong tương lai có thể mở rộng phạm vi nghiên cứu XTNĐ đạt các cấp cao hơn (bão mạnh, bão rất mạnh, siêu bão).
- (2) Tăng chất lượng dự báo của hệ thống đồng hóa tổ hợp với những thiết kế cải tiến, bao gồm: tăng số lượng thành phần dự báo tổ hợp; tăng độ phân giải trong miền tính; thiết lập sơ đồ đồng hóa lai kết hợp LETKF và 3DVAR;...
- (3) Mở rộng hơn cách tiếp cận dự báo sự kiện xác định, trong đó chạy dự báo nghiệp vụ cho tất cả các ngày để đưa ra thông tin thêm về những dự báo không.

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ**  
**LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

- [1]. Trần Tân Tiến, **Đào Nguyễn Quỳnh Hoa** (2018), “Thử nghiệm mô hình WRF kết hợp đồng hóa 3DVAR và LETKF trong dự báo sự hình thành của XTNĐ trên Biển Đông”, *Tap chí khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, Tập 34 (1S), tr.77-89.
- [2]. Tran Tan Tien, **Dao Nguyen-Quynh Hoa**, Cong Thanh & Chanh Kieu (2020), “Assessing the Impacts of Augmented Observations on the Forecast of Typhoon Wutip (2013)’s Formation using the Ensemble Kalman Filter”, *Weather and Forecasting*, pp.1483-1503.
- [3]. Cong Thanh, **Dao Nguyen-Quynh Hoa** & Tran Tan Tien (2021), “Application of Kalman Filter and Breeding Ensemble Technique to Forecast the Tropical Cyclone Activity”, *IntechOpen, Chương 3*.
- [4]. **Đào Nguyễn Quỳnh Hoa** (2023), “Đánh giá hệ thống đồng hóa tổ hợp dự báo sự hình thành của bão Sonca (2017) trên Biển Đông với tiếp cận Lagrange”, *Tap chí khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, Tập 39 (3), tr.32-45.
- [5]. **Dao Nguyen-Quynh Hoa**, Tran Tan Tien (2023), “Development of an ensemble dynamic-probabilistic prediction model for tropical storm genesis in the Vietnam East Sea using the Logistic Regression approach”, *Journal of Hydro-Meteorology*, Vol 17, pp.19-30.