

**BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG**  
**VIỆN KHOA HỌC**  
**KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU**

---

**TRỊNH HOÀNG DƯƠNG**

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ DIỄN BIẾN NĂNG LƯỢNG**  
**BÃO TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ KHẢ NĂNG DỰ BÁO**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHÍ TƯỢNG VÀ KHÍ HẬU HỌC**

**Hà Nội-2022**

**BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG**  
**VIỆN KHOA HỌC**  
**KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU**

**TRỊNH HOÀNG DƯƠNG**

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ DIỄN BIẾN NĂNG LƯỢNG**  
**BÃO TRÊN BIỂN ĐÔNG VÀ KHẢ NĂNG DỰ BÁO**

Ngành: Khí tượng và Khí hậu học

Mã số: 9440222

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHÍ TƯỢNG VÀ KHÍ HẬU HỌC**

Tác giả luận án      Giáo viên hướng dẫn 1      Giáo viên hướng dẫn 2

Trịnh Hoàng Dương      TS. Hoàng Đức Cường      PGS.TS. Dương Văn Khảm

**Hà Nội-2022**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và kết luận trong Luận án này là trung thực, và chưa từng được ai công bố trong bất cứ công trình nào khác. Việc tham khảo nguồn tài liệu đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu đúng quy định.

**Tác giả**

**Trịnh Hoàng Dương**

## LỜI CẢM ƠN

Lời đầu tiên, tác giả xin trân trọng cảm ơn đến Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình nghiên cứu và hoàn thành Luận án này.

Tác giả bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến TS. Hoàng Đức Cường và PGS.TS. Dương Văn Khảm đã hướng dẫn, động viên để tác giả hoàn thành luận án này với chất lượng cao nhất. Tác giả bày tỏ lòng cảm ơn đến PGS. TS. Kiều Quốc Chánh đã hỗ trợ rất quý báu để có thể công bố một phần kết quả của Luận án trên tạp chí quốc tế uy tín.

Tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ rất quý báu của ban lãnh đạo và cán bộ của Bộ môn Khí tượng Khí hậu, của Trung tâm Nghiên cứu Khí tượng nông nghiệp, của Phòng Khoa học Đào tạo và Hợp tác Quốc tế, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã tạo điều kiện cho tác giả có thời gian hoàn thành luận án này. Đồng thời, tác giả xin trân thành cảm ơn Đề tài TNMT.2018.05.23 đã hỗ trợ số liệu, kinh phí cho quá trình thực hiện Luận án.

Luận án này được thực hiện dưới sự hướng dẫn, góp ý quý báu của các Chuyên gia, các Thầy, Cô, và các cán bộ Trong và Ngoài Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã cung cấp cho tác giả những kiến thức chuyên môn quý giá, động viên, hỗ trợ tác giả. Tác giả trân trọng bày tỏ lời cảm ơn sự hướng dẫn, góp ý quý báu đó.

Cuối cùng, tác giả xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới người thân trong gia đình, vợ và hai con, những người đã luôn ở bên cạnh cổ vũ, động viên và tạo mọi điều kiện tốt nhất cho tác giả trong suốt thời gian học tập và nghiên cứu.

**Tác giả luận án**

**Trịnh Hoàng Dương**

## MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN .....	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC HÌNH .....	v
DANH MỤC BẢNG.....	xi
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT .....	xii
MỞ ĐẦU.....	1
Chương 1. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ NĂNG LƯỢNG BÃO ....	7
1.1 Năng lượng bão .....	7
1.2 Diễn biến năng lượng bão trên các vùng biển và bão trên Biển Đông .....	12
1.2.1 Đặc điểm diễn biến năng lượng bão trên các vùng biển.....	12
1.2.2 Đặc điểm diễn biến của bão trên Biển Đông .....	19
1.3 Quan hệ giữa SST, dòng xiết cận nhiệt đới với bão ở TBTBD và bão trên Biển Đông .....	23
1.3.1 Quan hệ giữa SST, dòng xiết cận nhiệt đới với bão ở TBTBD .....	23
1.3.2 Quan hệ giữa SST, dòng xiết cận nhiệt đới với bão trên Biển Đông ..	30
1.4 Dự báo hạn mùa đối với bão và năng lượng bão .....	33
1.5 Tiểu kết chương 1.....	39
Chương 2. SỐ LIỆU, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN VÀ DỰ BÁO NĂNG LƯỢNG BÃO .....	41
2.1 Số liệu.....	41
2.1.1 Số liệu quan trắc bão .....	41
2.1.2 Nhiệt độ mặt nước biển và số liệu tái phân tích.....	42
2.1.3 Số liệu của hệ thống dự báo khí hậu phiên bản 2 (CFSv2) .....	42
2.1.4 Số liệu về dự báo bão hạn mùa của một số Cơ quan nghiệp vụ .....	45
2.2. Phương pháp nghiên cứu.....	45
2.2.1 Phương pháp tính toán các chỉ số năng lượng bão .....	45
2.2.2 Phương pháp phân tích xu thế bão .....	50
2.2.3 Phương pháp phân tích tương quan và so sánh hai kỳ vọng.....	51
2.2.4 Phương pháp phân tích thành phần chính.....	54
2.2.5 Phương pháp dự báo hạn mùa về năng lượng bão .....	56
Chương 3. DIỄN BIẾN NĂNG LƯỢNG BÃO VÀ MỐI QUAN HỆ VỚI NHIỆT ĐỘ MẶT NƯỚC BIỂN, VỚI DÒNG XIẾT CẬN NHIỆT ĐỚI.....	62

3.1 Đặc điểm diễn biến của bão dựa trên chỉ số năng lượng bão .....	62
3.1.1 Biến trình năm và diễn biến hàng năm của các chỉ số năng lượng bão	62
3.1.2 Đặc điểm diễn biến của ACE trên Biển Đông .....	66
3.2 Mối quan hệ giữa nhiệt độ mặt nước biển ở vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản, cường độ dòng xiết cận nhiệt với ACE trên Biển Đông.....	75
3.2.1 Mối quan hệ giữa SST với ACE trên Biển Đông .....	75
3.2.2 Mối quan hệ giữa dòng xiết cận nhiệt đới với ACE trên Biển Đông ..	84
3.3 Tiểu kết về chương 3.....	97
<b>Chương 4. KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG SST Ở VÙNG BIỂN PHÍA ĐÔNG NAM NHẬT BẢN VÀ CƯỜNG ĐỘ DÒNG XIẾT CẬN NHIỆT ĐỚI ĐỀ DỰ BÁO NĂNG LƯỢNG BÃO TÍCH LŨY TRÊN BIỂN ĐÔNG .....</b>	<b>99</b>
4.1 Đặt bài toán .....	99
4.2. Quan hệ giữa SST, U200mb được CFSv2 dự báo với quan trắc và ACE	103
4.1.1 Quan hệ giữa SST được CFSv2 dự báo với quan trắc và ACE.....	103
4.1.2 Quan hệ giữa U200mb được CFSv2 dự báo với quan trắc và ACE..	106
4.3. Xây dựng phương trình dự báo ACE .....	110
4.3.1 Xây dựng phương trình dự báo ACE1 .....	110
4.3.2 Xây dựng phương trình dự báo ACE2 .....	112
4.4 Đánh giá sai số dự báo ACE dựa trên số liệu độc lập.....	114
4.4.1 Sai số dự báo ACE1 .....	114
4.4.2 Sai số dự báo ACE2 .....	118
4.5 Khả năng áp dụng nghiệp vụ về phương trình dự báo ACE.....	120
4.6 Tiểu kết về chương 4.....	123
<b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....</b>	<b>124</b>
1. Kết luận .....	124
2. Kiến nghị .....	125
<b>CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA NGHIÊN CỨU SINH CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN .....</b>	<b>126</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>127</b>
Tiếng Việt.....	127
Tiếng Anh.....	131

## DANH MỤC HÌNH

Hình 1. 1. Sơ đồ lý tưởng hóa theo CISK (a) và Canot đối với bão (b) .....	8
Hình 1. 2. Minh họa về chỉ số năng lượng bão .....	10
Hình 1. 3. Diễn biến của ACE trên các đại dương.....	12
Hình 1. 4. (a) Diễn biến của ACE trên khu vực Bắc Đại Tây Dương (đường màu đen); trung bình trượt 7 năm (đường màu xanh) và đường xu thế tuyến tính (màu đỏ, hệ số độ dốc của hồi quy góc bên phải) của trung bình trượt 7 năm và (b) tương tự như (a) nhưng cho thời gian tồn tại của bão. ....	13
Hình 1. 5. (a) Xu thế biến đổi của ACE trên biển Ả Rập và (b) và vịnh Bengal .....	14
Hình 1. 6. (a) Diễn biến của ACE trong các năm trên khu vực biển phía Tây Bắc Australia và (b) trên khu vực Fiji.....	14
Hình 1. 7. Diễn biến năm và trong các năm về ACE trên khu vực TBTBD ....	15
Hình 1. 8. (a) ACE ( $10^3 m^2 s^{-2}$ ) trung bình năm trong giai đoạn 1950–2002 trên ô lưới $2^\circ$ kinh vĩ (a) và (b) ACE ( $10^4 kt^2$ ) trung bình ngày theo các giai đoạn MJO khác nhau (Đường đứt nét là giá trị trung bình) .....	16
Hình 1. 9. Giám sát bão thời gian thực ở khu vực TBTBD của Đại học Colorado, Hoa Kỳ năm 2021 .....	17
Hình 1. 10. Ứng dụng ACE trên khu vực Đại Tây Dương của Công ty bảo hiểm ARTEMIS của Anh.....	18
Hình 1. 11. Sơ đồ mô tả khí quyển trên khu vực TBTBD khi chuẩn sai SST dương ở Ấn Độ Dương và phía Đông Nam Nhật Bản .....	25
Hình 1. 12. Hồi quy giữa gió mực 850 mb (a) và mực 200mb (b) với chuẩn sai SST ở vùng phía Đông Australia bằng 1 độ lệch chuẩn. ....	26
Hình 1. 13. Sơ đồ minh họa khí quyển khu vực TBTBD trong giai đoạn SST cao ở Ấn Độ Dương (Nguồn: Xie và ctv, 2016 [141]).....	28
Hình 1. 14. Sơ đồ mô tả hoạt động sóng Rossby kích hoạt kiểu P-J. “L” và “H” biểu thị các xoáy thuận và nghịch ở tầng đối lưu thấp .....	29
Hình 1. 15. (a) Sự khác biệt trung bình SST trong các năm cao và thấp của bão	

hình thành trên Biển Đông và (b) bão từ ngoài vào Biển Đông .....	31
Hình 1. 16. Sơ đồ minh họa hoàn lưu khí quyển liên quan đến (a) Gradient SST (ZSG) dương và (b) âm .....	32
Hình 1. 17. Điểm kỹ năng dự báo ACE trên khu vực Bắc Đại Tây Dương (a) và khu vực TBTBD từ 2003-2020 (b) .....	35
Hình 1. 18. Dự báo ACE của ECMWF phát hành 01/7/2021 .....	37
Hình 2. 1. Sơ đồ mô tả thu thập và sử dụng số liệu CFSv2 phục vụ xây dựng mô hình dự báo ACE trên Biển Đông.....	45
Hình 2. 2. Phạm vi nghiên cứu từ vĩ độ 5-23 <sup>0</sup> N và kinh độ 100-120 <sup>0</sup> E .....	46
Hình 3. 1. Biến trình năm của các đặc trưng của bão trên khu vực TBTBD, giai đoạn 1982-2018 từ số liệu của JTWC và JMA (a-d). Từ (e - h) tương tự như (a - d) nhưng đối với các đặc trưng bão trên Biển Đông. Ký hiệu “C8-JTWC và C8-JMA” là số cơn bão được xác định từ số liệu của JTWC và JMA, tương tự như vậy cho các đặc trưng ACE, PDI, RPDI, NCB.....	63
Hình 3. 2. Diễn biến hàng năm của các đặc trưng bão trên khu vực TBTBD từ số liệu JTWC và JMA (a-g). Từ (h-m) tương tự như (a-g) nhưng đối với bão trên Biển Đông. ....	65
Hình 3. 3. (a-b) Biến trình năm của các năm ACE ( $10^3\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) cao và (b-c) tích lũy theo tháng trong các năm ACE cao (thấp) trên Biển Đông .....	68
Hình 3. 4. Diễn biến các đặc trưng của bão trên Biển Đông trong năm ACE cao và ACE thấp từ số liệu JMA (a) và từ JTWC (b) .....	71
Hình 3. 5. Xu thế biến đổi của số lượng bão (C8) và bão từ cấp 12 trở lên (C12) trên Biển Đông dựa trên số liệu bão của JMA (a-b). Từ (c-d) tương tự như (a-b) nhưng từ số liệu của JTWC.....	73
Hình 3. 6. Xu thế biến đổi tuyến tính của NCB và ACE ( $10^3\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) trên Biển Đông dựa trên số liệu của JMA (a-b). Từ (c-d) tương tự như (a-b) nhưng số liệu của JTWC.....	74
Hình 3. 7. Phân bố không gian của các đặc trưng bão; (a) số cơn bão, (b) NCB và (c) ACE ( $10^3\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) trên ô lưới $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ kinh vĩ. Chỉ tính cho những	

- con bão liên quan đến Biển Đông..... 75
- Hình 3. 8. Hệ số tương quan giữa SST trung bình tháng 6-11 với số cơn bão (C8) trên khu vực TBTBD từ số liệu bão của JMA (a) và JTWC (b) thời kỳ 1982-2018. Từ (c)-(d) tương tự (a)-(b) nhưng cho số cơn bão trên Biển Đông. Vùng bên trong đường contour màu đen thể hiện (r) đạt độ tin cậy 95%. ..... 77
- Hình 3. 9. Tương tự như Hình 3.8 nhưng cho mối quan quan giữa ACE với SST trung bình tháng 6 đến tháng 11 ..... 78
- Hình 3. 10. Hệ số tương quan giữa SST trung bình tháng 6 đến tháng 11 với số lượng bão mạnh trên Biển Đông (C12) từ số liệu bão của JMA (a) và JTWC (b). Từ (c)-(d) tương tự như (a)-(b) nhưng đối với NCB trên Biển Đông.. 79
- Hình 3. 11. Hệ số tương quan giữa ACE với SSTG trung bình 3 tháng liên tiếp từ số liệu bão của JMA (a) và JTWC (b). Đường nét đứt (đậm) song song với trục hoành biểu thị hệ số tương đạt độ tin cậy 95% (99%). ..... 81
- Hình 3. 12. (a) Chuỗi thời gian của JSSTG trung bình tháng 6 đến 8. (b) Chênh lệch trung bình của số cơn bão qua ô lưới  $1 \times 1^0$  kinh vĩ trong 8 năm JSSTG cao và 6 năm JSSTG thấp. .... 82
- Hình 3. 13. (a) đường contours 1249 dagpm mực 200 mb và đường 587 dagpm tại mực 500 mb trong mùa hè (đường liền nét là năm ACE cao và đường đứt nét là năm thấp). (b) là độ cao địa thế vị trung bình trong mùa hè mực 850 mb cho năm ACE cao (đường liền nét) và thấp (đường đứt nét). Vùng màu vàng (xanh) là sự khác biệt dương (âm) của độ cao địa thế vị mực 500 mb (a) và 850mb (b) giữa năm ACE cao và thấp đạt mức độ tin cậy 95%. .... 83
- Hình 3. 14. Hệ số tương quan giữa JSSTG với U850mb và với U200mb trung bình tháng 6 đến tháng 11 (vùng màu), kết hợp chuẩn sai gió (vector,  $\text{ms}^{-1}$ ) mực 850mb (a) và 200mb (b) trung bình tháng 6 đến tháng 11 trong 8 năm JSSTG dương. Từ (c-d) tương tự như (a-b) nhưng cho tương quan với ACE, kết hợp chuẩn sai gió trong 6 năm JSSTG âm. Từ (c-d) là sự khác nhau của gió giữa các năm JSSTG dương và âm tại mực 850mb và 200mb (phần tô mờ thể hiện sự khác nhau đạt độ tin cậy 95%). ..... 85

- Hình 3. 15. Mặt cắt ngang vĩ hướng kinh độ từ  $120^{\circ}\text{E}$ - $140^{\circ}\text{E}$  (đường contour) của hệ số tương quan giữa JSSTG với gió vĩ hướng trung bình tháng 6 đến tháng 11 và kết hợp với chuẩn sai gió (vector,  $\text{ms}^{-1}$ ) trong 8 năm JSSTG dương (a). Tương tự như a, nhưng cho tương quan với ACE và kết hợp với chuẩn sai gió trong 6 năm JSSTG âm (b). Vùng màu xanh (vàng) trong a và b thể hiện hệ số tương quan âm (dương) đạt độ tin cậy 95%. ..... 86
- Hình 3. 16. (a) Trung bình U200mb mùa hè ( $\text{ms}^{-1}$ ) cho các năm ACE cao (đường đậm màu đỏ là gió tây và mảnh là gió đông) và các năm ACE thấp (đường đứt đậm màu xanh là gió tây và liền mảnh là gió đông). (b) Sự khác nhau của U200 mb giữa các năm ACE cao và thấp, vùng tô màu vàng (xanh) thể hiện chênh lệch dương (âm) với mức độ tin cậy 95%. ..... 88
- Hình 3. 17. Phân bố hệ số tương quan giữa U200mb trung bình mùa hè với ACE được xác định từ số liệu của JMA (a). (b) tương tự như (a) nhưng là mặt cắt vĩ hướng với kinh độ từ  $90^{\circ}\text{N}$ - $120^{\circ}\text{E}$ . Từ (c-d) tương tự như (a-b) nhưng cho ACE được xác định từ số liệu JTWC. Vùng màu vàng (xanh) thể hiện tương quan dương (âm) với mức độ tin cậy 95% (99%). ..... 89
- Hình 3. 18. EOF1 (a) và EOF2 (b) của gió vĩ hướng trung bình trong mùa hè mực 200 mb cho miền  $25^{\circ}\text{N} - 60^{\circ}\text{N}$ ,  $80^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$ . (c-d) là thành phần chính tương ứng với EOF1 và EOF2. Giá trị trong ngoặc đơn của (a) và (b) là phần trăm tổng phương sai. Đường đen đứt nét trong (c), (d) là xu thế tuyến tính ..... 90
- Hình 3. 19. (a) Tương quan giữa PC1 và sự thay đổi vị trí của APSJ theo định nghĩa bởi Yan (2019) và (b) PC2 với cường độ của APSJ bởi Huang (2014) ..... 91
- Hình 3. 20. (a) Hệ số tương quan giữa PC2 với U850mb trung bình tháng 6 đến 11 (vùng màu) và chuẩn sai gió mực 850mb trong các năm ACE cao (vector), (b) sự khác nhau của gió mực 850 mb trong năm ACE cao và thấp. .... 92
- Hình 3. 21. Mặt cắt ngang kinh hướng vĩ độ  $5^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$  của hệ số tương quan giữa JSSTG với tốc độ thẳng đứng trung bình ( $\omega$ ) tháng 6 đến tháng 11 (a). (b)

- tương tự như (a) nhưng quan hệ giữa ACE với  $\omega$ . Vùng màu vàng (xanh) thể hiện hệ số tương quan dương (âm) với mức độ tin cậy 95%..... 93
- Hình 3. 22. Hệ số tương quan giữa ACE (a) và PC2 (b) với OLR; Vùng màu vàng (xanh) thể hiện hệ số tương quan dương (âm) với mức độ tin cậy 95%.  
..... 94
- Hình 3. 23. Hệ số tương quan giữa JSSTG với các yếu tố môi trường trung bình từ tháng 6 đến tháng 11; Xoáy tương đối mực 850 mb (a), độ tán tương đối mực 200mb (b), độ đứt gió thẳng đứng mực 200-850 mb (c). Từ (d-f) tương tự (a-c) nhưng mối tương quan giữa ACE với các yếu tố môi trường. Vùng tô màu vàng (xanh) biểu thị hệ số tương quan dương (âm) với mức độ tin cậy 95%. ..... 95
- Hình 3. 24. Sơ đồ minh họa sự ảnh hưởng của SST ở phía Đông Nam Nhật Bản đối với hoạt động của bão trên Biển Đông; ..... 96
- Hình 4. 1. Biểu đồ về thời gian trong bài toán dự báo hạn mùa ..... 100
- Hình 4. 2. Mô tả dự báo ACE1 trên Biển Đông ..... 102
- Hình 4. 3. Mô tả dự báo ACE2 trên Biển Đông ..... 103
- Hình 4. 4. Phân bố không gian của hệ số tương quan đồng thời của SSTA trung bình tháng 6 đến tháng 10 giữa quan trắc với dự báo của CFSv2, thời kỳ 1982-2010. SST của CFSv2 là trung bình từ 24 dự báo của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm trong các tháng 2 đến tháng 6 (a-e) và (f) là trung bình từ (a-e). ..... 104
- Hình 4. 5. Hệ số tương quan giữa ACE trên Biển Đông với SSTA từ trung bình 24 dự báo trong tháng 6 đến tháng 10 của CFSv2 thực hiện từ tháng 2 đến tháng 6, thời kỳ 1982-2018 (a-e) và (f) trung bình từ (a-e). Vùng bên trong đường contour màu đen thể hiện hệ số tương quan đạt độ tin cậy trên 95%.  
..... 105
- Hình 4. 6. Tương tự như hình 4.4 nhưng là hệ số tương quan của U200 mb trung bình tháng 6 đến tháng 8 giữa quan trắc và dự báo của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm trong các tháng 2 đến tháng 6. .... 106

- Hình 4. 7. Tương tự như hình 4.5 nhưng là hệ số tương quan giữa ACE trên Biển Đông với U200 mb trung bình tháng mùa hè của CFSv2 dự báo. Vùng bên trong đường Contour màu đen là hệ số tương quan đạt độ tin cậy 95% .. 107
- Hình 4. 8. NTDB trung bình tháng 6-8 từ số liệu quan trắc và trung bình 24 dự báo của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm khác nhau, thời kỳ 1982-2010 ..... 108
- Hình 4. 9. Hệ số tương quan của NTDB trung bình tháng 6 đến 8 giữa quan trắc và 24 dự báo đơn lẻ của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm khác nhau, thời kỳ 1982-2010. Cột màu đỏ là tương quan với trung bình của 24 dự báo. 109
- Hình 4. 10. Diễn biến ACE1 ( $10^3\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) quan trắc và dự báo từ một NTBD.. 115
- Hình 4. 11. Diễn biến của ACE1 ( $10^3\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) quan trắc và dự báo dựa trên phương trình hai nhân tố dự báo ..... 116
- Hình 4. 12. Diễn biến của ACE1 ( $10^3\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) quan trắc và dự báo dựa trên phương trình ba NTBD..... 117
- Hình 4. 13. Diễn biến ACE2 ( $10^3\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) quan trắc và dự báo với một NTBD 118
- Hình 4. 14. Diễn biến ACE2 ( $10^3\text{m}^2\text{s}^{-2}$ ) quan trắc và dự báo với hai NTBD . 119

## DANH MỤC BẢNG

Bảng 2. 1. Bảng phân loại tần số theo pha dự báo.....	61
Bảng 3. 1. Các đặc trưng của bão trên Biển Đông thời kỳ 1982-2018.....	67
Bảng 3. 2. Các đặc trưng của bão trên Biển Đông thời kỳ 1982-2018 được chia theo các cấp bão .....	70
Bảng 3. 3. Hệ số tương quan giữa tổng ACE trong các năm với các đặc trưng của bão trên Biển Đông.....	71
Bảng 3. 4. Hệ số hồi quy ( $a_1$ ) và tương quan ( $r$ ) giữa các đặc trưng bão trên Biển Đông với thời gian .....	72
Bảng 3. 5. Hệ số tương quan giữa thành phần chính (PC) với ACE, số cơn bão (C8), ngày có bão (NCB), số cơn bão từ cấp 12 trở lên (C12) và JSSTG. ....	91
Bảng 4. 1. Phương trình dự báo ACE1 dựa trên một NTBD ( $F_{(0.05)} = 4.21$ )... ..	110
Bảng 4. 2. Phương trình dự báo ACE1 kết hợp hai NTBD ( $F_{(0.05)} = 3.37$ ) .....	111
Bảng 4. 3. Phương trình dự báo ACE1 kết hợp ba NTBD ( $F_{(0.05)} = 2.99$ ) .....	112
Bảng 4. 4. Phương trình dự báo ACE2 dựa trên một NTBD ( $F_{(0.05)} = 4.21$ )... ..	113
Bảng 4. 5. Phương trình dự báo ACE2 dựa trên hai NTBD ( $F_{(0.05)} = 3.37$ ) .....	113
Bảng 4. 6. Phương trình dự báo ACE2 dựa trên hai NTBD ( $F_{(0.05)} = 2.99$ )....	114
Bảng 4. 7. Sai số dự báo ACE1 từ các phương trình một NTDB.....	115
Bảng 4. 8. Sai số dự báo ACE1 từ phương trình với hai NTDB .....	117
Bảng 4. 9. Sai số dự báo ACE1 từ phương trình kết hợp ba NTDB.....	118
Bảng 4. 10. Sai số dự báo ACE2 từ phương trình kết hợp một NTDB .....	119
Bảng 4. 11. Sai số của dự báo ACE2 từ phương trình hai NTDB.....	119
Bảng 4. 12. Tỷ lệ (%) dự báo đúng theo đánh giá hai pha đối với phương trình dự báo ACE1 dựa trên chuỗi độc lập 2013-2018 .....	120
Bảng 4. 13. Tỷ lệ (%) dự báo đúng theo đánh giá hai pha đối với phương trình dự báo ACE2 dựa trên chuỗi độc lập 2013-2018 .....	121
Bảng 4. 14. Sai số dự báo ACE ( $10^4 \text{ knot}^2$ ) trên khu vực Đại Tây Dương (trung bình thời kỳ 1950-2013 là $103 \times 10^4 \text{ knot}^2$ ).....	121
Bảng 4. 15. Sai số dự báo ACE ( $10^4 \text{ knot}^2$ ) trên khu vực TBTBD của STR (trung bình thời kỳ 1965-2018 là $295 \times 10^4 \text{ knot}^2$ ).....	122

## DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Ý nghĩa
ACE	Năng lượng bão tích lũy/Động năng bão tích lũy (Accumulated cyclone energy/Accumulated tropical cyclone kinetic energy)
ACE1	Tổng ACE từ tháng 5 đến tháng 12
ACE2	Tổng ACE từ tháng 8 đến tháng 12
APSJ	Dòng xiết cận nhiệt đới Đông Á-Thái Bình Dương/Dòng xiết cận nhiệt đới (Asian-Pacific subtropical Jet/The Subtropical Jet Stream)
AMO	Dao động thập kỷ Đại Tây Dương (The Atlantic Multidecadal Oscillation)
ARTEMIS	Công ty kinh doanh trái phiếu thảm họa, chứng khoán, bảo hiểm, đầu tư và rủi ro do thời tiết, thiên tai của Anh
ACTBD	Áp cao cận nhiệt đới Bắc Thái Bình Dương
C8	Số lượng bão có tốc độ gió mạnh nhất từ cấp 8 trở lên theo phân cấp gió Beaufort
C8-11	Số lượng bão có tốc độ gió mạnh nhất từ cấp 8 đến cấp 11 theo phân cấp gió Beaufort
C12	Số lượng bão có tốc độ gió mạnh nhất từ cấp 12 trở lên theo phân cấp gió Beaufort
CDC/ NOAA	Trung tâm Dữ liệu Khí hậu Quốc gia/Cơ quan Quản lý Khí quyển - Đại dương Quốc gia Hoa Kỳ (National Climatic Data Center/Naitional Oceanographic and Atmospheric Administration)

CISK	Điều kiện bất ổn định đối lưu loại 2 (Conditional Instability of the Second Kind)
CFSv2	Hệ thống dự báo khí hậu phiên bản 2 (Climate Forecast System Version 2)
CSU	Trường Đại học Colorado - Hoa Kỳ (Colorado State University- The United States of America)
CPC	Trung tâm Dự báo khí hậu quốc gia Hoa Kỳ (Climate Prediction Center)
CAM-SOM	Mô hình khí quyển cộng đồng- Mô hình đại dương lớp xáo trộn (Community Atmospheric Model- Mixed-layer Slab Ocean Model)
cIWRF	Phiên bản khí hậu của mô hình nghiên cứu và dự báo thời tiết (Weather Research and Forecast model, climate version)
ĐTDB	Đối tượng dự báo
EOF/PCA	Hàm trực giao thực nghiệm/Phân tích thành phần chính (Empirical Orthogonal Function/ Principal Component Analysis)
ECMWF	Trung tâm Dự báo thời tiết Hạn vừa Châu Âu (European centre for Medium-Range weather Forecasts)
ENSO	Hiện tượng El Niño - Dao động Nam (El Niño - South Oscillation)
ERSSTv4	Nhiệt độ bề mặt biển mở rộng, phiên bản 4 (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 4)
HSI	Chỉ số nguy hiểm của bão (Hurricane Severity Index)
IKE	Động năng tích hợp của bão (Integrated Kinetic Energy)
ISST	Nhiệt độ mặt nước biển ở khu vực xích đạo Ấn Độ Dương
ISSTG	Chênh lệch giữa ISST và bề ẩm ở trung tâm TBTBD

IRI	Viện nghiên cứu quốc tế về khí hậu và xã hội (International Research Institute for Climate and Society)
JMA	Cục khí tượng Nhật Bản (Japan Meteorological Agency)
JTWC	Trung tâm Cảnh báo bão của Hải quân Hoa Kỳ (Joint Typhoon Warning Centre)
JSST	Nhiệt độ mặt nước biển ở biển phía Đông Nam Nhật Bản
JSSTG	Chênh lệch giữa JSST và bề ẩm ở trung tâm TBTBD
NCEP/NCAR	Trung tâm Quốc gia Dự báo Môi Trường/Trung tâm Quốc gia Nghiên cứu Khí quyển (National Centers for Environmental Prediction/ National center for Atmospheric Research)
NCB	Ngày có bão
NTDB	Nhân tố dự báo
MJO	Dao động Madden-Julian
MM5CL	Mô hình qui mô vừa MM5 phiên bản khí hậu (Mesoscale model-Climate Mode of the MM5)
PDI	Chỉ số sức mạnh của bão (Power Dissipation Index)
PC	Thành phần chính (Principal Component)
P-J	Kiểu Thái Bình Dương - Nhật Bản (Pacific - Japan pattern)
RPDI	Chỉ số sức mạnh của bão được hiệu chỉnh (Revised Power Dissipation Index)
RSMC	Trung tâm Chuyên ngành Khí tượng khu vực - Trung tâm bão Tokyo (Regional Specialized Meteorological Centres - Tokyo Typhoon Center)
RACE	Năng lượng bão tích lũy được hiệu chỉnh (Revised Accumulated cyclone energy)
REMO	Mô hình khí hậu khu vực của Viện Khí tượng Max Planck,

	Hamburg (Regional Model)
RSM	Mô hình phổ khu vực (Regional Spectral Model)
RegCM	Mô hình khí hậu khu vực của Trung tâm Vật lý thuyết Quốc tế (International Centre for Theoretical Physics-Regional Climate Model)
SST	Nhiệt độ mặt nước biển
SSTA	Chuẩn sai nhiệt độ mặt nước biển
SSST	Nhiệt độ ở khu vực biển phía Tây Nam Thái Bình Dương
Gradient SST/ SSTG	Chênh lệch giữa SST nói chung cho cả ba vùng (ISST, JSST và SSST) và bề ấm ở trung tâm TBTBD
SSSTG	Chênh lệch giữa SSST và bề ấm ở trung tâm TBTBD
TIKE	Động năng tích hợp theo quỹ đạo bão (Track Integrated Kinetic Energy)
TBTBD	Tây Bắc Thái Bình Dương
TĐPT	Thời điểm phát tin dự báo
TSR	Rủi ro do bão nhiệt đới-Đại học College, nước Anh (Tropical Storm Risk, University College London, England)
UNDRR	Cơ quan chiến lược về giảm nhẹ thiên tai của Liên Hợp Quốc (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction)
U200mb/U200	Gió vĩ hướng mực 200 mb/Gió vĩ hướng mực 200mb vùng phụ khu vực Đông Á được định nghĩa là nhân tố dự báo
U800mb	Gió vĩ hướng mực 800 mb
WMO	Tổ chức Khí tượng Thế giới (World Meteorological Organization)
WISHE	Gió sát bề mặt bị ảnh hưởng bởi trao đổi thông lượng nhiệt tại bề mặt giữa đại dương – khí quyển (The wind-induced surface heat exchange)

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài

Các chỉ số năng lượng bão đã và đang được sử dụng khá phổ biến trong đánh giá bão, như: Bổ sung cho phân cấp cường độ gió; đánh giá đặc điểm diễn biến hoạt động của bão; tìm kiếm mối quan hệ tương tác giữa đại dương-khí quyển đến bão; giải thích tác động của biến đổi khí hậu đến hoạt động của bão và là một đặc trưng để so sánh giữa các mùa bão và các cơn bão khác nhau. Không giống như số liệu về số lượng bão, chỉ số năng lượng bão sẽ bổ sung thông tin về cường độ và thời gian tồn tại của bão. Trong mùa bão có một số cơn rất mạnh, số ngày hoạt động dài, dẫn đến chỉ số năng lượng cao hơn, vì vậy nguy cơ tác động lớn hơn so với mùa có nhiều cơn bão yếu, hoạt động ngắn ngày hơn. Như vậy chỉ số năng lượng bão là rất quan trọng trong việc khái quát cả về số lượng, cường độ và thời gian hoạt động của bão là cơ sở khoa học phục vụ đánh giá, giám sát và dự báo bão trên khu vực Biển Đông. Tuy nhiên, hiện nay chưa có nhiều công trình nghiên cứu sâu về đặc điểm diễn biến và dự báo năng lượng bão trên Biển Đông. Điều này đặt ra câu hỏi diễn biến năng lượng bão trên Biển Đông như thế nào. Chúng có sự tương đồng hoặc khác biệt gì so với khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương.

Các công trình nghiên cứu cho thấy nhiệt độ mặt nước biển không chỉ ảnh hưởng trực tiếp mà còn ảnh hưởng gián tiếp thông qua hoàn lưu quy mô lớn đến hoạt động của bão ở khu vực TBTBD và Biển Đông (Nguyễn Đức Ngữ và Nguyễn Trọng Hiệu, 2004 [16]; Camargo và ctv, 2005 [43]; Nguyễn Thị Thanh, 2019 [23]; Richard và Zhou, 2014 [110]; Zhan và Wang 2014 [154]). Trong một số hệ thống quy mô lớn khác nhau trên khu vực TBTBD như gió mùa, ACTBD, các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng cường độ dòng xiết cận nhiệt đới mà vị trí, cường độ của nó quan hệ chặt chẽ với SST, khí hậu Đông Á và bão trên khu vực TBTBD và Biển Đông. Điều đó đặt ra câu hỏi về sự tương đồng hoặc sự khác biệt của năng lượng bão trên Biển Đông và TBTBD liệu có tồn tại mối quan hệ với SST và SST trong vùng biển nào có quan hệ

chặt chẽ với năng lượng bão. Có phải dòng xiết cận nhiệt đới đóng vai trò là hoàn lưu quy mô lớn liên quan đến mối quan hệ này. Nếu xác định được mối quan hệ chặt chẽ với năng lượng bão trên Biển Đông thì có thể ứng dụng làm nhân tố dự báo chúng được hay không.

Với đường bờ biển dài hơn 3000 km, Việt Nam dễ bị tổn thương về kinh tế và xã hội do hoạt động của bão cả trên biển và đất liền. Do đó, dự báo bão trong khu vực TBTBD, đặc biệt là trên Biển Đông và vùng nước mở xung quanh, rất quan trọng đối với Việt Nam cả về mặt khoa học và xã hội. Tuy nhiên, những dự báo hạn mùa về bão cho Biển Đông hiện vẫn còn nhiều thách thức (Phan-Van Tan và ctv, 2015) [121]. Thực tế cho thấy, thông tin dự báo hạn mùa sử dụng nhiều đặc trưng bão, trong đó chỉ số năng lượng bão là một trong những đặc trưng đang được sử dụng khá phổ biến trong nghiệp vụ như ở Hoa Kỳ, Anh, Nhật Bản,... Thuật ngữ này còn được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực bảo hiểm, chứng khoán, đầu tư tài chính liên quan đến rủi ro thiên tai. Thông tin về năng lượng bão tích lũy thời gian thực kết hợp với thông tin dự báo bão (bao gồm số lượng bão theo cấp và thời gian hoạt động) được sử dụng để đưa ra nhận định kinh doanh hay kế hoạch chuẩn bị nguồn lực cho quản lý rủi ro do bão gây ra.

Nghiên cứu bão trên khu vực Biển Đông đã và đang được các nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm, mặc dù vậy không nhiều công trình nghiên cứu đánh giá đặc điểm diễn biến năng lượng bão, cũng như dự báo chúng cho Biển Đông được công bố. Chính vì vậy, luận án nghiên cứu đánh giá đặc điểm diễn biến và dự báo hạn mùa về năng lượng bão nhằm bổ sung thêm thông tin về các đặc trưng phản ánh hoạt động của bão trên Biển Đông là rất cần thiết.

## **2. Mục tiêu của luận án**

- Làm rõ được đặc điểm diễn biến của năng lượng bão trên Biển Đông và mối quan hệ giữa năng lượng bão trên Biển Đông với nhiệt độ mặt nước biển, với dòng xiết cận nhiệt đới;

- Xây dựng được mô hình thống kê dự báo năng lượng bão trên Biển

Đông dựa trên thông tin nhiệt độ mặt nước biển và dòng xiết cận nhiệt đới.

### **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

#### *a) Đối tượng nghiên cứu*

+ Bão và chỉ số đánh giá năng lượng bão; Chỉ số năng lượng bão tích lũy (hay động năng bão tích lũy hay còn gọi là chỉ số năng lượng gió bão);

+ Các đặc trưng thống kê về bão, bão mạnh, ngày có bão: tổng cộng, trung bình, cao nhất, thấp nhất và các đặc trưng thống kê khác.

#### *b) Phạm vi nghiên cứu*

Chỉ số năng lượng bão tích lũy và đặc trưng của bão được xem xét trên Biển Đông (0-23<sup>0</sup>N, 100-120<sup>0</sup>E).

#### *c) Giới hạn nghiên cứu*

- Nghiên cứu chưa có điều kiện phân tích hoạt động của bão dựa trên tất cả các chỉ số năng lượng bão, chủ yếu chỉ sử dụng chỉ số năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông (ACE) và không phân biệt bão hình thành trên Biển Đông cũng như bão di chuyển từ ngoài vào. Đồng thời chỉ phân tích tương quan trong các năm giữa năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông với nhiệt độ mặt nước biển, với dòng xiết cận nhiệt đới, nhưng chưa có điều kiện phân tích mối quan hệ với các đặc trưng khác như cấu trúc bão, địa hình trên biển hay gió mùa, dải hội tụ nhiệt đới, dòng xiết nhiệt đới,...

- Phương trình thử nghiệm dự báo năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông chỉ được xây dựng dựa trên sản phẩm dự báo toàn cầu CFSv2 từ cơ sở khoa học về mối tương quan giữa năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông với nhiệt độ mặt nước biển, với dòng xiết cận nhiệt đới và chưa có điều kiện xét những nhân tố dự báo khác.

### **4. Các luận điểm bảo vệ**

1) Có sự tương đồng và khác biệt của năng lượng bão trên Biển Đông với Tây Bắc Thái Bình Dương và tồn tại quan hệ thống kê chặt chẽ giữa năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông với nhiệt độ bề mặt biển ở vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản và với cường độ dòng xiết cận nhiệt đới.

2) Trên cơ sở đã đánh giá được mối quan hệ thống kê chặt chẽ giữa năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông với nhiệt độ bề mặt nước biển ở vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản và với cường độ dòng xiết cận nhiệt đới thì có thể sử dụng chúng làm nhân tố dự báo năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông.

### **5. Phương pháp nghiên cứu**

1) Phương pháp phân tích địa lý và các phương pháp phân tích tương quan, xu thế diễn biến, hàm trực giao thực nghiệm, kiểm nghiệm thống kê nhằm đánh giá đặc điểm diễn biến của năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông và xác định mối quan hệ giữa chúng với các yếu tố khí hậu khác.

2) Phương pháp phân tích hồi quy tuyến tính đơn, đa biến, kiểm nghiệm thống kê, phương pháp đánh giá sai số dự báo, phương pháp xử lý sản phẩm của phương trình dự báo khí hậu toàn cầu nhằm xây dựng và đánh giá tính hiệu quả, tính tin cậy của các phương trình dự báo hạn mùa về chỉ số năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông

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

- Đã xác định được năng lượng bão trên Biển Đông có sự tương đồng với khu vực Tây bắc Thái Bình Dương từ tháng 7 đến 11. Thời gian tập trung cao điểm của năng lượng bão trên Biển Đông muộn hơn khoảng 1 tháng, diễn biến giảm trong thời kỳ 1982-2018, tăng trong hai thập kỷ gần đây 1999-2018.

- Đã xác định và lý giải được phần nào cơ chế vật lý về mối quan hệ giữa chỉ số năng lượng bão trên Biển Đông với nhiệt độ mặt nước biển ở vùng phía Đông Nam Nhật Bản và cường độ dòng xiết cận nhiệt đới làm cơ sở khoa học để dự báo hạn mùa về chỉ số năng lượng bão tích lũy trước 1-2 tháng dựa trên sản phẩm của mô hình toàn cầu CFSv2.

### **7. Ý nghĩa Khoa học và thực tiễn của luận án**

1) Ý nghĩa khoa học

- Kết quả nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học về diễn biến năng lượng bão trên Biển Đông và mối quan hệ với nhiệt độ mặt nước biển ở biển phía Đông Nam Nhật Bản và cường độ dòng xiết cận nhiệt đới;

- Kết quả nghiên cứu có thể làm tài liệu tham khảo cho các công trình nghiên cứu bão trên Biển Đông.

## 2) Ý nghĩa thực tiễn

- Góp phần đúc kết bài học kinh nghiệm trong nhận định hoạt động của bão trên Biển Đông dựa trên xu thế biến động của nhiệt độ mặt nước biển ở phía Đông Nam Nhật Bản và cường độ dòng xiết cận nhiệt đới;

- Kết quả dự báo ACE góp phần phản ánh xu thế chung về hoạt động tiềm tàng của mùa bão và là thông tin bổ sung về số lượng và thời gian hoạt động của bão trong nhận định xu thế mùa bão.

## 8. Cấu trúc của luận án

Nội dung chính của luận án được trình bày trong 4 chương:

### *Chương 1: Tổng quan các công trình nghiên cứu năng lượng bão*

Trong chương này trình bày về lý thuyết năng lượng bão, trên cơ sở đó giới hạn phạm vi tổng quan về năng lượng bão nhiệt đới. Tổng quan các công trình nghiên cứu về diễn biến của năng lượng bão, về quan hệ giữa hoạt động của bão với SST, với dòng xiết cận nhiệt đới và về dự báo hạn mùa đối với bão và năng lượng bão. Trên cơ sở tổng quan đưa ra các vấn đề cần nghiên cứu về năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông.

### *Chương 2: Số liệu, phương pháp nghiên cứu diễn biến và dự báo năng lượng bão*

Trong chương này trình bày về các số liệu được sử dụng trong nghiên cứu và các phương pháp phân tích thống kê trong đánh giá xu thế diễn biến năng lượng bão, mối quan hệ thống kê với các yếu tố môi trường và xây dựng phương trình dự báo chỉ số năng lượng bão trên Biển Đông.

### *Chương 3: Diễn biến năng lượng bão và mối quan hệ với nhiệt độ mặt nước biển, với dòng xiết cận nhiệt đới*

Trong chương này trình bày về đặc điểm diễn biến năng lượng bão dựa trên số liệu bão của JTWC và JMA. Trên cơ sở số liệu tái phân tích của NCEP/NCAR, SST và bức xạ sóng dài phân tích mối tương quan giữa năng

lượng bão tích lũy trên Biển Đông với SST và với dòng xiết cận nhiệt đới.

*Chương 4. Khả năng ứng dụng SST ở vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản và cường độ dòng xiết cận nhiệt đới để dự báo năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông*

Nội dung chính là ứng dụng các thông tin về SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản, gió vĩ hướng mực 200mb được CFSv2 dự báo để xây dựng các phương trình hồi quy tuyến tính dự báo chỉ số năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông (tổng ACE từ tháng 5 đến tháng 12) và cập nhật vào nửa cuối mùa bão (tổng ACE từ tháng 8 đến tháng 12). Các kiểm nghiệm thống kê được thực hiện đầy đủ cho chuỗi số liệu phụ thuộc và độc lập, đồng thời đánh giá tính khả thi về việc áp dụng phương trình dự báo ACE trên Biển Đông trong nghiệp vụ.

## Chương 1.

### TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ NĂNG LƯỢNG BÃO

#### 1.1 Năng lượng bão

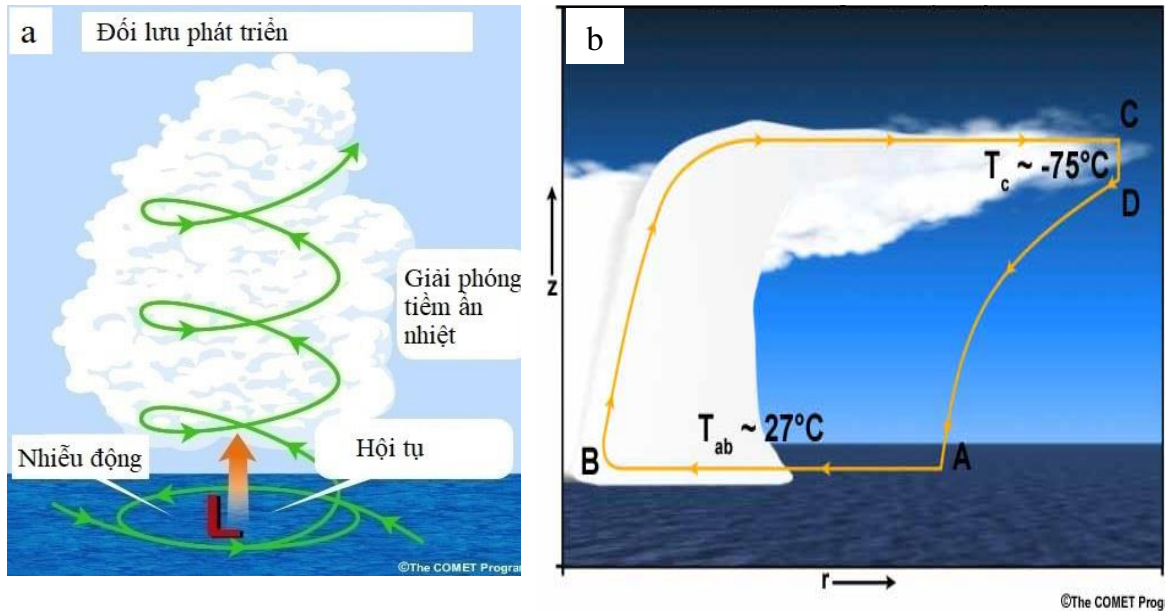
Các nhân tố quan trọng cho sự hình thành bão như lực Coriolis, sự tồn tại nhiều động xoáy ban đầu, sự tăng cường xoáy tương đối mực thấp, độ ẩm cao ở tầng đối lưu giữa, SST,...(Gray 1979 [71]; Li C.Y, 2013 [97]). Tuy nhiên, các nhân tố này chỉ là điều kiện cần mà không phải điều kiện đủ cho quá trình hình thành bão (Evans, 1993) [66]. Thực tế, hàng năm tồn tại rất nhiều nhiễu động xoáy trên khu vực biển nhiệt đới nhưng chỉ một phần rất nhỏ trong những nhiễu động này có thể phát triển thành bão (Nguyễn Thị Thanh, 2020 [23]).

Nhiều nghiên cứu cho thấy SST là một trong những nhân tố quan trọng không chỉ ảnh hưởng trực tiếp mà còn gián tiếp thông qua hoàn lưu quy mô lớn đến sự hình thành và tăng cường của bão (Gray, 1979 [71]; Chan, 2000 [46]; Zuki và ctv, 2008 [150]; Wang. L và ctv, 2012 [133]; Zhan và ctv, 2011a [151], 2011b [152]). Vấn đề năng lượng bão có thể được hiểu thông qua lý thuyết về điều kiện ổn định đối lưu loại 2 (CISK) và gió sát bề mặt bị ảnh hưởng bởi trao đổi thông lượng nhiệt bề mặt (WISHE) (Hình 1.1):

- Quan điểm về CISK liên quan tới không khí hội tụ lớp biên, các quá trình trao đổi thông lượng nhiệt, đối lưu phát triển và ngưng kết được chuyển đổi thành năng lượng cơ học (gió của bão) (COMET, 2016) [56].

- Với quan điểm khác, Emanuel (1986) [61] đã lý tưởng hóa năng lượng bão như một "động cơ nhiệt Carnot". Kết quả nghiên cứu cho thấy gió sát bề mặt bị ảnh hưởng bởi trao đổi thông lượng nhiệt tại bề mặt giữa đại dương – khí quyển, quá trình gia tăng năng lượng bề mặt làm tăng tốc độ gió bề mặt ở khu vực gần lõi bão, từ đó đề xuất lý thuyết WISHE. Hình 1.2 mô tả mô hình lý tưởng hóa theo Carnot đối với bão được đặc trưng bởi 4 giai đoạn là giãn nở đẳng nhiệt, giãn nở đoạn nhiệt, nén đẳng nhiệt và nén đoạn nhiệt: (1) giãn nở đẳng nhiệt của không khí gần bề mặt, không khí xoáy vào tâm, thu được entropy ở nhiệt độ không đổi (A-B); (2) giãn nở đoạn nhiệt từ B-C khi không khí thăng

lên trong thành mắt bão và thoát ra ở tầng đối lưu trên; và (3) dòng không khí truyền bức xạ hồng ngoại vào môi trường, không khí lạnh đẳng nhiệt và mất đi entropy đã thu được từ biển (C-D), (4) không khí lạnh đoạn nhiệt được giả định quay trở về môi trường bão (D-A). Theo quan điểm của Emanuel (1986) [61], bão mất cân bằng nhiệt động giữa đại dương và khí quyển với hiệu năng của động cơ nhiệt ở vùng nhiệt đới ước tính xấp xỉ bằng  $1/3$ , điều này cho thấy ước tính khoảng một phần ba năng lượng nhiệt có thể được chuyển đổi thành năng lượng cơ học ( $\varepsilon = \frac{T_s - T_o}{T_s} = \frac{300 - 200}{300} = \frac{1}{3}$ , với  $T_s$  là SST,  $T_o$  là nhiệt độ lớp không khí tại dòng ra tầng đối lưu trên (COMET, 2016) [56].



Hình 1. 1. Sơ đồ lý tưởng hóa theo CISK (a) và Canot đối với bão (b)

(Nguồn: COMET, 2016 [56])

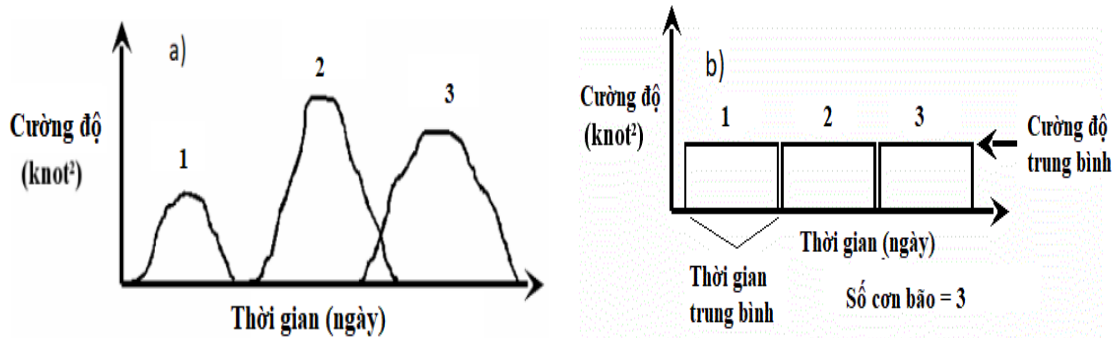
Mối quan hệ giữa năng lượng bão với cấu trúc và cường độ bão là vấn đề phức tạp đã được nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Đồng thời nhiều công trình nghiên cứu trên thế giới đã ứng dụng chỉ số năng lượng để đánh giá diễn biến cũng như dự báo hạn mùa về bão ở các ổ bão lớn và các tiểu vùng biển khác nhau trên đại dương. Do đó, luận án đặt mục tiêu là ứng dụng chỉ số năng lượng cho đánh giá diễn biến của bão trên Biển Đông và chủ yếu tổng quan các công trình nghiên cứu liên quan đến chỉ số năng lượng bão sau đây.

Lý do để cộng đồng nghiên cứu đề xuất chỉ số năng lượng bão xuất phát

từ thực tế về hai cơn bão Ivan năm 2004 và Mitch 2005 ở Đại Tây Dương, nếu tính tổng tốc độ gió mạnh cho cả quá trình hoạt động của bão thì cơn bão Ivan (1,712.5 knot) cao hơn đáng kể so với cơn bão Mitch (1,208.75 knot). Cả hai cơn bão Mitch và Ivan đã được phân loại là cấp 5 theo cấp gió Saffir-Simpson, tuy nhiên diễn biến gió mạnh tại khu vực gần tâm bão của hai cơn bão tương đối khác nhau; cơn bão Mitch chỉ kéo dài một vài ngày gió mạnh cấp 5 nhưng cơn bão Ivan kéo dài khoảng mười ngày. Như vậy, nếu đánh giá và phân loại hai cơn bão là cấp 5, có thể đã làm mất các thông tin có giá trị. Điều này là một trong những lý do chỉ số năng lượng bão được đề xuất nhằm bổ sung thêm về đặc trưng cho đánh giá hoạt động của bão (Drews, 2007) [59].

Khái niệm chỉ số "năng lượng bão tích lũy" (ACE) được đề xuất đầu tiên bởi Bell và ctv (2000) [38], hay còn gọi là “động năng bão tích lũy” (Kim và ctv, 2013 [86]; Lu và ctv, 2018 [105]) hay “năng lượng gió bão” (NOAA). Động năng tỷ lệ với bình phương vận tốc gió và động năng tích lũy bằng tổng các động năng trong một khoảng thời gian nhất định. Điều này cho thấy bão mạnh, thời gian kéo dài dẫn đến ACE cao. Cùng mục đích như ACE nhưng tăng thêm trọng số cho bão mạnh, Emanuel (2005, 2007) [62], [63] đã đề xuất chỉ số PDI và được biểu diễn bởi hàm bậc ba của vận tốc gió.

Các chỉ số năng lượng bão này khái quát “tổng thể” về số lượng, cường độ và thời gian hoạt động của bão nhằm so sánh, đánh giá về mối nguy hiểm của bão giữa các thời kỳ, giữa các khu vực. Điều này có thể thấy thông qua một ví dụ về mùa với “ba cơn bão”, tổng năng lượng của ba cơn bão là diện tích dưới đường cong theo thời gian tồn tại và cường độ của chúng như Hình 1.2a. Tổng năng lượng của ba cơn bão trong Hình 1.2a cũng tương tự “ba cơn bão” có diện tích giống hệt nhau có cùng thời gian và cường độ như Hình 1.2b nhưng thời gian tồn tại là trung bình của bão và cường độ trung bình là trung bình của tất cả các quan trắc bão trong mùa đó (Camargo và ctv, 2005 [62], Drews, 2007 [59], Kim và ctv, 2013 [86], Murakami và ctv, 2014 [107], Villarini và ctv, 2013 [124], Zhan và ctv, 2015 [155]).



Hình 1. 2. Minh họa về chỉ số năng lượng bão

(Nguồn: Drews, 2007[59])

Do ACE và PDI có trọng số cao đối với bão cường độ mạnh, Yu và ctv (2009, 2012) [145] [146] đã đề xuất hiệu chỉnh các chỉ số ACE và PDI bằng cách bổ sung thêm bán kính của bão và gọi là chỉ số RACE và RPDI. Nhóm tác giả đã so sánh và đánh giá mức độ phù hợp của các chỉ số năng lượng bão trên khu vực TBTBD dựa trên đặc điểm diễn biến không gian và thời gian của các chỉ số. Kết quả nghiên cứu cho thấy mặc dù chỉ số RACE và RPDI đã được hiệu chỉnh giảm trọng số đối với bão cường độ mạnh nhưng có sự tương đồng cao về diễn biến với các chỉ số ACE và PDI. Tuy nhiên, kể từ năm 2009 chưa tìm thấy công trình nào nghiên cứu ứng dụng hai chỉ số RACE và RPDI trong đánh giá diễn biến bão được công bố.

Theo hướng tiếp cận khác, Kantha và ctv (2006) [82] khi nghiên cứu hoạt động của bão trên khu vực Đại Tây Dương cho thấy mặc dù cơn bão Katrina (năm 2005) có cường độ yếu hơn cơn bão Camille (năm 1969) trước khi đổ bộ nhưng cơn bão Katrina có thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng hơn cơn bão Camille khi đổ bộ vào bờ. Cơn bão Irene (năm 2011), Isaac và Sandy (năm 2012) tương đối yếu nhưng đã gây ra thiệt hại đáng kể. Do đó, Kantha và ctv (2006) [82], Powell và ctv (2007) [109] đã đề xuất chỉ số “động năng tích hợp của bão” (IKE) với mục đích hỗ trợ thêm thông tin cho phân cấp Saffir-Simpson. IKE được tính toán cho từng cơn bão dựa trên phân tích gió và bán kính theo 4 góc phần tư của bão từ dự án phân tích gió vệ tinh “H\*Wind” của NOAA (có thể tính toán trực tiếp trên website), tuy nhiên khó khăn khi áp dụng

IKE ở khu vực TBTBD do nguồn số liệu không đầy đủ. Kết quả nghiên cứu cho thấy mối quan hệ giữa IKE với mức độ thiệt hại do bão gây ra và là thông tin hữu ích để tham khảo bổ sung cho nhận định cảnh báo bão. Cùng mục đích, Hebert và ctv (2010) [72] đã đề xuất chỉ số HSI (Chỉ số nguy hiểm của bão). Chỉ số HSI được xác định dựa trên 50 điểm từ tốc độ gió mạnh và kích thước trường gió, giá trị HSI lớn hơn thể hiện tác động tiềm năng của bão cao hơn.

Tương tự như ACE, Misra và ctv (2013) [106] đã phát triển IKE của từng cơn bão để tính tổng cho các cơn bão trong tháng, hoặc mùa, hoặc cả năm và gọi là “chỉ số động năng tích hợp theo quỹ đạo bão” (TIKE). Nhóm tác giả cho rằng sự khác biệt trong phương pháp tính giữa TIKE và ACE là ACE chỉ xem xét tốc độ gió mạnh nhất và không xem xét đến bán kính của bão. Mặc dù vậy, kết quả so sánh TIKE và ACE cho thấy sự tương đồng cao giữa hai chỉ số (hệ số tương quan là 0.86), ngoại trừ một số năm có sự khác biệt, ví dụ năm 2005 giá trị của ACE cao, trong khi TIKE thấp hơn.

*Nhìn chung về các chỉ số năng lượng bão:*

- Các chỉ số năng lượng bão chỉ tính toán đối với những xoáy thuận nhiệt đới đạt cường độ bão. Phương pháp tính không phụ thuộc vào bước thời gian, hữu ích trong tính toán tương quan và hồi quy vì là biến liên tục và thích hợp cho đánh giá ảnh hưởng của biến khí hậu đến cường độ bão;

- Các chỉ số năng lượng bão này thường được tính dựa trên tốc độ gió mạnh nhất tại vùng gần tâm bão từ các quan trắc bề mặt, ước lượng ảnh vệ tinh và sản phẩm của mô hình số trị (Bell và ctv, 2000 [38], Emanuel, 2005 [62]; Kantha và ctv 2006 [82]; Cơ quan Khí tượng Anh, ECMWF);

- Các chỉ số năng lượng bão phản ánh cả về cường độ và thời gian tồn tại của bão. Trong mùa bão có một số cơn rất mạnh, số ngày hoạt động dài, dẫn đến chỉ số năng lượng cao hơn, vì vậy nguy cơ tác động lớn hơn so với mùa có nhiều cơn bão yếu, hoạt động ngắn ngày hơn.

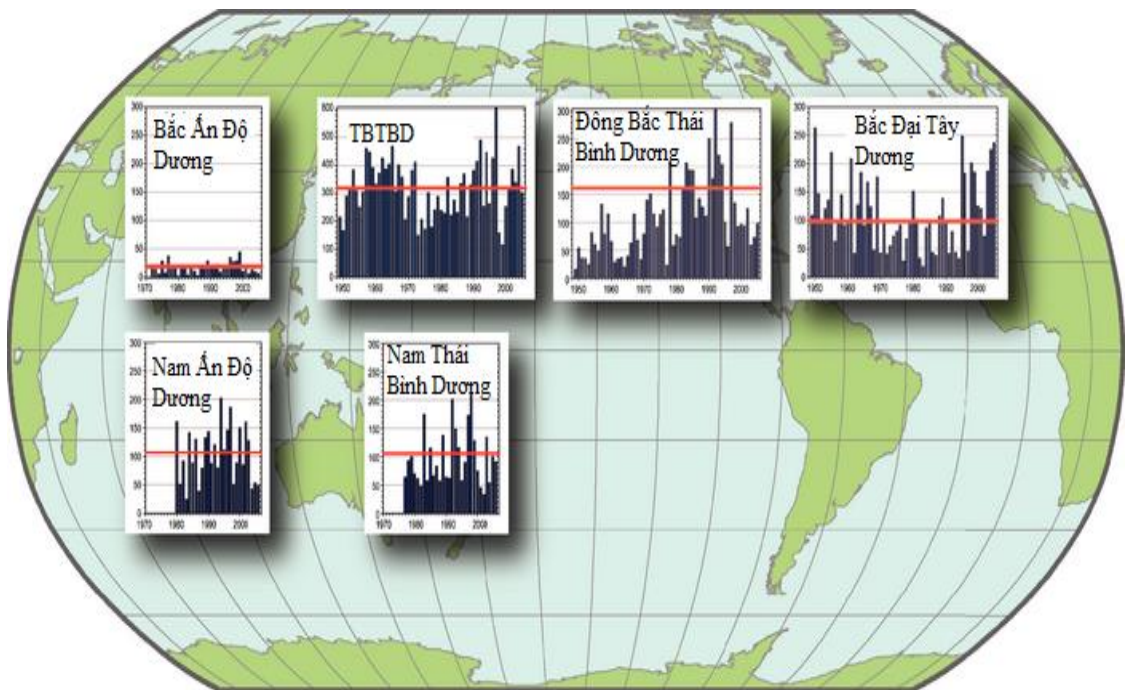
- Dựa trên định nghĩa của các chỉ số năng lượng bão có thể nhận thấy phương pháp tính RACE, RPDI, HSI và TIKE phức tạp hơn so với ACE, PDI

vì ngoài xem xét tốc độ gió mạnh cần thêm cả bán kính của bão.

## 1.2 Diễn biến năng lượng bão trên các vùng biển và bão trên Biển Đông

### 1.2.1 Đặc điểm diễn biến năng lượng bão trên các vùng biển

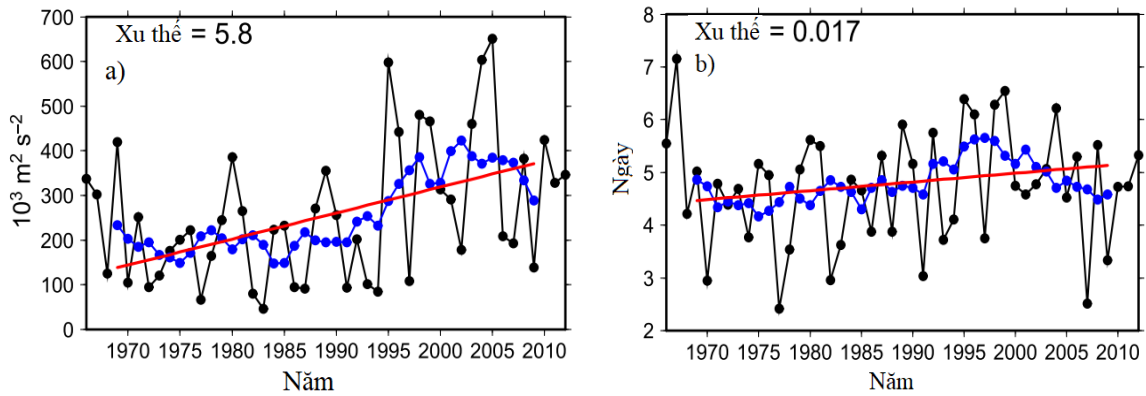
Các nghiên cứu biểu hiện của biến đổi khí hậu đối với bão thường tập trung vào đặc trưng về số lượng bão, trong khi cường độ và thời gian tồn tại cũng cần được quan tâm đúng mức, chính vì vậy IPCC (2007, 2013) [79], [80] đã sử dụng chỉ số năng lượng bão để đánh giá phân tích tính chất, xu thế biến đổi của bão, cũng như các năm và giai đoạn bão cao điển hình (Hình 1.3).



Hình 1. 3. Diễn biến của ACE trên các đại dương

(Nguồn: IPCC, 2007 [79])

Emanuel (2005, 2007) [62], [63] cho thấy xu thế bão tăng ở khu vực TBTBD và Đại Tây Dương kể từ năm 1970 dựa trên chỉ số năng lượng bão. Cùng với mục đích kiểm tra xu thế hoạt động của bão tăng trên khu vực Bắc Đại Tây Dương (Hình 1.4), Wu. L và ctv (2007) [138], Murakami và ctv (2014) [107] đã cho thấy xu thế SST cao hơn và giảm độ đứt gió thẳng đứng trên khu vực Bắc Đại Tây Dương thuận lợi đối với bão hình thành và thời gian tồn tại của bão lâu hơn. Số lượng bão tăng đã đóng góp chủ yếu đến trị số ACE tăng và các yếu tố khác như cường độ, thời gian tồn tại của bão đóng góp ít hơn.



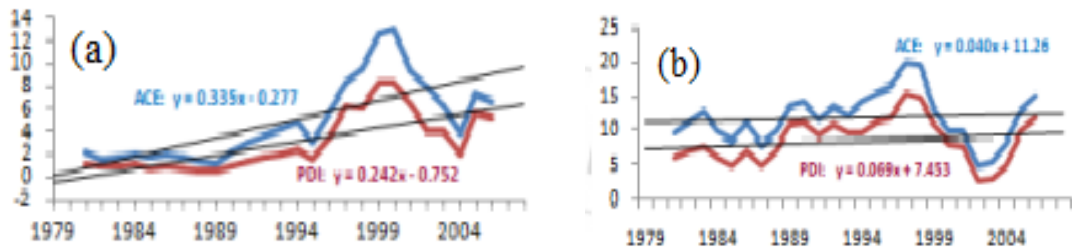
Hình 1. 4. (a) Diễn biến của ACE trên khu vực Bắc Đại Tây Dương (đường màu đen); trung bình trượt 7 năm (đường màu xanh) và đường xu thế tuyến tính (màu đỏ), hệ số độ dốc của hồi quy góc bên trái của trung bình trượt 7 năm và (b) tương tự như (a) nhưng cho thời gian tồn tại của bão.

(Nguồn: Murakami và ctv, 2014 [107])

Với mục đích đánh giá đặc điểm diễn biến của bão trên toàn cầu, Bell và ctv (2000) [38], Waple và ctv (2002) [134] đã sử dụng ACE; So sánh chỉ số ACE năm 1999 trên khu vực Đại Tây Dương với các năm và các đặc trưng trung bình, trung vị và phân vị. Theo chỉ số ACE, hoạt động của bão trong năm 1999 đứng thứ 7 kể từ năm 1950. Chỉ số này cũng chỉ ra năm 1999 là 4 trong số 7 năm bão trên Đại Tây Dương hoạt động mạnh nhất kể từ năm 1950.

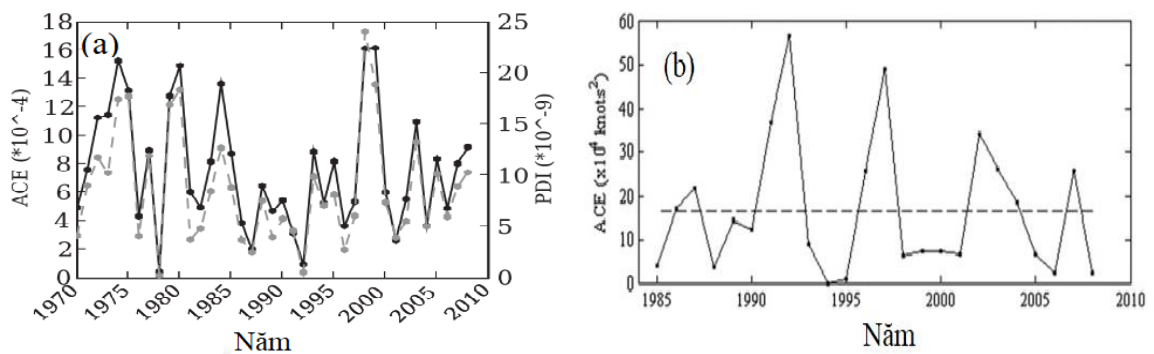
Cùng mục đích đánh giá đặc điểm diễn biến của bão, Eric và ctv (2012) [65], Deo và ctv (2013) [55], Girishkumar và ctv (2012) [69] đã phân tích diễn biến, chu kỳ hoạt động của bão trên cơ sở các đặc trưng như số cơn, thời gian tồn tại của bão và ACE trên khu vực Bắc Ấn Độ Dương, vịnh Bengal và vùng biển Ả Rập (Hình 1.6). Kết quả nghiên cứu cho thấy xu thế tăng ACE trên khu vực Bắc Ấn Độ Dương và biển Ả Rập, mức tăng này chủ yếu là do tăng số lượng bão ở vùng biển Ả Rập. Đồng thời cho thấy biến động của bão trên khu vực này liên quan đến ENSO; SST vùng Nino 3.4 tương quan nghịch chặt chẽ với ACE trên khu vực Bắc Ấn Độ Dương và vịnh Bengal. Với mục đích phân tích quỹ đạo bão ở Ấn Độ Dương, tác giả Sahoo và ctv (2016) [112] cho thấy ACE và PDI khu vực Ấn Độ Dương trong thập kỷ gần đây cao hơn sáu lần so

với các thập kỷ trước đó.



Hình 1. 5. (a) Xu thế biến đổi của ACE trên biển Ả Rập và (b) và vịnh Bengal  
(Nguồn: Deo và ctv, 2013 [55])

Biến trình năm và diễn biến trong các năm của bão ở tiểu vùng biển phía Tây Bắc Australia cũng đã được Kevin và ctv (2010) [85] phân tích dựa trên các đặc trưng bão bao gồm cả ACE và PDI (Hình 1.6a). Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra xu thế tuyến tính của ACE và PDI không đạt độ tin cậy thống kê 95%. Đồng thời cho thấy vai trò của hoàn lưu quy mô lớn đối với biến động của bão ở khu vực này như mối quan hệ chặt chẽ giữa đặc trưng bão với độ cao địa thế vị mực 925mb trong tháng 6 đến tháng 8 trên khu vực phía Nam Đại Tây Dương, hay với độ cao địa thế vị mực 700mb trong tháng 4 và tháng 6 trên khu vực Bắc Mỹ. Tương tự, hoạt động của bão trên khu vực Fiji (phía Nam Thái Bình Dương) được Savin và ctv (2011) [114] phân tích dựa trên diễn biến của ACE (Hình 1.6b). Kết quả cho thấy vai trò của hoàn lưu quy mô lớn là nhân tố quan trọng trong dự báo hạn mùa về hoạt động của bão trên khu vực Fiji.

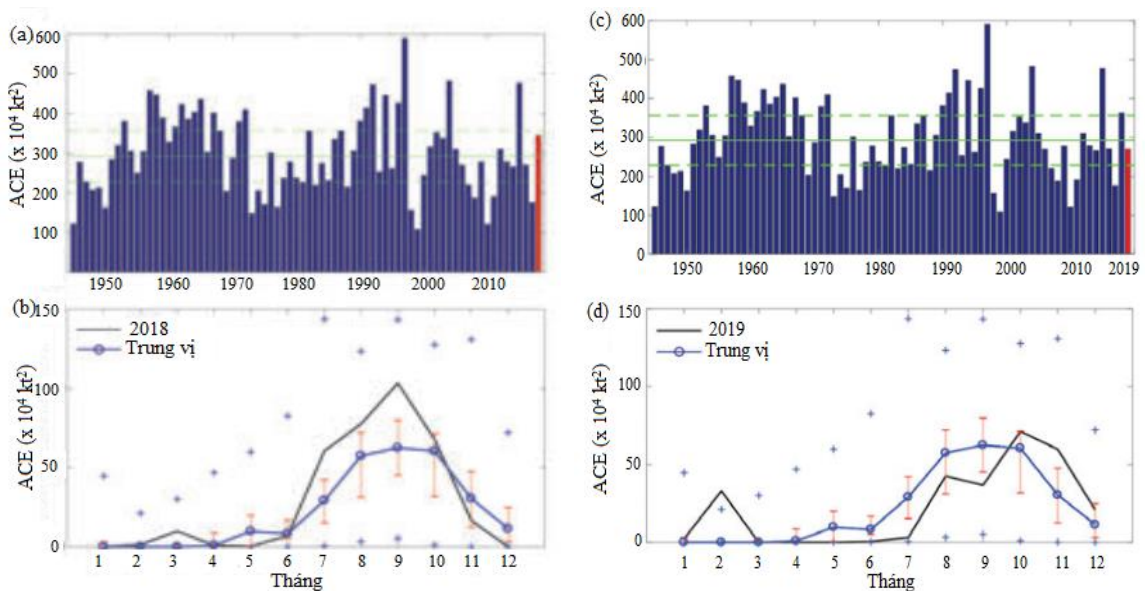


Hình 1. 6. (a) Diễn biến của ACE trong các năm trên khu vực biển phía Tây Bắc Australia và (b) trên khu vực Fiji

(Nguồn Kevin, 2010 [85] và Savin, 2011 [114])

Levinson và ctv (2005) [96] đã phân tích đặc điểm khí hậu năm 2004 cho

thấy số lượng bão và bão mạnh trên khu vực TBTBD năm 2004 xấp xỉ ở mức phân vị 75<sup>th</sup>, trong khi đó bão cường độ rất mạnh và ACE cao trên phân vị 75<sup>th</sup>. Chỉ số ACE năm 2004 ( $471,4 \times 10^4 \text{ knot}^2$ ) cao hơn 175% so với trung bình khí hậu ( $268,3 \times 10^4 \text{ knot}^2$ ), cao hơn trung vị khí hậu trong hầu hết các tháng và cao trên phân vị thứ 75<sup>th</sup> trong tháng 4 đến tháng 6. Tương tự như Levinson và ctv (2005), phân tích đặc điểm khí hậu cho các năm khác, hoạt động của bão dựa trên ACE cũng được đánh giá và công bố trên các tạp chí quốc tế; Một ví dụ về đánh giá hoạt động của bão dựa trên ACE cho năm 2018 và 2019 được dẫn ra trong Hình 1.7 cho thấy hoạt động của bão năm 2018 là khá cao (gần bằng phân vị 75<sup>th</sup>) và năm 2019 xấp xỉ bằng với trung vị [40], [68].



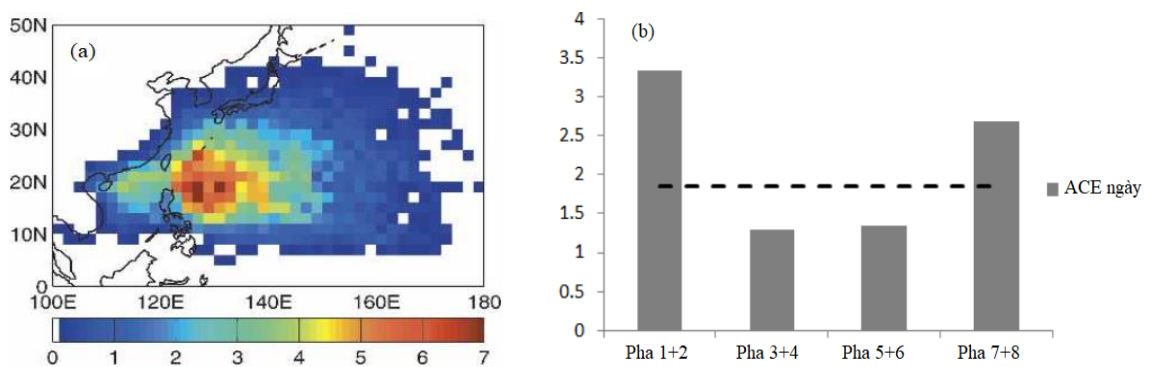
Hình 1. 7. Diễn biến năm và trong các năm về ACE trên khu vực TBTBD

(Nguồn: Blunden và ctv, 2018 [40]; Gail và ctv, 2019 [68])

Trong Hình 1.7 a và c đường liền nét là trung vị thời kỳ 1981–2010; đường đứt nét là phân vị 25<sup>th</sup>, 75<sup>th</sup>; năm 2018 và 2019 là cột màu đỏ. Hình b và d là biến trình ACE trong năm 2018 và 2019 (đường màu đen) và trung vị thời kỳ 1981–2010 (màu xanh lam). Các dấu “+” màu xanh lam là các giá trị cực đại và cực tiểu trong giai đoạn 1945 đến năm phân tích đánh giá.

Chỉ số năng lượng bão đang được sử dụng rộng rãi trong đánh giá đặc điểm khí hậu của bão không những quy mô thời gian mùa và hàng năm mà cả

nội mùa. Sobel và ctv, 2005 [117] với mục đích đánh giá ảnh hưởng của bão đến môi trường quy mô lớn của nó cho thấy đặc điểm khí hậu về bão dựa trên ACE trên khu vực TBTBD (Hình 1.8a). Đồng thời cho thấy tín hiệu ảnh hưởng của ENSO và MJO đến ACE trên khu vực TBTBD. ACE cũng được Bradford và ctv (2009) [42] sử dụng trong nghiên cứu ảnh hưởng của MJO đối với hoạt động của bão trên khu vực Đại Tây Dương. Tương tự, ở khu vực TBTBD, Li. C. Y, 2013 [97] cho thấy giai đoạn đối lưu (MJO) hoạt động 1 + 2 và 7 + 8, giá trị ACE trên khu vực TBTBD cao hơn đáng kể so với giai đoạn đối lưu không hoạt động 3 + 4 và 5 + 6 (Hình 1.8a).



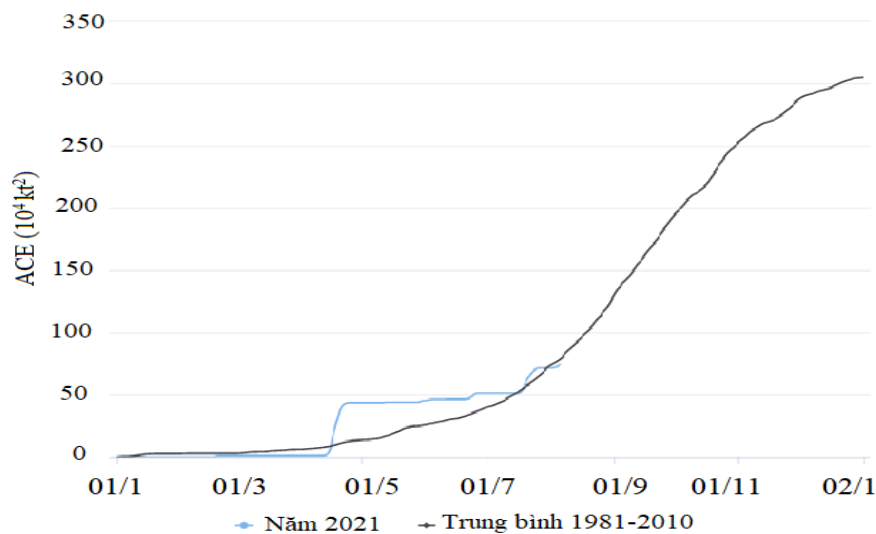
Hình 1. 8. (a) ACE ( $10^3 m^2 s^{-2}$ ) trung bình năm trong giai đoạn 1950–2002 trên ô lưới  $2^\circ$  kinh vĩ (a) và (b) ACE ( $10^4 kt^2$ ) trung bình ngày theo các giai đoạn MJO khác nhau (Đường đứt nét là giá trị trung bình)

(Nguồn Sobel và ctv, 2005 (Hình 1.8a) [117]; Li. C. Y, 2013 [97] (Hình 1.8b))

Diễn biến của chỉ số năng lượng không chỉ ứng dụng trong nghiên cứu mà còn trong nghiệp vụ giám sát thời gian thực về hoạt động của bão. Ngoài các thông số về các đặc trưng như ngày hình thành, khí áp ở tâm, thời gian hoạt động,... tích lũy ACE, PDI của từng cơn bão cũng đã được “Phòng thí nghiệm Kitamoto” của Nhật Bản phân tích và tính toán cho bão trên khu vực TBTBD (<http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/summary/wnp/s/202111.html.en>).

Các thông tin dự báo hạn mùa về các đặc trưng bão bao gồm ACE được trường Đại học Colorado, Hoa Kỳ (CSU) cập nhật liên tục phục vụ cho nghiệp vụ phân tích hoạt động của bão (<http://tropical.atmos.colostate.edu/Realtime/>). Hình 1.9 dẫn ra diễn biến ACE thời gian thực của Đại học Colorado năm 2021

cho thấy trên cơ sở thông tin dự báo, giám sát ACE và các đặc trưng khác của bão có thể nhận định về hoạt động của bão trong thời gian tới: Giả sử thông tin dự báo ACE và số lượng bão cường độ mạnh cao hơn trung bình nhưng thời gian tồn tại của bão thấp hơn trung bình. Trong khi, ACE tích lũy thời gian thực từ đầu mùa bão đến tháng 8 chỉ khoảng 33%, số lượng bão mạnh và thời gian tồn tại khoảng 33-40% so với dự báo. Điều này cho thấy ACE tập trung vào cuối mùa (từ tháng 9 đến tháng 12) và có thể bão sẽ hoạt động mạnh mẽ hơn với nhiều cơn bão có cường độ mạnh hơn vào cuối mùa.



Hình 1. 9. Giám sát bão thời gian thực ở khu vực TBTBD của Đại học Colorado, Hoa Kỳ năm 2021

Cùng với các đặc trưng bão, các chỉ số năng lượng bão cũng được ứng dụng trong đánh giá ảnh hưởng của bão đến các lĩnh vực phục vụ xây dựng kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội. Strobl và ctv, 2008 [118] đã sử dụng PDI và đặc điểm tiếp xúc của địa phương (dân số, phân bố nhà ở) để đánh giá tác động của bão đến sự tăng trưởng kinh tế cho vùng ven biển Hoa Kỳ. Tương tự, Schmidt và ctv (2009) [115] đã điều tra độ nhạy về mức độ thiệt hại về sự thay đổi kinh tế-xã hội do biến đổi khí hậu dựa trên chỉ số ACE trên khu vực Đại Tây Dương. Saunders và ctv (2005) [113] dẫn ra tương quan hạng ( $r_{\text{rank}}$ ) giữa ACE với thiệt hại về kinh tế và bảo hiểm do bão đổ bộ Hoa Kỳ cho ba thời kỳ 1950-2003, 1950-1976 và 1977-2003. Kết quả cho thấy phần đa hệ số tương

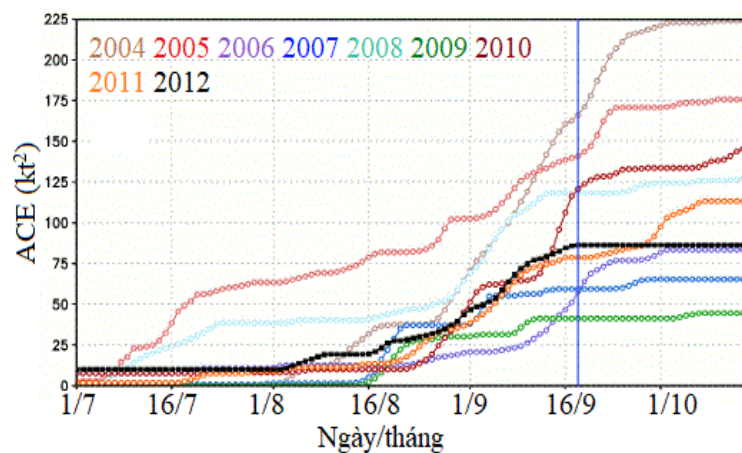
quan đạt độ tin cậy thống kê 93%; giá trị ( $p_a$ ) nhỏ hơn 7% (Bảng 1.1).

*Bảng 1.1. Quan hệ giữa ACE với thiệt hại của bão đổ bộ vào Hoa Kỳ ( $r_{rank}$  là hệ số tương quan hạng và  $P_{value}$  là xác suất cho đánh giá độ tin cậy của  $r_{rank}$ )*

Thời kỳ	Thiệt hại kinh tế		Thiệt hại về bảo hiểm	
	$r_{rank}$	$P$ -value	$r_{rank}$	$P$ -value
1950–2003	0.48	0.003	0.48	0.003
1950–76	0.43	0.06	0.58	0.03
1977–2003	0.49	0.008	0.37	0.03

(Nguồn: Saunders và CS (2005) [113])

Hiện nay thuật ngữ ACE được sử dụng rộng rãi trong nghiệp vụ ở các Công ty bảo hiểm và Cơ quan chiến lược về giảm nhẹ thiên tai của Liên Hợp Quốc (UNDRR). Để phục vụ phân tích kế hoạch kinh doanh hàng năm, các Công ty bảo hiểm thường xác định các giai đoạn ACE cao nhất trong năm để so sánh, đánh giá về mức độ nghiêm trọng tiềm tàng của mùa bão. Một ví dụ dẫn ra trong Hình 1.10 của Công ty ARTEMIS cho thấy ACE giảm dần vào khoảng giữa tháng 9 trong vài năm qua hay nguy cơ tác động của bão thấp hơn sau giữa tháng 9, do đó thời gian được các Công ty bảo hiểm quan tâm trong phân tích kế hoạch kinh doanh hàng năm là khoảng từ tháng 8 đến giữa tháng 9 (<https://www.artemis.bm/news/what-can-accumulated-cyclone-energy-show-us-about-atlantic-hurricane-risk/>).



Hình 1. 10. Ứng dụng ACE trên khu vực Đại Tây Dương của Công ty bảo hiểm ARTEMIS của Anh

*Từ tổng quan nhận thấy:*

- Các chỉ số năng lượng bão không những được ứng dụng để đánh giá đặc điểm diễn biến của bão trên Đại Dương lớn mà còn cho các tiểu vùng biển như Đài Loan, vịnh Bengal, biển Ả Rập,... hoặc cho các cơn bão đổ bộ;

- Thực tế chỉ số năng lượng bão được ứng dụng rộng rãi trong các lĩnh vực bảo hiểm, chứng khoán, đầu tư tài chính liên quan đến rủi ro do thiên tai. Thông tin về năng lượng bão tích lũy thời gian thực kết hợp với thông tin dự báo bão (bao gồm cấp bão và thời gian hoạt động) được sử dụng để nhận định kinh doanh hay kế hoạch chuẩn bị nguồn lực cho quản lý rủi ro do bão gây ra.

- Chỉ số năng lượng bão phản ánh “tổng thể” về hoạt động của mùa bão; Trong mùa bão có một số cơn rất mạnh, số ngày hoạt động dài, dẫn đến chỉ số năng lượng cao hơn, vì vậy nguy cơ tác động lớn hơn so với mùa có nhiều cơn bão yếu, hoạt động ngắn ngày hơn. Như vậy chỉ số năng lượng bão là rất quan trọng trong việc khái quát cả về số lượng, cường độ và thời gian hoạt động của bão là cơ sở khoa học phục vụ đánh giá, giám sát và dự báo bão trên Biển Đông.

### ***1.2.2 Đặc điểm diễn biến của bão trên Biển Đông***

Từ những năm 1960 đã có một số công trình nghiên cứu đặc điểm về bão trên Biển Đông. Ở giai đoạn này, những nghiên cứu thiên về mô tả, thống kê tổng kết về các cơn bão,... Đến những năm 1985 các công trình nghiên cứu đã đề cập đến các đặc điểm năng lượng và cường độ bão. Lê Đình Quang và ctv (1988, 1991) [17], [18] đã sử dụng phương pháp tổ hợp để miêu tả cấu trúc của bão, phân tích các nhóm tham số đặc trưng nhiệt động lực, năng lượng và đưa ra các ngưỡng tham số cần khi áp thấp phát triển thành bão nhiệt đới. Các đặc trưng năng lượng được nghiên cứu như dòng rối nhiệt (Q), rối ẩm (LE), năng lượng tĩnh (nội năng “CpT”, thế năng “gz” và tiềm năng “Lq”), cấu trúc nhiệt độ, động năng theo chiều thẳng đứng ( $KE=mv^2/2$ ). Tác giả cũng đã xây dựng nguyên tắc và sơ đồ dự kiến sự tiến triển của bão ở giai đoạn ban đầu.

Với mục đích kiểm nghiệm mô hình lý thuyết về bão, Trần Duy Bình và ctv (1991) [2] đã phân tích cấu trúc trường mây, mưa và các tham số động lực

trong bão; các thành phần gió tiếp tuyến, gió hướng tâm của xoáy, xem xét mối quan hệ giữa hai thành phần này, tính toán độ tán dựa trên bộ số liệu thám sát bằng máy bay. Kết quả cho thấy mối quan hệ khá tốt giữa nhiệt độ mặt nước biển với gió mạnh và khí áp gần tâm bão.

Xu thế của bão khu vực TBTBD và Biển Đông theo các phân loại khác nhau cũng đã được Nguyễn Văn Tuyên (2007, 2008) [32], [33], [34] thực hiện. Kết quả nghiên cứu cho thấy trong thời kỳ 1951-2006, bão trên khu vực TBTBD có xu thế giảm về số lượng, trong đó số lượng bão yếu có xu thế giảm và số lượng bão mạnh có xu thế tăng. Bão hoạt động trên Biển Đông nhưng không vào vùng ven biển Việt Nam có xu thế tăng. Số lượng bão có xu thế tăng ở hai vùng Trung Bộ và Nam Bộ nhưng ở vùng Bắc Bộ lại có xu thế giảm.

Nguyễn Đức Ngữ (2008) [15] cũng đã cho thấy:

- Trong thập kỷ 1961-1970 có 114 cơn xoáy thuận nhiệt đới trên Biển Đông, 113 cơn trong thập kỷ 1971-1980, 109 cơn trong thập kỷ 1981-1990 và chỉ còn 103 cơn đến thập kỷ 1991-2000. Xu thế giảm của xoáy thuận nhiệt đới trên Biển Đông nhất quán trong 4 thập kỷ 1961 - 2000, song rõ nhất vào các năm gần đây. Trong thập kỷ 1961-1970 có 74 cơn xoáy thuận nhiệt đới ảnh hưởng đến Việt Nam và 76-77 cơn trong hai thập kỷ kế tiếp (1971-1980 và 1981-1990) nhưng giảm chỉ còn 68 cơn trong thập kỷ 1991 - 2000. Trên thực tế, xu thế giảm bắt đầu vào thập kỷ 1971-1980 và rõ vào năm gần đây.

- Xu thế của xoáy thuận nhiệt đới trên Biển Đông tăng vào các tháng 2, 5, 8, 12 và giảm trong các tháng 6, 7, 11. Về phân bố không gian, nhìn chung trong thời kỳ 1961-2007, số lượng xoáy thuận nhiệt đới giảm nhẹ ở phía Bắc và Trung tâm Biển Đông, và có dấu hiệu tăng ở khu vực phía Nam Biển Đông. Nếu chỉ xét giai đoạn 1981-2007 thì xu thế giảm thể hiện trên cả Biển Đông.

- Xu thế biến đổi của xoáy thuận nhiệt đới ảnh hưởng đến Việt Nam trong hai giai đoạn 1961-2007 và 1981-2007 có sự khác nhau khá rõ. Trong thời kỳ 1961-2007, xu thế tăng nhẹ vào các tháng 5 và 2, giảm nhẹ hoặc không biến đổi trong những tháng còn lại. Trong thời kỳ 1981-2007, xu thế tăng trong các

tháng 5, 7, 9, 12 và giảm trong các tháng như 3, 6, 7, 10, 11. Ở vùng biển Bắc Bộ, Ninh Thuận - Bình Thuận và Nam Bộ đều có xu thế tăng ở cả hai giai đoạn.

Đinh Văn Ưu và ctv (2010, 2011) [35], [36] cho thấy số lượng xoáy thuận nhiệt đới trung bình hàng năm dao động theo chu kỳ dài. Trong 50 năm gần đây, số lượng xoáy thuận nhiệt đới ảnh hưởng trực tiếp đến ven bờ vịnh Bắc Bộ giảm, trong khi Nam Trung Bộ và Nam Bộ lại tăng. Ngoài mục đích nghiên cứu các hiện tượng khí hậu cực đoan, Nguyễn Văn Thắng và ctv (2010) [25], [26] đã cho thấy về diễn biến bão trên Biển Đông:

- Bão trên Biển Đông: So với thời kỳ 1961 - 1990, số lượng xoáy thuận nhiệt đới thời kỳ gần đây (1991-2000) đều tăng lên. Số lượng xoáy thuận nhiệt đới trong mùa bão (V-XII) thời kỳ gần đây (12,23 cơn) cao hơn so với thời kỳ 1961 -1990 (11,93 cơn). Số lượng xoáy thuận nhiệt đới trong năm của thời kỳ gần đây (13,27 cơn) cao hơn thời kỳ 1961 - 1990 (12,3 cơn).

- Bão ảnh hưởng đến Việt Nam: Nếu tính thời kỳ gần đây là từ 1986-2009 và thời kỳ trước là từ 1960-1985 thì số lượng xoáy thuận nhiệt đới trong thời kỳ gần đây (7,88 cơn) nhiều hơn so với thời kỳ trước (7,35 cơn). Trong thập kỷ gần đây cao hơn chủ yếu là do sự gia tăng của số lượng xoáy thuận nhiệt đới trong các tháng ngoài mùa bão.

Phan Văn Tân và ctv (2010) [21] cũng đã cho thấy:

- Bão Biển Đông: Có thể nhận thấy số lượng xoáy thuận nhiệt đới trên Biển Đông dao động mạnh qua các năm, ít nhất chỉ 5 cơn (2004) và nhiều nhất 18 cơn (1964). Kết quả lọc chuỗi bằng phương pháp trung bình trượt 5 năm cho thấy dấu hiệu chu kỳ khoảng 10-15 năm. Đường xu thế tuyến tính cho thấy trong thời kỳ 1961-2007, sự biến đổi của xoáy thuận nhiệt đới không thể hiện rõ. Trong thời kỳ 1961-2007, số lượng bão cấp 10-11 và trên cấp 12 giảm nhẹ nhưng số lượng áp thấp nhiệt đới tăng lên rõ rệt, nhất là từ 1993 đến 2007.

- Bão Việt Nam (hoạt động dọc bờ biển hoặc đổ bộ vào Việt Nam): Xét cả thời kỳ 1961-2007, số lượng xoáy thuận nhiệt đới vào Việt Nam có xu hướng giảm nhẹ không đáng kể. Tuy nhiên, khi phân chia thành các vùng bờ biển nhận

thấy số lượng xoáy thuận nhiệt đới trên vùng bờ biển Việt Nam cũng có xu thế tăng lên như các dải bờ biển Bắc Bộ, Thanh Nghệ Tĩnh và Nam Trung Bộ.

Xu thế số lượng xoáy thuận nhiệt đới cũng đã được Vũ Thanh Hằng và ctv (2010) [9] nghiên cứu cho thấy: Trong giai đoạn 1945-2007, số lượng xoáy thuận nhiệt đới ở bờ biển Việt Nam đều có xu thế tăng lên, tăng mạnh ở bờ biển Đà Nẵng - Bình Định và tăng ít nhất ở vùng Ninh Thuận - Bình Thuận. Xoáy thuận nhiệt đới hoạt động mạnh nhất ở dải ven biển Bắc Bộ cả số lượng và cường độ, ít nhất ở vùng biển Ninh Thuận - Bình Thuận và Nam Bộ.

Lee và ctv (2012) [94] đã nghiên cứu khảo sát xu thế biến đổi của số lượng và cường độ của bão trên Biển Đông và vùng lân cận của Hồng Kông thời kỳ 1961-2010 dựa trên số liệu bão của Hồng Kông, JMA và JTWC. Kết quả phân tích cho thấy xu thế bão giảm trên tất cả các bộ số liệu nhưng không đạt mức độ tin cậy thống kê 95%. Chỉ số PDI cũng được sử dụng để kiểm tra độ nhạy về xu thế bão ở Bắc Biển Đông nhưng chưa có điều kiện nghiên cứu sâu về biến động của nó cũng như mối quan hệ với các yếu tố môi trường.

Hoàng Lưu Thu Thủy (2015) [28] trên cơ sở số liệu xoáy thuận nhiệt đới trong giai đoạn 1960-2013 của JMA đã phân tích các đặc điểm hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới ở khu vực ven biển miền Bắc Việt Nam. Kết quả cho thấy có khoảng 1,5 cơn bão ảnh hưởng đến khu vực nghiên cứu hàng năm. Mùa bão là từ tháng 7 đến tháng 10 và số lượng cao nhất vào tháng 9 và tháng 10. Sự xuất hiện của xoáy thuận nhiệt đới giảm trong giai đoạn 1960-2013.

Trên cơ sở phân tích số liệu bão từ IBTrACS thời kỳ 1961-2010, Nguyễn Văn Hiệp và ctv (2016) [10] chỉ ra rằng Biển Đông có mật độ xoáy thuận nhiệt đới xuất hiện dày đặc nhất so với cả vùng TBTBD, thể hiện rõ nhất ở khu vực giữa và Bắc Biển Đông, với khoảng 60-100 lần quan trắc được tâm xoáy thuận nhiệt đới qua ô  $1^\circ \times 1^\circ$  kinh vĩ, mật độ dày nhất ở vùng biển phía Đông Nam của Đảo Hải Nam với 100-200 lần quan trắc được tâm xoáy thuận nhiệt đới qua ô lưới  $1^\circ \times 1^\circ$  kinh vĩ.

Đình Bá Duy và ctv (2016 a, b) [6], [7] dựa trên số liệu của JMA thời kỳ

1978-2015 đã cho thấy số lượng xoáy thuận nhiệt đới trung bình trên Biển Đông khoảng 8-13 cơn và TBTBD khoảng 21-31 cơn. Trên 68% xoáy thuận nhiệt đới xuất hiện vào tháng 6 đến tháng 11, trong đó xoáy thuận nhiệt đới khu vực TBTBD xuất hiện nhiều nhất tháng 8 đến tháng 9 (41%) và Biển Đông nhiều nhất tháng 7 đến tháng 10. Xoáy thuận nhiệt đới ảnh hưởng nhiều nhất đến Việt Nam ở khu vực Quảng Ninh-Hà Tĩnh khoảng 6-8 cơn/năm, tiếp đến là từ Quảng Bình - Bình thuận khoảng 3-5 cơn/năm, ít nhất là Nam Bộ khoảng 0-3 cơn/năm.

Nhìn chung, đặc điểm diễn biến bão trên Biển Đông chủ yếu được đánh giá dựa trên đặc trưng về số lượng bão, bước đầu năng lượng bão cũng đã được quan tâm nghiên cứu. Tuy nhiên từ năm 1991 đến nay, ít có công trình nghiên cứu sử dụng chỉ số năng lượng bão để đánh giá diễn biến bão trên Biển Đông.

### **1.3 Quan hệ giữa SST, dòng xiết cận nhiệt đới với bão ở TBTBD và bão trên Biển Đông**

Mặc dù nghiên cứu được tập trung vào đặc trưng bão hoạt động trên Biển Đông nhưng có thể đặt ra một số câu hỏi về tính đại diện của vùng được tính toán thống kê với một lưu ý rằng bão hoạt động trên Biển Đông bao gồm cả bão hoạt động bên ngoài TBTBD vượt Philippines (kinh tuyến 120<sup>0</sup>E) vào Biển Đông. Vì vậy, những kết quả từ công trình nghiên cứu bão hoạt động trên khu vực TBTBD góp phần gợi ý cho phân tích bão hoạt động trên Biển Đông.

#### **1.3.1 Quan hệ giữa SST, dòng xiết cận nhiệt đới với bão ở TBTBD**

Trong mùa hè ở khu vực TBTBD, SST cao, vùng hợp lưu gió mùa tây nam và tín phong hướng đông hình thành rãnh gió mùa, nơi không khí tầng thấp hội tụ và chuyển động thẳng đứng hoạt động mạnh mẽ, xoáy tương đối cao, hiệu ứng này dẫn đến thuận lợi cho bão hình thành, nhất là ở khoảng vĩ độ từ 10<sup>0</sup>N-20<sup>0</sup>N. Trong mùa đông, SST giảm và rãnh gió mùa dịch chuyển về phía Nam của bề ảm trung tâm TBTBD và áp cao cận nhiệt đới Bắc Thái Bình Dương (ACTBD) dẫn đến vị trí hình thành bão dịch chuyển theo rãnh gió mùa và giảm số lượng bão (Chen và Huang, 2008 [49], Li. C. Y, 2013 [97]).

Các nghiên cứu trước đây cho thấy ảnh hưởng của ENSO đối với hoạt

động của bão trên khu vực TBTBD liên quan đến biến động SST ở trung tâm-đông xích đạo Thái Bình Dương, rãnh gió mùa trong mùa hè và độ đứt gió thẳng đứng (Huang và Xu, 2010 [76]; Wang và Chan, 2002 [125]). Dựa vào số liệu quỹ đạo bão của JTWC, Camargo và ctv (2005) [43], Sobel và ctv (2005) [117] chỉ ra rằng tương quan dương chặt chẽ giữa ACE trên khu vực TBTBD với SST ở trung tâm xích đạo Thái Bình Dương (chỉ số Niño 3.4). Tương tự, tương quan nghịch giữa ACE với SST ở phía Tây Thái Bình Dương và tương quan thuận ở trung tâm xích đạo Thái Bình Dương cũng được dẫn ra bởi Kim và ctv (2013) [86] và Zhan và ctv (2014, 2015) [154], [155].

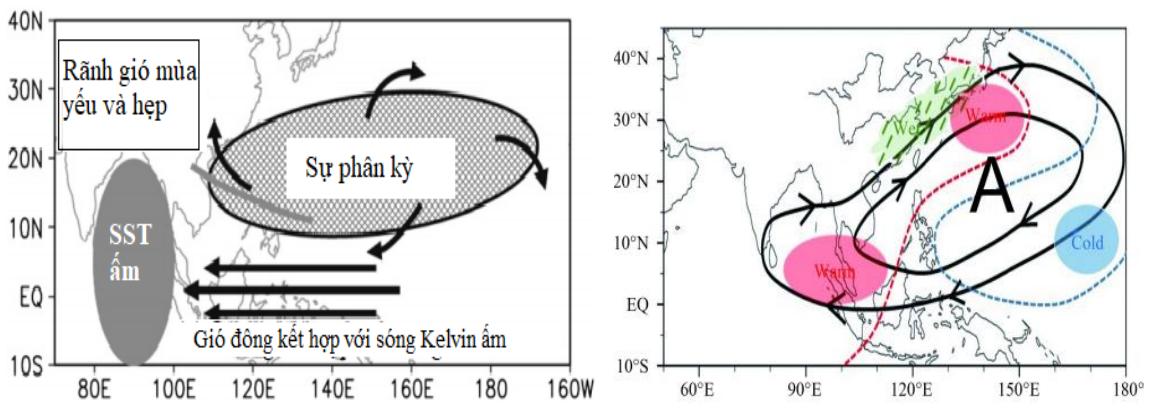
Wu. B và ctv (2010) [137] đã khảo sát vai trò của SST ở vùng Ấn Độ Dương và quy mô xoáy nghịch trên khu vực TBTBD sau giai đoạn El Niño đối với hoạt động của bão dựa trên mô hình hoàn lưu khí quyển ECHAM4. Kết quả cho thấy khi SST ở Ấn Độ Dương cao, đối lưu tăng cường đã kích hoạt sóng Kelvin trong khí quyển vùng xích đạo Tây Thái Bình Dương, dẫn đến không khí phân kỳ ở lớp biên, rãnh gió mùa yếu vào cuối mùa hè ở khu vực này, bất lợi cho sự hình thành bão. Điều này cũng được Du và ctv (2011) [60] chỉ ra khi chuẩn sai SST dương ở vùng Ấn Độ Dương và âm trên khu vực bề mặt trung tâm TBTBD, gây bất lợi cho hoạt động của bão trên khu vực TBTBD.

Zhan và ctv (2011a,b) [151], [152] dựa trên số liệu SST (ERSST.v3) độ phân giải  $2^0 \times 2^0$  kinh vĩ và tái phân tích của NCEP cho thấy SST ở biển phía Đông Ấn Độ Dương ảnh hưởng đến sự hình thành của bão ở khu vực TBTBD. SST ở phía Đông Ấn Độ Dương cao (thấp), dẫn đến giảm (tăng) sự tương phản về điều kiện nhiệt giữa đất liền-biển, do đó gió mùa trong mùa hè suy yếu (tăng cường) ở khu vực TBTBD-Đông Á. Đồng thời cho thấy sóng Kelvin xích đạo lan truyền về phía Đông TBTBD, làm giảm (tăng) khí áp bề mặt ở vùng xích đạo TBTBD và không khí phân kỳ (hội tụ) ở mực thấp vùng bão hình thành. Những điều kiện này dẫn đến hoạt động đối lưu bị hạn chế (tăng cường), gây bất lợi (thuận lợi) đối với hoạt động của bão ở khu vực TBTBD (Hình 1.11a).

Vai trò của SST ở vùng phía Đông Ấn Độ Dương được Zhan và ctv

(2014) [154] phân tích sâu hơn dựa trên mô hình số và số liệu tái phân tích NCEP độ phân giải  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  kinh vĩ. Kết quả cho thấy SST ở phía Đông Ấn Độ Dương ảnh hưởng đến bão trên khu vực TBTBD chủ yếu là sau năm 1970. Phân tích hồi quy và tương quan cho thấy sau năm 1970, SST ở phía Đông Ấn Độ Dương cao hơn làm tăng cường đáng kể xoáy nghịch trên khu vực TBTBD, gây bất lợi đối với sự hình thành và hoạt động của bão ở khu vực này.

Vai trò của SST đối với bão trên khu vực TBTBD được Li.T và ctv (2017) [98] tổng quan dẫn ra về sự duy trì xoáy nghịch khu vực TBTBD liên quan đến SST ở vùng biển Ấn Độ Dương, ở biển phía Đông Nam Nhật Bản ảnh hưởng đến bão và khí hậu khu vực TBTBD- Đông Á (Hình 1.11b).



Nguồn: Zhan và ctv (2011b)[152]

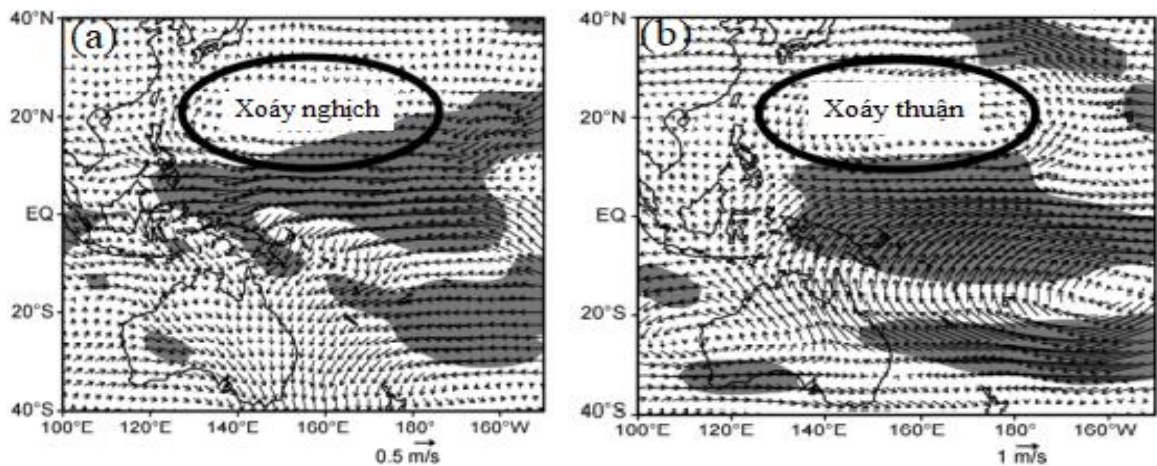
Nguồn: Li. T và ctv (2017) [98]

Hình 1. 11. Sơ đồ mô tả khí quyển trên khu vực TBTBD khi chuẩn sai SST dương ở Ấn Độ Dương và phía Đông Nam Nhật Bản

SST ở Ấn Độ Dương không chỉ ảnh hưởng đến sự hình thành, tiến triển của bão mà còn ảnh hưởng đến biến động về thời gian bắt đầu mùa bão trên khu vực TBTBD. Thời gian bắt đầu mùa bão trên khu vực TBTBD tương quan chặt chẽ với SST ở Ấn Độ Dương và trung tâm xích đạo Thái Bình Dương. Khi SST ở Ấn Độ Dương và trung tâm xích đạo Thái Bình Dương trong mùa đông năm trước cao (thấp), chuẩn sai khí áp cao (thấp) và xoáy nghịch (xoáy thuận) vào mùa xuân năm sau trên khu vực TBTBD, dẫn đến mùa bão trên khu vực TBTBD bắt đầu muộn (sớm) hơn (Donghee Kim và ctv, 2017) [58].

Không chỉ SST ở Ấn Độ Dương, SST ở phía Đông Australia cũng đã

được tác giả Zhou và ctv (2011) [149] cho thấy ảnh hưởng đến bão trên khu vực TBTBD. Khi chuẩn sai SST ở phía Đông Australia trong mùa xuân dương (âm), gió đông mực thấp thịnh hành (gió tây thịnh hành) và rãnh gió mùa suy yếu (tăng cường) trên khu vực TBTBD. Đồng thời chuẩn sai xoáy thuận (xoáy nghịch) ở tầng đối lưu trên cao (mực 200 mb) và xoáy nghịch (xoáy thuận) tầng đối lưu thấp (mực 850mb) gây bất lợi (thuận lợi) đến sự hình thành bão, do đó số lượng bão giảm (tăng) trên khu vực TBTBD (Hình 1.12).



Hình 1. 12. Hồi quy giữa gió mực 850 mb (a) và mực 200mb (b) với chuẩn sai SST ở vùng phía Đông Australia bằng 1 độ lệch chuẩn.

(Nguồn: Zhou và ctv, 2011 [149]).

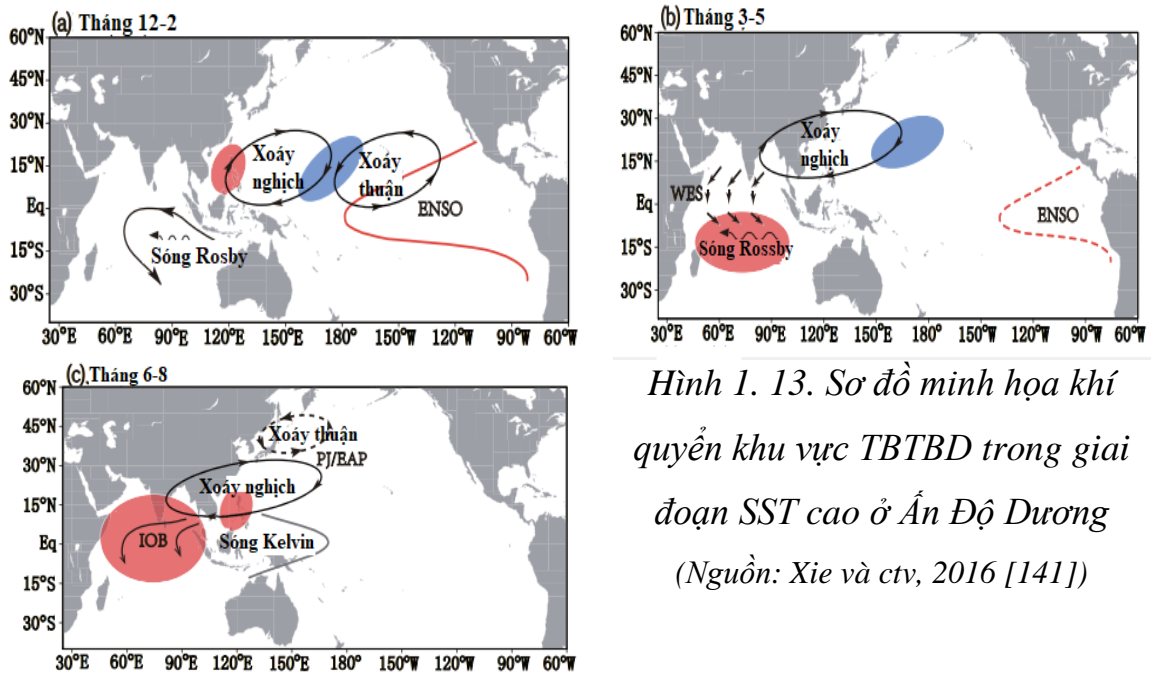
Tương tự như Zhou và ctv (2011), SST ở phía Tây Nam Thái Bình Dương cũng đã được tác giả Zhan và ctv (2013) [153] khảo sát và chỉ ra mối tương quan nghịch giữa bão trên khu vực TBTBD với gradient SST (chênh lệch SST giữa vùng Tây Nam Thái Bình Dương với bề ấm trung tâm TBTBD). SST cao hơn ở phía Tây Nam Thái Bình Dương so với bề ấm trung tâm TBTBD cho thấy rằng xoáy thuận ở tầng đối lưu phía trên (mực 200mb) và xoáy nghịch ở tầng đối lưu phía dưới (mực 850mb) trên khu vực TBTBD trong mùa hè. Đồng thời cho thấy những thay đổi đồng thời trong hoàn lưu khí quyển nhiệt đới là do hoạt động của sóng nhiệt đới. Các hiệu ứng này dẫn đến giảm xoáy tương đối và tăng độ đứt gió thẳng đứng mực 200-850 mb cũng như rãnh gió mùa yếu hơn trong khu vực TBTBD, do đó bất lợi cho bão hình thành và hoạt động trên

khu vực TBTBD cũng như trên Biển Đông.

Ngoài ra, “lan truyền sóng” (wave train) trong mùa hè hay sự khác nhau (dipole) về hoạt động của đối lưu trên biển phía Đông Philippines và khu vực vĩ độ trung bình xung quanh Nhật Bản được gọi là kiểu P-J có thể ảnh hưởng đáng kể đến biến động của bão trên khu vực TBTBD. Kiểu P-J đã được nhiều nghiên cứu cho thấy liên quan đến “ống dẫn sóng” (waveguide/duct) hướng tây-tây nam mực thấp, chúng được thiết lập bởi gió mùa mùa hè hay còn gọi là “cầu nối” của gió tây nam ảnh hưởng đến thời tiết, khí hậu ở khu vực TBTBD và Đông Á (Choi và ctv, 2010 [55]; Huang R.H và ctv, 1989, 1992 [77], [78]; Nitta, 1987 [108]; Kosaka và ctv, 2006 [88], 2011 [89]).

Kiểu P-J được xác định dựa trên sự khác nhau của độ cao địa thế vị mực 850mb giữa khu vực biển phía Đông Nhật Bản và Đông Đài Loan được Choi (2010) [55] cho thấy trong mùa hè, giai đoạn P-J dương (âm), vị trí hình thành bão dịch về phía Bắc (phía Nam) so với trung bình, và bão di chuyển thường xuyên hơn qua khu vực Hàn Quốc và Nhật Bản (Biển Đông và phía Nam Trung Quốc). Đồng thời cho thấy trong mùa hè, vị trí và vai trò của rãnh gió mùa và ACTBD là nhân tố quan trọng đối với hoạt động của bão trên khu vực TBTBD.

SST ở khu vực Ấn Độ Dương, bể ấm trung tâm TBTBD và trung tâm-đông xích đạo Thái Bình Dương cũng như kiểu P-J được nhóm các tác giả Xie và ctv (2016) [141], Xiao và ctv (2019) [142] dẫn ra trong Hình 1.13 cho thấy khi SST ở trung tâm-đông xích đạo Thái Bình Dương cao hơn, tồn tại xoáy nghịch mực thấp do thay đổi quy mô lớn của các yếu tố môi trường trên khu vực TBTBD. Đồng thời cho thấy SST khu vực Ấn Độ Dương cao hơn ảnh hưởng đến kiểu P-J cũng như gió mùa trong mùa hè ở khu vực TBTBD - Đông Á (Hình 1.13c). Vấn đề này cũng đã được Kosaka và ctv (2013) [90] cho thấy về mối quan hệ cặp đôi giữa khu vực Ấn Độ Dương và kiểu P-J với gió mùa tây nam thịnh hành là điều kiện cần thiết cho tương tác biển-khí giữa Ấn Độ Dương và bể ấm trung tâm TBTBD. Đồng thời cho thấy mối quan hệ cặp đôi này là cơ sở khoa học cho dự báo khí hậu hạn mùa ở khu vực TBTBD.



Hình 1.13. Sơ đồ minh họa khí quyển khu vực TBTBD trong giai đoạn SST cao ở Ấn Độ Dương (Nguồn: Xie và ctv, 2016 [141])

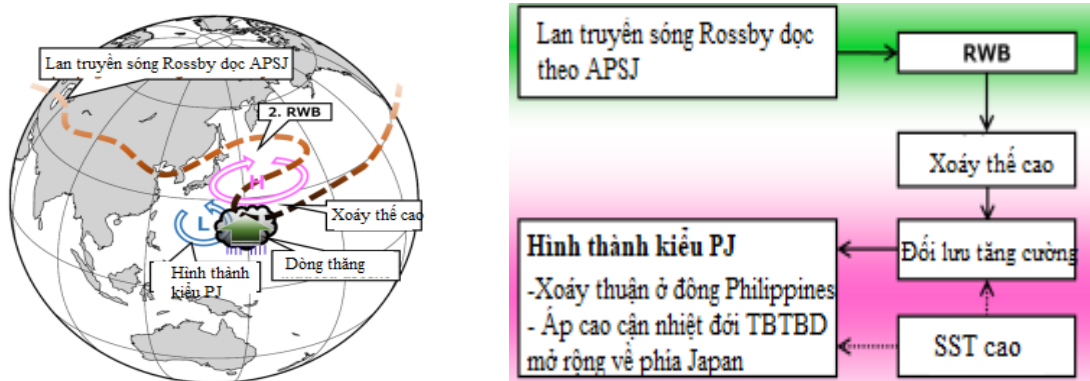
Nhiều nghiên cứu cho thấy APSJ ảnh hưởng đến thời tiết, khí hậu khu vực TBTBD-Đông Á cả trong mùa đông và mùa hè liên quan đến hình thành bão, front, và quỹ đạo bão. APSJ là một trong những thành phần quan trọng đối với hoàn lưu gió mùa Đông Á liên quan chặt chẽ đến sự chuyển mùa trên khu vực Đông Á. Đồng thời, biến động của APSJ trong các năm liên quan đến hoạt động đối lưu trên khu vực biển Philippine (Nguyễn Đức Ngữ và Nguyễn Trọng Hiệu, 2004 [16]; Lin và ctv, 2004 [100], 2010 [101]; Lu và ctv, 2004 [103]; Zhang và ctv, 2008 [148]; Gao và Tao, 1991 [156]). Tuy nhiên, nghiên cứu sâu về quan hệ của APSJ với bão ở TBTBD mới được thực hiện trong năm gần đây. Chao và ctv (2016) [48] cho thấy nhiều (ít) bão hình thành ở khu vực phía Đông TBTBD khi rãnh mực cao thay đổi vị trí về phía Đông (Tây) so với trung bình. Sự biến động của rãnh mực cao quan hệ chặt chẽ với biến động của rãnh gió mùa, và với SST ở trung tâm xích đạo Thái Bình Dương.

Tác giả Chen và ctv (2017) [51] với mục đích khảo sát mối quan hệ giữa sự thay đổi vị trí APSJ và bão trên khu vực TBTBD cho thấy bão trên khu vực TBTBD liên quan chặt chẽ đến vị trí và cường độ của APSJ vào mùa hè theo quy mô biến động hàng năm. Năm bão hoạt động nhiều, APSJ trong mùa hè dịch chuyển về phía cực khoảng  $1^{\circ}$  so với vị trí trung bình. Sự thay đổi vị trí

của APSJ trong mùa hè có liên quan đến kiểu P-J và gradient nhiệt độ kinh hướng quy mô lớn. Trái lại, trong những năm bão hoạt động ít, APSJ thường hoạt động ở phía Nam vị trí trung bình nhiều hơn.

Ảnh hưởng của bão trên khu vực TBTBD đến APSJ cũng đã được tác giả Chen và ctv (2018) [52] khảo sát dựa trên mô hình số. Kết quả chỉ ra bão sẽ làm ấm không khí trong tầng đối lưu giữa và cao ở khu vực Nhật Bản, dẫn đến gradient nhiệt độ không khí theo kinh tuyến tăng về phía Nam của trục APSJ. Tiếp theo, Chen và ctv (2019) [53] cho thấy về vai trò của bão trên khu vực TBTBD đối với ba thành phần quan trọng của hệ thống gió mùa Đông Á là ACTBD, áp cao Tây Tạng và APSJ. Kết quả dẫn ra khi ACTBD và áp cao Tây Tạng suy yếu, APSJ di chuyển về phía Bắc khoảng  $1^{\circ}$  so với vị trí trung bình, gió đông nam ở mực thấp tiến xa hơn về phía Bắc, rãnh gió mùa sâu hơn. Các điều kiện này dẫn đến thuận lợi cho bão hoạt động trên khu vực TBTBD.

Gần đây, Kazuto và ctv (2020) [83], [84] cho thấy cơ chế kích hoạt và duy trì kiểu P-J được dẫn ra trong Hình 1.14. Kết quả cho thấy SST cao hơn ở bể ấm trung tâm TBTBD, đối lưu tăng cường trên khu vực biển phía Đông Philippines và lan truyền sóng Rossby dọc theo Châu Á, cũng như APSJ thông qua “Sự phá vỡ sóng Rossby” (RWB, Rossby wave Breaking) trong mùa hè. Điều này là một trong những nguyên nhân có thể kích hoạt kiểu P-J với xu hướng xoáy thuận ở tầng đối lưu thấp ở khu vực biển phía Đông Philippines.



Hình 1. 14. Sơ đồ mô tả hoạt động sóng Rossby kích hoạt kiểu P-J. “L” và “H” biểu thị các xoáy thuận và nghịch ở tầng đối lưu thấp

(Nguồn: Kazuto và ctv, 2020 [84])

### ***1.3.2 Quan hệ giữa SST, dòng xiết cận nhiệt đới với bão trên Biển Đông***

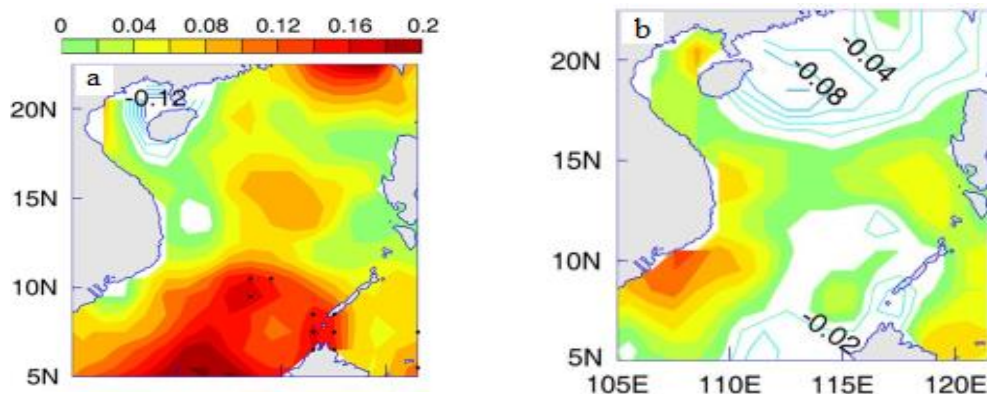
Nhiều nghiên cứu cho thấy SST là nhân tố quan trọng đối với hoạt động của bão trên Biển Đông. Điều này là do SST liên quan đến hoàn lưu khí quyển mực thấp ảnh hưởng đến hoạt động của bão (Chen, G, 2011 [50], Tahereh và ctv 2017 [122], Richard và Zhou 2014 [110], Bo Xiang và ctv 2020 [41]). Ảnh hưởng của SST dẫn đến sự thay đổi đáng kể trong mô phỏng thông lượng ẩn nhiệt, dẫn đến thay đổi về kết quả mô phỏng cường độ và quỹ đạo bão. Khi trường SST tăng ở phía Bắc Biển Đông, dẫn đến giá trị cường độ bão cực đại tăng lên (Chiang và ctv, 2011 [54], Sun và ctv, 2017 [120]).

Ở Việt Nam, mối liên hệ giữa SST và cường độ bão cũng đã được nghiên cứu từ đầu thập kỷ 90. Lê Đình Quang và ctv (1987, 1991) [17], [18] cho thấy cường độ bão tăng (giảm) khi di chuyển trên mặt có SST cao (thấp). Đồng thời cho thấy tương quan giữa SST với cường độ của bão trên Biển Đông. Trần Duy Bình (1991) [2] dựa trên bộ số liệu thám sát bão bằng máy bay cho thấy mối tương quan giữa SST với vị trí tâm bão, gió cực đại và khí áp. Mối quan hệ thực nghiệm giữa SST và cường độ gió bão cực đại ( $V_{max}$ ) trên Biển Đông đã được Thanh và ctv (2019) [123] xây dựng dưới dạng hàm logarit tự nhiên cho thấy  $V_{max}$  trong khu vực này tăng chậm hơn so với dạng tuyến tính và hàm mũ là do biên độ dao động SST ở Biển Đông hẹp (trong khoảng  $24^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$ ) so với khu vực Bắc Đại Tây Dương hoặc trên toàn bộ khu vực TBTBD.

Nhiều nghiên cứu cho thấy hoàn lưu quy mô lớn ảnh hưởng đến sự di chuyển và vị trí hình thành của bão. Do đó, bất cứ yếu tố gì ảnh hưởng đến các điều kiện quy mô lớn sẽ gây ra sự thay đổi trong hoạt động của bão (Holland, 1983 [73]; Wu và Zhao, 2012 [139]; Wu và ctv, 2012 [140]). Vấn đề này, biến động SST ở trung tâm-đông xích đạo Thái Bình (liên quan đến ENSO) và PDO đóng vai trò quan trọng liên quan đến sự thay đổi điều kiện quy mô lớn ảnh hưởng đến sự hình thành và quỹ đạo của bão trên Biển Đông; chẳng hạn như những thay đổi ACTBD (Wang và ctv, 2013 [127]) hay sự thay đổi hoàn lưu gió mùa trên Biển Đông liên quan đến rãnh gió mùa (Wu và ctv, 2012 [140]).

Dựa trên chuẩn sai nhiệt độ bề mặt nước biển vùng Nino 3,4, nhiều nghiên cứu cho thấy số lượng bão trên Biển Đông là thấp hơn trung bình nhiều năm trong các năm El Niño nhưng cao hơn trung bình nhiều năm trong năm La Niña. Nguyên nhân chủ yếu của sự biến động số lượng bão là do dòng giáng, dòng thăng liên quan đến hoàn Walker và các sự kiện nước biển ấm (lạnh) ở trung tâm-đông xích đạo Thái Bình Dương, dẫn đến xoáy tương đối ít (nhiều) trên Biển Đông; Sự xô dịch về vị trí và thay đổi về cường độ của trung tâm đối lưu khu vực xích đạo Thái Bình Dương trong điều kiện nước biển ở trung tâm xích đạo ấm hơn (lạnh hơn) (Nguyễn Đức Ngữ và Nguyễn Trọng Hiệu (2004) [16], Đinh Bá Duy và ctv (2016) [6], [7]; Trần Quang Đức và ctv (2020) [8], Chan và ctv (2000) [46], Goh (2010) [70], Wang và ctv (2014) [130]).

Dựa trên số liệu bão từ JMA, Ling và ctv (2014) [102] đã xem xét đặc điểm của yếu tố môi trường đối với bão hình thành trên Biển Đông và bão từ bên ngoài TBTBD di chuyển vào. Kết quả cho thấy ACTBD rút ra phía Đông (hoặc lấn về phía Tây) dẫn đến ít (nhiều) bão từ ngoài TBTBD vào Biển Đông. Đồng thời cũng cho thấy chênh lệch SST giữa các năm bão cao và thấp là không đáng kể và chỉ ra SST trên Biển Đông luôn đáp ứng đủ điều kiện cho bão hình thành và tiến triển (Hình 1.15). Chỉ số ACE cũng được sử dụng trong nghiên cứu này nhưng chỉ để minh chứng về sự khác biệt giữa bão hình thành trên Biển Đông và bão từ ngoài TBTBD di chuyển vào.



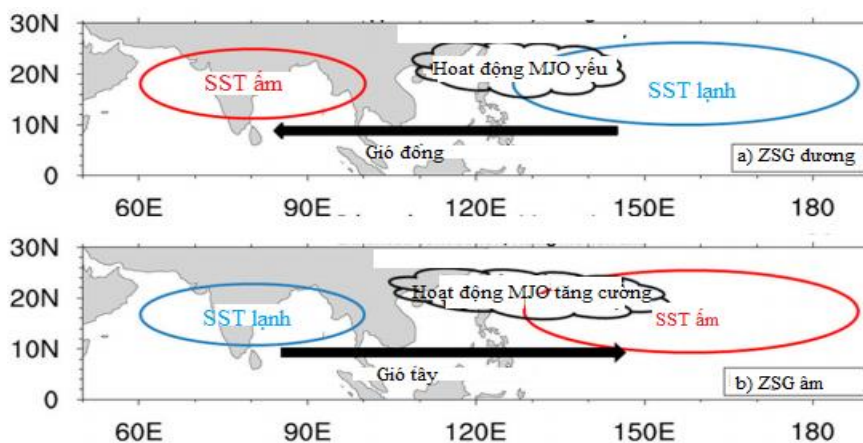
Hình 1. 15. (a) Sự khác biệt trung bình SST trong các năm cao và thấp của bão hình thành trên Biển Đông và (b) bão từ ngoài vào Biển Đông

(Nguồn Ling và ctv, 2015 [102])

Wang (2012) [129], Zuki và ctv (2008) [150], Wang và ctv (2014) [140] cho thấy SST cao và lượng bốc hơi lớn hơn từ bề mặt đại dương ở khu vực Nam Biển Đông trong những năm El Niño. Tuy nhiên, trong những này, dòng giáng hoạt động mạnh ở khu vực TBTBD đã làm hạn chế sự vận chuyển của hơi nước lên tầng trên, dẫn đến hàm lượng ẩm thấp hơn ở tầng đối lưu giữa, do đó bất lợi đến sự hình thành bão trên khu vực Nam Biển Đông.

Wang. L và ctv (2013) [132] cho thấy trên khu vực Ấn Độ Dương, SST cao hơn, dòng thăng phát triển mạnh, không khí hội tụ ở mực thấp (mực 850mb) và trên cao dòng phân kỳ phát triển mạnh (mực 200mb). Đồng thời một phần dòng phân kỳ này hướng về phía Biển Đông, dẫn đến hội tụ tầng đối lưu trên cao và dòng giáng trên khu vực Biển Đông. Hiệu ứng này dẫn đến xoáy nghịch mực thấp, hạn chế bão hình thành và hoạt động trên khu vực Biển Đông.

SST vùng Ấn Độ Dương cũng đã được Richard và ctv (2014) [110] cho thấy tương quan nghịch giữa số lượng bão trên Biển Đông với gradient SST (chênh lệch SST giữa vùng Ấn Độ Dương và bề ấm trung tâm TBTBD). Giai đoạn gradient SST dương (âm), gió đông (gió tây) mực thấp khu vực gần xích đạo thịnh hành, hoạt động đối lưu trên Biển Đông yếu (mạnh), bất lợi (thuận lợi) cho hoạt động của bão và giảm số lượng bão trên Biển Đông trong thời kỳ 1979-1993 và 2003-2010 (tăng trong thời kỳ 1994-2002) (Hình 1.16).



Hình 1. 16. Sơ đồ minh họa hoàn lưu khí quyển liên quan đến (a) Gradient SST (ZSG) dương và (b) âm

(Nguồn: Richard và ctv 2014 [110])

Wang. G và ctv (2007) [128] cho thấy APSJ trong mùa đông hoạt động ở khoảng  $15^{\circ}\text{N}$  trên Biển Đông có liên quan đến độ đứt gió thẳng đứng lớn. Đồng thời cho thấy điều kiện môi trường ít thuận lợi cho bão hoạt động trên Biển Đông ở khoảng phía Bắc vĩ tuyến  $20^{\circ}\text{N}$  nhưng thuận lợi từ khoảng vĩ tuyến  $6 - 15^{\circ}\text{N}$ . Ảnh hưởng của gió mùa mùa hè đối với sự hình thành bão quy mô nội thập kỷ được Wang X. và ctv (2012) [133] nghiên cứu. Kết quả chỉ ra APSJ và ACTBD là một trong những thành phần quan trọng của hệ thống gió mùa mùa hè ảnh hưởng đến bão hình thành trên Biển Đông quy mô thời gian nội thập kỷ. Dị thường sóng Rossby ở tầng cao ở vĩ độ trung bình lan truyền theo hướng xích đạo liên quan đến bão hình thành trên Biển Đông. Ảnh hưởng của gió mùa trong mùa đông đến sự hình thành của bão hàng năm cũng đã được Wang. L (2019) [131] cho thấy cường độ của gió mùa trong mùa đông có thể đóng vai trò tiềm tàng đến sự hình thành bão trên khu vực Biển Đông.

Nhìn chung, sự khác nhau về SST cao (thấp) giữa Ấn Độ Dương, biển phía Đông Nam Nhật Bản, hay ở trung tâm-đông xích đạo Thái Bình Dương, biển phía Đông Philippines là một trong những nguyên nhân dẫn đến sự biến động về các yếu tố môi trường, hình thành xoáy nghịch (thuận), hoạt động đối lưu bị hạn chế (tăng cường) trên khu vực TBTBD và Biển Đông. Đồng thời, sự biến động của SST ở các vùng này quan hệ chặt chẽ tới các hoàn lưu quy mô lớn như gió mùa, ACTBD, áp cao Tây Tạng và dòng xiết cận nhiệt đới ảnh hưởng đến hoạt động của bão trên khu vực TBTBD và Biển Đông.

#### **1.4 Dự báo hạn mùa đối với bão và năng lượng bão**

Thông thường dự báo mùa có qui mô thời gian khoảng từ 1, 3, 6, 9 hoặc 12 tháng và có thể được hiểu là dự báo những biến đổi trong các nhân tố hình thành thời tiết trong tương lai (Phan Văn Tân và ctv, 2010) [21] hay chỉ đưa ra dự báo xu thế biến đổi so với điều kiện thời tiết trung bình theo tháng hoặc mùa tới (Hoàng Đức Cường và ctv, 2013) [4]. Thực tế, trong dự báo hạn mùa về bão, số lượng bão thường tính cả năm như Kim và ctv (2013) [86], Li. X và ctv (2013) [99], NOAA hoặc trong mùa bão như Zhan và ctv (2015) [155]. Thời

gian dự báo trước số cơn bão có thể từ 0 đến 6 tháng phụ thuộc vào kỹ năng của mô hình dự báo được xây dựng.

Cho đến nay đã có rất nhiều công trình nghiên cứu dự báo hạn mùa về bão đã được thực hiện. Hầu hết trong số đó tập trung vào hai ổ bão lớn là Đại Tây dương và TBTBD trong đó có Biển Đông. Về phương pháp có thể chia thành ba nhóm chính (Phan Văn Tân và ctv (2010) [21], Hoàng Đức Cường và Trần Việt Liễn (2013) [4]): (1) Phương pháp thống kê truyền thống; (2) Phương pháp thống kê - động lực; và (3) Phương pháp mô hình động lực.

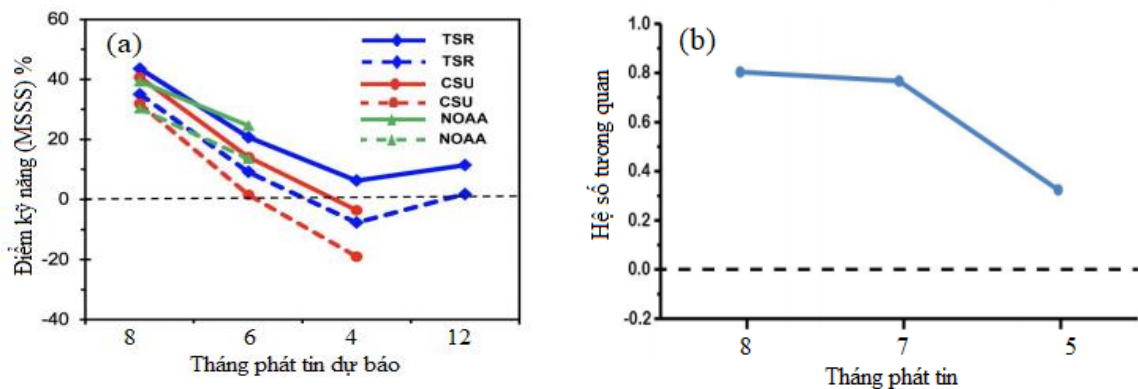
Ngoài số lượng bão, chỉ số ACE khu vực Đại Tây Dương được dự báo bởi Trường Đại học bang Colorado và “Mạng lưới ứng dụng dự báo khí hậu ở Hoa Kỳ” (Climate Forecast Applications Network). Phương pháp thống kê truyền thống và hồi quy tuyến tính được sử dụng để xây dựng mô hình dự báo ACE trong các năm với các nhân tố dự báo (NTDB) như chỉ số ENSO, đặc trưng của trường các yếu tố khí quyển (Klotzbach và ctv, 2014) [87].

Phương pháp thống kê truyền thống và hồi quy tuyến tính cũng đã được TSR (Rủi ro bão nhiệt đới) sử dụng để dự báo số lượng bão, bão cường độ mạnh và ACE trên khu vực TBTBD và Đại Tây Dương (vùng hình thành nhiều bão, biển Caribbean-Mexico, và bão đổ bộ vào Hoa Kỳ). Bảng 1.2 dẫn ra thông tin của bản tin dự báo bão trên khu vực TBTBD của TSR dựa trên SST vùng Nino 3.75 ( $5^{\circ}\text{S}$ - $5^{\circ}\text{N}$ ,  $180^{\circ}$ - $140^{\circ}\text{W}$ ) và U200mb vùng ( $0^{\circ}$ - $10^{\circ}\text{N}$ ,  $130^{\circ}\text{E}$ - $170^{\circ}\text{W}$ ) (Lea và ctv, 2006 [93]; Saunders và ctv, 2005 [113]).

*Bảng 1.2. Dự báo hạn mùa về bão ở TBTBD ngày 07/7/2021 của TSR*

	Năm/thời kỳ	Chỉ số ACE ( $10^4 \text{ kt}^2$ )	Số lượng bão cường độ mạnh	Số lượng bão mạnh	Số lượng bão
Dự báo của TSR	2021	265	9	15	25
Trung bình ( $\pm$ độ lệch chuẩn)	1965-2020	294 ( $\pm 103$ )	9 ( $\pm 3$ )	16 ( $\pm 4$ )	26 ( $\pm 4$ )
Trung bình trong 10 năm	2011-2020	272	9	15	25
Kỹ năng dự báo	2011-2020	33%	16%	0%	0%

Điểm kỹ năng trung bình (MSSS) của dự báo hạn mùa về bão trên khu vực Đại Tây Dương của NOAA, CSU và TSR từ 2003-2020 được trình bày trong Hình 1.17. Kết quả cho thấy kỹ năng dự báo hạn mùa về bão trong tháng 4 là gần bằng 0, cao hơn trong tháng 12 năm trước và tháng 6, cao nhất vào tháng 8 (Hình 1.17a). Kỹ năng dự báo hạn mùa về ACE trên khu vực TBTBD dựa trên hệ số tương quan ( $r$ ) giữa quan trắc và dự báo thời kỳ 2003-2020 được dẫn ra trong Hình 1.17b cho thấy tương quan thấp hơn đối với bản tin dự báo ACE trong tháng 5, cao hơn trong tháng 7 và cao nhất trong tháng 8.



Hình 1. 17. Điểm kỹ năng dự báo ACE trên khu vực Bắc Đại Tây Dương (a) và khu vực TBTBD từ 2003-2020 (b)

(Nguồn: Bản tin tháng 6 năm 2021 của TSR)

Gần đây, Enrico và ctv (2020) [64] đã dự báo ACE trước 3 tháng trên khu vực Đại Tây Dương dựa trên SST khu vực nhiệt đới Đại Tây Dương, Bắc Đại Tây Dương. Kyle và ctv (2019) [92] bằng phương pháp thống kê truyền thống đã xây dựng các mô hình dự báo ACE cho khu vực Bắc Đại Tây Dương trên cơ sở các nhân tố dự báo là SST và AMO trong các tháng 3-5. Yanjie và ctv (2020) [147] dự báo ACE cho khu vực TBTBD trong mùa thu với nhân tố dự báo là SST ở khu vực trung tâm Thái Bình Dương.

Không chỉ dự báo ACE cho các đại dương, nhiều công trình cũng đã nghiên cứu dự báo ACE trên các tiểu vùng biển khác nhau. Lu và ctv (2013) [104] đã dự báo thử nghiệm ACE hàng năm trên khu vực xung quanh vùng biển Đài Loan (cách bờ biển 300 km) dựa trên phương pháp thống kê truyền thống

với các nhân tố dự báo như SST vùng nhiệt đới, khí áp mặt biển, gió vĩ hướng và xoáy tương đối trên khu vực TBTBD từ số liệu tái phân tích. Nghiên cứu tiếp theo, Lu và ctv (2018) [105] đã phát triển mô hình dự báo thống kê ACE trên khu vực xung quanh Đài Loan trong tháng 9 đến tháng 11.

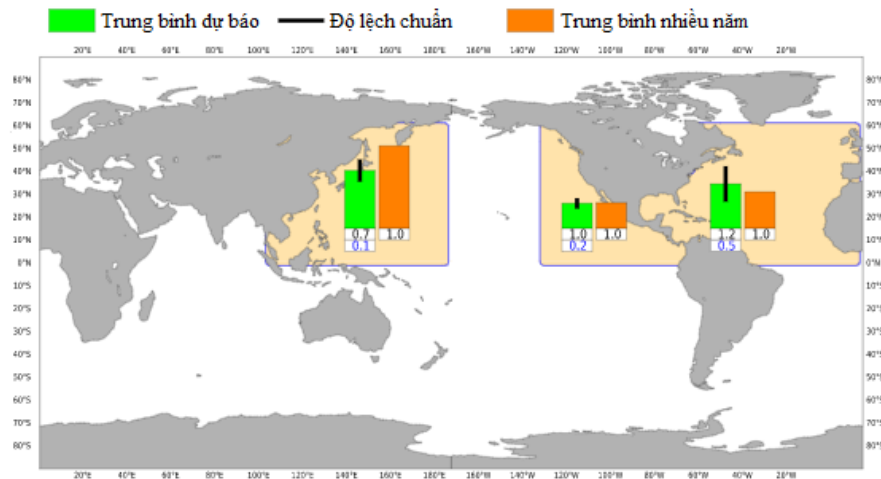
Cả ba phương pháp thống kê truyền thống, thống kê-động lực và động lực được NOAA sử dụng để dự báo hạn mùa về số lượng bão, bão mạnh và ACE hàng năm trên khu vực Đại Tây Dương dựa trên các chỉ số ENSO, AMO và sản phẩm của CFSv2 (Bell và ctv, 2006) [39]. Phương pháp thống kê - động lực cũng đã được Cơ quan khí tượng của đảo Antigua (trên Đại Tây Dương) sử dụng để dự báo ACE trên Đại Tây Dương dựa trên công cụ dự báo khí hậu (Climate Predictability Tool). Tương tự, Villarini và ctv (2011, 2013) [124], [125] đã dự báo ACE trên khu vực Bắc Đại Tây Dương dựa trên SST từ mô hình khí hậu của “Phòng Thí nghiệm Động lực Địa Vật Lý Chất lỏng, NOAA”.

Mô hình kết hợp thống kê - động lực dự báo xác suất ACE hàng năm trên khu vực TBTBD được Kim và ctv (2013) [86] xây dựng dựa trên số liệu dự báo lại thời kỳ 1981-2010 của ECMWF phiên bản 4. Trong dự báo nghiệp vụ, nhân tố dự báo là các sản phẩm dự báo thực tế của ECMWF cùng các thời kỳ như sản phẩm dự báo lại nêu trên. Mô hình được xây dựng dựa trên tương quan thuận giữa ACE trong các năm với SST và tương quan nghịch với độ đứt gió thẳng đứng mực 200-850 mb ở trung tâm Thái Bình Dương. Đánh giá mức độ hiệu quả mô hình trên cơ sở số liệu phụ thuộc cho thấy kỹ năng dự báo ACE khá tốt, hệ số tương quan giữa ACE quan trắc và dự báo khoảng 0,80.

Cùng mục đích dự báo ACE cho khu vực TBTBD, Zhan và ctv (2015) [155] đã tuyển chọn nhân tố dự báo từ mối quan hệ giữa ACE với độ đứt gió thẳng đứng khu vực xích đạo TBTBD, gradient SST (chênh lệch giữa SST ở Tây Nam Thái Bình Dương và bề ấm trung tâm TBTBD), SST vùng Nino 3.4, và SST vùng Tây Nam Thái Bình Dương từ số liệu tái phân tích của NCEP. Mô hình thống kê-động lực dự báo ACE tháng 6-10 ở khu vực TBTBD được xây dựng dựa trên nhân tố dự báo đã được tuyển chọn nhưng từ sản phẩm dự

báo lại của CFSv2 thời kỳ 1982-2010. Dự báo thử nghiệm hai năm 2011 và 2012 từ số liệu dự báo nghiệp vụ của CFSv2 cho thấy mô hình có kỹ năng dự báo ACE trước 4 tháng, càng gần mùa bão kỹ năng của mô hình cao hơn.

Phương pháp mô hình số cũng đã được sử dụng để dự báo hạn mùa về ACE cho các ổ bão lớn trên đại dương như Cơ quan khí tượng Hadley hay của ECMWF (Hình 1.18).



Hình 1. 18. Dự báo ACE của ECMWF phát hành 01/7/2021

Trong những năm qua ở Việt Nam, việc phát triển mô hình số trong dự báo bão phát triển mạnh mẽ nhưng chỉ đối với dự báo thời tiết như Kiều Thị Xin và ctv (2002) [37]; Phan Văn Tân và ctv (2004) [19]; Hoàng Đức Cường và ctv (2004) [3]; Nguyễn Minh Trường và ctv (2004) [31]; Võ Văn Hòa (2008) [11]; Trần Tân Tiến và ctv (2010) [30]; Công Thanh và ctv (2011) [22]; Du Đức Tiến và ctv (2017) [29],...và còn rất nhiều công trình nghiên cứu khác.

Dự báo hạn mùa về bão trên Biển Đông cũng đã được Chan (1995, 1998, 2001) [44], [45], [47] tiến hành nghiên cứu từ những năm 1995 dựa trên phương pháp thống kê truyền thống và hồi quy tuyến tính đa biến. Các nhân tố dự báo là các thành phần chính (PC) tương ứng với hàm trực giao thực nghiệm (EOF) từ phân tích SST, các chỉ số khí hậu và hoàn lưu trên khu vực TBTBD. Trong công trình nghiên cứu xây dựng mô hình dự báo khí hậu cho Việt Nam dựa trên kết quả mô hình động lực toàn cầu của Nguyễn Văn Thắng và ctv (2005) [24], số lượng bão cũng đã được xây dựng phương trình dự báo với các nhân tố dự

báo là số liệu 12 thành phần chính (PC) của trường SST toàn cầu từ Trung tâm Khí hậu Australia. Số lượng bão dọc bờ biển và đổ bộ vào Việt Nam và Biển Đông được Nguyễn Văn Tuyên và ctv (2008) [33], [34] xây dựng sơ đồ dự báo với nhân tố dự báo tuyến chọn bao gồm 9 chỉ số nhóm ENSO, 9 chỉ số gió mùa, 7 chỉ số dao động và 9 các chỉ số khí hậu khác. Kết quả cho thấy vai trò của chỉ số khí hậu, ENSO, gió mùa và dao động đều có mặt trong các sơ đồ dự báo.

Với mục đích chính nghiên cứu các hiện tượng khí hậu cực đoan và khả năng dự báo chúng, Phan Văn Tân và ctv (2010) [21] đã dự báo các hiện tượng khí hậu cực đoan dựa trên phương pháp thống kê, đồng thời mô phỏng, dự báo và dự tính hiện tượng khí hậu cực đoan dựa trên các mô hình khí hậu khu vực (RegCM, REMO, MM5CL, CAM-SOM) và đề xuất giải pháp chiến lược ứng phó. Kết quả cho thấy có thể sử dụng phương trình hồi quy tuyến tính nhiều biến để dự báo số cơn và số ngày bão hoạt động khi sử dụng các chỉ số khí hậu làm nhân tố dự báo. Về vai trò các nhân tố dự báo, tác giả cho rằng khó lý giải về cơ chế vật lý đối với hoạt động của bão nhưng những nhân tố đặc trưng về điều kiện quy mô lớn có ý nghĩa nhất định trong các phương trình dự báo. Đồng thời đã thử nghiệm mô phỏng bão bằng mô hình RegCM cho thấy kết quả mô phỏng khá hợp lý về sự hoạt động của bão trên khu vực TBTBD năm 1996. Số lượng bão mô phỏng khá gần với thực tế và tái tạo được tương đối hợp lý về hoạt động của bão vào những tháng mùa bão. Mặc dù vậy vẫn tồn tại sự khác biệt lớn giữa quỹ đạo mô phỏng và quỹ đạo quan trắc, nhất là đối với những cơn bão hình thành trên vùng Biển Đông.

Có thể nói ứng dụng mô hình số trong dự báo hạn mùa về bão ở Việt Nam mới được tiến hành trong năm gần đây, điển hình như Phan Văn Tân và ctv (2010) [21], Phan-Van Tan và ctv (2015) [121] đã thử nghiệm dự báo mùa về hoạt động của bão từ tháng 2 đến tháng 6 năm 2012-2013 cho khu vực ven biển của Việt Nam dựa trên mô hình khí hậu khu vực RegCM với thuật toán cài xoáy, phát hiện tâm xoáy hiệu quả. Trần Quang Đức và ctv (2020) [8] đã dự báo hạn mùa về số lượng bão và vùng hoạt động của bão trên Biển Đông

dựa trên phương pháp thống kê, thống kê - động lực và mô hình động lực. Kết quả đã xây dựng các mô hình dự báo hạn mùa; (1) Mô hình thống kê truyền thống với nhân tố dự báo là các chỉ số khí hậu và bộ nhân tố được xác định bằng phân tích thành phần chính trên số liệu các chỉ số khí hậu; (2) Mô hình thống kê động lực với bộ nhân tố là trung bình khu vực được định nghĩa và bộ nhân tố từ phân tích thành phần chính trên sản phẩm CFSv2; (3) Dự báo hạn mùa bão dựa trên mô hình số cIWRF và RegCM khi sử dụng dự báo toàn cầu của CFSv2 làm điều kiện ban đầu và điều kiện biên.

Dự báo hạn mùa về các hiện tượng khí hậu cực đoan dựa trên các mô hình số ở Việt Nam đang được quan tâm, điển hình là nghiên cứu của Mai Văn Khiêm và ctv (2020) [13] đã ứng dụng ba mô hình khí hậu khu vực RSM, RegCM, cIWRF với điều kiện biên và ban đầu từ mô hình toàn cầu CFSv2 để dự báo các hiện tượng khí hậu cực đoan. Đồng thời đã cho thấy bài toán dự báo mùa về hoạt động của bão là vấn đề cần quan tâm nhiều hơn nữa; Dự báo số lượng, vùng hoạt động và nếu có thể là cường độ bão sẽ hết sức thiết thực nhằm cung cấp thông tin phục vụ hoạt động kinh tế, quốc phòng trên khu vực Biển Đông, cũng như công tác phòng tránh, giảm nhẹ thiên tai ở các vùng ven biển.

Nhìn chung, nhiều Cơ quan nghiệp vụ dự báo hạn mùa về số lượng bão và ACE ở trên thế giới như NOAA, TSR, CSU, IRI,... Cả hai phương pháp dự báo thống kê và mô hình số đã được áp dụng cho dự báo hạn mùa về số lượng bão và ACE. Ở Việt Nam, ứng dụng những kết quả nghiên cứu dự báo hạn mùa đã đạt được những kết quả nhất định trong nhận định 3 tháng tới về số lượng bão và áp thấp nhiệt đới trên Biển Đông được đề cập trong “Thông báo khí hậu” của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu. Đồng thời nhận định số lượng bão và áp thấp nhiệt đới hàng năm so với trung bình được thực hiện của Trung tâm dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia. Tuy nhiên, chưa có công trình nghiên cứu dự báo ACE cho Biển Đông được công bố.

### **1.5 Tiểu kết chương 1**

Các chỉ số năng lượng bão sẽ bổ sung thông tin về cường độ và thời gian

tồn tại của bão và có thể được sử dụng để đánh giá nguy cơ tác động tiềm tàng của bão theo mùa. Thực tế cho thấy giám sát thời gian thực và dự báo hạn mùa về năng lượng bão là thông tin bổ sung cho phân tích nhận định bão trong nghiệp vụ như ở Hoa Kỳ, Anh, Nhật Bản,... Thuật ngữ này còn được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực bảo hiểm, chứng khoán, đầu tư tài chính liên quan đến rủi ro thiên tai. Chỉ số năng lượng bão đã được ứng dụng phổ biến ở các ổ bão lớn trên Đại Dương và tiểu vùng biển. Tuy nhiên, hiện nay chưa có nhiều công trình nghiên cứu sâu về đặc điểm diễn biến và dự báo hạn mùa về năng lượng bão trên Biển Đông. Điều này đặt ra câu hỏi diễn biến năng lượng bão trên Biển Đông như thế nào. Chúng có sự tương đồng hoặc khác biệt gì so với khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương.

Các nghiên cứu cho thấy SST không những ảnh hưởng trực tiếp mà còn ảnh hưởng gián tiếp đến hoạt động của bão thông qua hoàn lưu quy mô lớn. Trong một số hệ thống quy mô lớn trên khu vực TBTBD như gió mùa, ACTBD, các nghiên cứu trước đây đã cho thấy APSJ quan hệ chặt chẽ với khí hậu Đông Á, SST và bão hình thành trên khu vực TBTBD, Biển Đông. Điều đó đặt ra câu hỏi về sự tương đồng hoặc sự khác biệt của năng lượng bão trên Biển Đông và TBTBD liệu có tồn tại mối quan hệ với SST và SST trong vùng biển nào có quan hệ chặt chẽ với năng lượng bão. Có phải APSJ đóng vai trò là hoàn lưu quy mô lớn liên quan đến mối quan hệ này. Nếu xác định được mối quan hệ chặt chẽ với năng lượng bão trên Biển Đông thì có thể ứng dụng làm nhân tố dự báo chúng được hay không.

Để luận giải các câu hỏi nghiên cứu và thực hiện mục tiêu nghiên cứu, các số liệu và phương pháp nghiên cứu được dẫn ra trong chương 2 và những kết quả chính được phân tích và trình bày trong chương 3 và 4. Sau đây sẽ trình bày về số liệu và phương pháp được nghiên cứu sử dụng.

## Chương 2.

### SỐ LIỆU, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN VÀ DỰ BÁO NĂNG LƯỢNG BÃO

#### 2.1 Số liệu

##### 2.1.1 Số liệu quan trắc bão

Tất cả các số liệu thống kê bão trong nghiên cứu này dựa trên số liệu quan trắc bão của Cục Khí tượng Nhật Bản (RMSC - Tokyo, “sau đây gọi là JMA”) và số liệu quan trắc của Trung tâm Cảnh báo bão của Hải quân Hoa Kỳ (JTWC). Hai bộ số liệu này được sử dụng để xác định số lượng bão, thời gian tồn tại của bão/ngày có bão (NCB) và tính toán chỉ số năng lượng bão. Việc sử dụng hai bộ số liệu khác nhau nhằm xác minh chéo về mối quan hệ giữa các yếu tố môi trường với hoạt động của bão.

Hiện nay nguồn số liệu bão có thể khai thác từ nhiều cơ sở lưu trữ khác nhau. Tuy nhiên, khó khăn khi khai thác các bộ dữ liệu này do sự không đồng nhất về nhiều mặt của chúng. Vì nhiều lí do khác nhau, như sự phát triển của kỹ thuật quan trắc qua các thời kì, phương pháp xử lý, tích hợp các loại số liệu,... hay sự khác biệt trong thực hành đánh giá vị trí, quỹ đạo và cường độ dẫn đến sự khác biệt đáng kể về chất lượng và độ chính xác của chúng (Phan Văn Tân và ctv, 2010 [21]; Ying và ctv 2011a [144]). Việc xác định gió mạnh sẽ phụ thuộc vào khoảng thời gian tính trung bình, vì khoảng thời gian tính trung bình dài hơn sẽ dẫn đến tốc độ gió thấp hơn (WMO, No.1555 [136]). Tốc độ gió mạnh trong bộ số liệu của JMA được tính trung bình trong khoảng thời gian 10 phút, trong khi của JTWC là 1 phút. Để dữ liệu thống nhất tương đối gần đúng giữa các bộ số liệu khác nhau, WMO khuyến nghị sử dụng hệ số 0,93 được áp dụng cho vùng biển nói chung để chuyển đổi tốc độ gió trung bình 1 phút trong bộ dữ liệu JTWC thành tốc độ gió trung bình 10 phút gần đúng như của JMA (WMO, No 1555, 2010 [136]; Lee và ctv, 2012 [94]). Trong hệ số chuyển đổi này nghiên cứu giới hạn không xem xét ảnh hưởng của đặc điểm địa phương trên Biển Đông đến bão như địa hình; bão vượt đất liền của

Philippines, đảo Hải Nam, gần bờ biển hay trên đất liền Việt Nam;...

Giám sát bão đáng tin cậy hơn sau khi triển khai vệ tinh vào khoảng năm 1970 (Camargo và ctv, 2005 [43]; Emanuel 2007 [63]). Thêm nữa, gió mạnh nhất gần tâm bão trong bộ số liệu quan trắc của JMA chỉ có từ 1977. Mặt khác, trong bộ số liệu dự báo lại thường chỉ có từ năm 1981 hoặc 1982 (ví dụ CFSv2 hay ECMWF). Đề đồng bộ xuyên suốt quá trình đánh giá, do đó giai đoạn 1982-2018 sẽ được sử dụng trong nghiên cứu này; Tổng với 37 năm giai cho phân tích bão trên khu vực TBTBD và Biển Đông.

Các chỉ số năng lượng bão nhằm mục đích bổ sung thêm thông tin cho hệ thống bão, bão mạnh, do đó nghiên cứu chỉ xem xét những cơn đạt cấp bão nhiệt đới (vượt 17 m/s theo cấp Beaufort). Để so sánh giữa bão và bão mạnh gồm tất cả các cơn bão có tốc độ gió mạnh nhất vượt 32,5 m/s (cấp 12 trở lên theo cấp Beaufort, ký hiệu C12) cũng sẽ được xem xét trong nghiên cứu này.

### ***2.1.2 Nhiệt độ mặt nước biển và số liệu tái phân tích***

Số liệu SST được sử dụng để xác định mối quan hệ với bão khu vực TBTBD và Biển Đông là số liệu trung bình hàng tháng, độ phân giải ngang  $2^0 \times 2^0$  kinh vĩ (ERSST.v4) của NOAA (Huang và ctv, 2004) [74].

Các yếu tố khí quyển được sử dụng cho tính toán mối quan hệ với hoạt động của bão (chương 3) là các giá trị trung bình hàng tháng về độ cao địa thế vị, tốc độ thẳng đứng ( $\omega$ ), độ tán và xoáy tương đối, tốc độ gió vĩ, kinh hướng (u,v) và bức xạ sóng dài được thu thập từ số liệu tái phân tích của NCEP/NCAR (Kalnay và ctv, 1996) [85] và NOAA độ phân giải ngang  $2.5^0 \times 2.5^0$  kinh vĩ.

### ***2.1.3 Số liệu của hệ thống dự báo khí hậu phiên bản 2 (CFSv2)***

Trung tâm Dự báo khí hậu quốc gia (CPC) ở Hoa Kỳ đã phát triển hệ thống dự báo khí hậu sử dụng mô hình động lực toàn cầu CFS (Climate Forecast System). Phiên bản đầu tiên là CFSv1 được đưa vào hoạt động dự báo nghiệp vụ tại NCEP từ tháng 8 năm 2004, đây là phương trình kết hợp đầy đủ khí quyển-đại dương-đất. Sau khi CFSv2 được triển khai đưa vào hoạt động tháng 3 năm 2011, CFSv1 vẫn tiếp tục hoạt động và ngừng hoạt động vào cuối tháng

9 năm 2012. CFSv2 đã cải tiến tất cả các thành phần của hệ thống CFSv1 và đưa vào một vài điểm mới như nâng cấp phương trình đất với bốn lớp đất, phương trình băng biển tương tác ba lớp và đưa sự biến đổi nồng độ CO<sub>2</sub> trong quá khứ vào trong phương trình. Hơn nữa, tính nhất quán giữa trạng thái phương trình và ban đầu được tạo ra bởi hệ thống đồng hóa số liệu đã được cải thiện trong CFSv2 (Saha và ctv, 2014) [111]. Hiện nay, các sản phẩm số liệu toàn cầu từ CFSv2 được cung cấp ở độ phân giải ngang có thể lên tới 0,5°x0,5° kinh vĩ, với loại số liệu ở nhiều quy mô thời gian khác nhau (giờ, ngày, tháng). CFSv2 đã được cập nhật các kỹ thuật đồng hóa số liệu quan trắc, vệ tinh, ra đa, thám không. Trung tâm dữ liệu Hoa Kỳ (CDC) cung cấp khá đa dạng các loại số liệu như tái phân tích (CFSR), phân tích dự báo lại (CFS\_Reforecast), CFSv2 nghiệp vụ thời gian thực (CFS\_operation).

Số liệu CFS\_Reforecast với thời trễ dự báo (dự báo trước) lên đến 9 tháng bao gồm từ ngày 12 tháng 12 năm 1981 đến 31 tháng 03 năm 2011, với bước thời gian 6h và tần suất 4 obs/ngày (00<sup>h</sup> 00, 06<sup>h</sup>00, 12<sup>h</sup>00 và 18<sup>h</sup>00 UTC), mỗi lát cắt sản phẩm đầu ra 5 ngày (mỗi tháng CFSv2 sẽ thực hiện 6 lần x với 4 obs sẽ là 24 dự báo/mỗi tháng x 11 tháng, trong đó sẽ có 1 tháng là 28 dự báo, như vậy sẽ có 292 dự báo cho mỗi năm, và tổng số 29 năm sẽ là 8468 dự báo.

1) Số liệu dự báo lại CFS\_Reforecast thời kỳ 1982-2010, bao gồm SST (file “Ocnf”) và gió vĩ hướng mực 200mb (U200) (file “Pgbf”), độ phân giải không gian 1° x 1° kinh vĩ làm số liệu phụ thuộc cho xây dựng các phương trình dự báo ACE. Trong mỗi tháng dự báo trước (9 tháng cho mỗi lần thực hiện) của CFSv2 đã được CDC tính trung bình tháng theo từng lát cắt, mỗi lát cắt có 4 obs (04 file) và trung bình của 4obs (01 file) tại: <https://www.ncei.noaa.gov/data/climate-forecast-system/access/reforecast/high-prioroty-subset/monthly-means-9-month>. Như vậy mỗi tháng dự báo trước sẽ có 6 lát cắt/tháng x 5 file số liệu/lát cắt sẽ là 30 file số liệu, tuy nhiên nghiên cứu này chỉ sử dụng 01 file trung bình của 4 obs cho mỗi lát cắt hay 6 file/tháng. Số liệu CFSv2 được thu thập phục vụ xây dựng mô hình dự báo ACE trên Biển Đông trong chương 4

được thể hiện trong Hình 2.1, cụ thể:

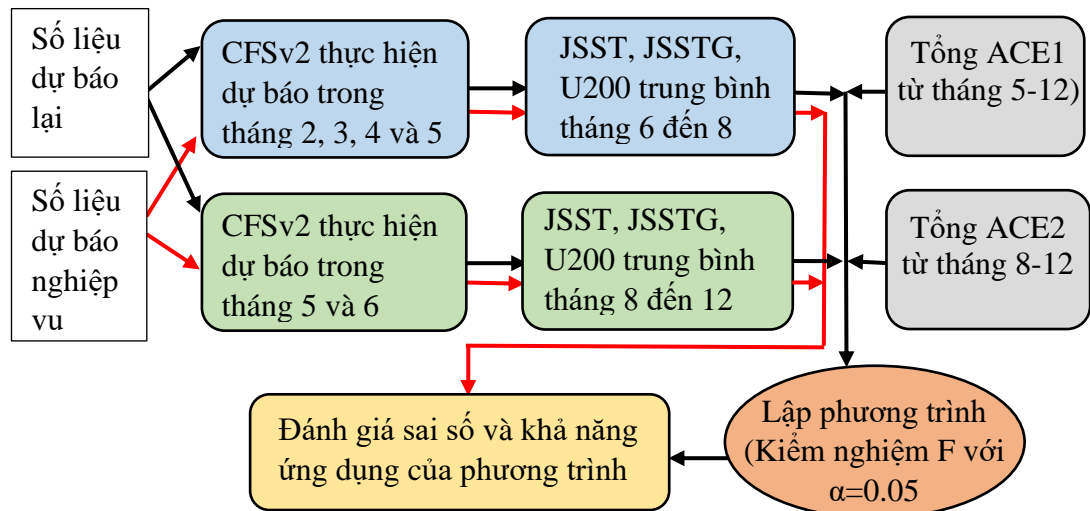
a) CFSv2 thực hiện trong bốn tháng (các tháng 2, 3, 4 và 5): Nghiên cứu đã thu thập hai yếu tố SST, U200 mb được CFSv2 dự báo cho mùa hè (tháng 6-8) làm NTDB phục vụ cho xây dựng phương trình dự báo tổng ACE từ tháng 5 đến tháng 12. Tổng cộng 6 file/tháng x 3 tháng (tháng 6-8) x 29 năm x 2 yếu tố x 4 tháng CFSv2 thực hiện dự báo sẽ là 4176 file.

b) CFSv2 thực hiện trong hai tháng (tháng 5 và 6): Thu thập hai yếu tố SST, U200 mb được CFSv2 dự báo cho tháng 8 đến 12 (5 tháng) làm NTDB phục vụ xây dựng phương trình dự báo tổng ACE từ tháng 8 đến tháng 12. Tổng cộng sẽ 6 file/tháng x 5 tháng (tháng 5-12) x 29 năm x 2 yếu tố x 2 tháng CFSv2 thực hiện dự báo sẽ là 3480 file số liệu.

2) Từ tháng 4/2012, hệ thống dự báo nghiệp vụ CFSv2 của NCEP cung cấp số liệu dự báo giống như CFS\_Reforecast với tần xuất 4 lần/ngày với bước thời gian sản phẩm đầu ra từng giờ và thời gian dự báo trước tối đa đến 9 tháng. Số liệu CFS\_operation thời kỳ 2013-2018 tại website: <https://www.ncei.noaa.gov/data/climate-forecast-system/access/operational-9-month-forecast/monthly-means> đã được CDC tính trung bình theo 4 obs (4 file/ngày). Dung lượng số liệu cao và tài nguyên máy tính hạn chế, do đó nghiên cứu này sử dụng 02 obs vào 00<sup>h</sup> và 12<sup>h</sup> UTC về SST, U200 mb làm số liệu độc lập, cụ thể:

a) CFSv2 thực hiện dự báo nghiệp vụ trong bốn tháng (các tháng 2, 3, 4 và 5): Thu thập hai yếu tố SST, U200 mb được CFSv2 dự báo cho ba tháng từ tháng 6-8, thời kỳ 2013-2018 (6 năm) phục vụ đánh giá sai số dự báo tổng ACE từ tháng 5-12. Tổng cộng 2 yếu tố x 2 file/ngày x 30 ngày x 3 tháng (tháng 6-8) x 4 tháng CFSv2 thực hiện dự báo x 6 năm sẽ là khoảng 8640 file số liệu.

b) CFSv2 thực hiện dự báo nghiệp vụ trong hai tháng (tháng 5 và 6): Thu thập hai yếu tố SST, U200 mb được CFSv2 dự báo cho năm tháng (tháng 8-12) phục vụ đánh giá sai số dự báo tổng ACE từ tháng 8 đến tháng 12. Tổng cộng 2 yếu tố x 2 file/ngày x 30 ngày x 5 tháng (tháng 8-12) x 2 tháng CFSv2 thực hiện dự báo x 6 năm sẽ là khoảng 7200 file số liệu



Hình 2. 1. Sơ đồ mô tả thu thập và sử dụng số liệu CFSv2 phục vụ xây dựng mô hình dự báo ACE trên Biển Đông

#### 2.1.4 Số liệu về dự báo bão hạn mùa của một số Cơ quan nghiệp vụ

Nhằm so sánh đánh giá tính khả thi của các phương trình dự báo ACE trên Biển Đông, nghiên cứu đã thu thập số liệu tại các thời điểm phát hành tin dự báo nghiệp vụ về ACE trên khu vực Đại Tây Dương, TBTBD, cụ thể:

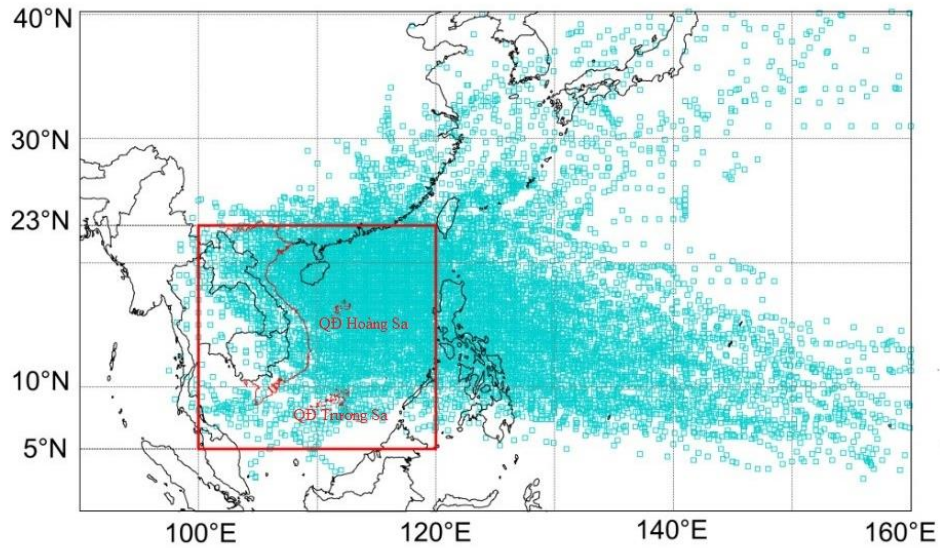
1) Số liệu về ACE được dự báo và quan trắc thời kỳ 2003-2018 trên khu vực Đại Tây Dương của CSU, CPC và TSR được NOAA tổng hợp tại website: <https://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/SeasonalVerification.html>

2) Số liệu tổng kết dự báo bão hạn mùa về ACE trên khu vực TBTBD tại các thời điểm phát tin tháng 3, 5, 7 và 8 thời kỳ 2003-2010, 2013-2014 từ các báo cáo tổng kết của TSR tại website: <https://www.tropicalstormrisk.com/>

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.2.1 Phương pháp tính toán các chỉ số năng lượng bão

Sau đây gọi là Biển Đông là vùng biển được giới hạn (5-23°N, 100-120°E) (Hình chữ nhật màu đỏ trong Hình 2.2 và sẽ được chú thích trong các hình có biển của luận án). Bão trên Biển Đông là bao gồm các cơn bão nhiệt đới được hình thành bên trong Biển Đông và từ bên ngoài vào (bão có bất kỳ bước thời gian 6 giờ trong thời gian tồn tại của chúng nằm trong Biển Đông).



Hình 2. 2. Phạm vi nghiên cứu từ vĩ độ 5-23<sup>0</sup>N và kinh độ 100-120<sup>0</sup>E

Cần lưu ý ở đây một sự khác biệt giữa các cơn bão được hình thành bên trong Biển Đông và các cơn bão hình thành bên ngoài vào. Sự khác biệt này sẽ rõ ràng nhất đối với bão có cường độ gió mạnh nhất trước và sau vào khi vào Biển Đông. Giới hạn về số lượng bão trên Biển Đông có thể giới hạn ý nghĩa thống kê trong các phân tích kết quả, sự khác biệt này sẽ không được thực hiện trong nghiên cứu này và tất cả các cơn bão có một phần trong thời gian tồn tại của chúng theo bước thời gian 6 giờ nằm trên Biển Đông đều được tính.

Do tính chất rời rạc của các bản ghi số liệu, cũng như tính chất phức tạp về hoạt động của bão, nên chỉ số năng lượng bão được phát triển bổ sung thêm cho các đặc trưng bão nhằm có thêm thông tin cho nhận định về bão nhiệt đới. Mặt khác, để có bức tranh tổng thể và so sánh cho những đánh giá đặc điểm diễn biến bão trên Biển Đông, một số các đặc trưng đánh giá bão được sử dụng phổ biến sẽ được tính toán, bao gồm (1) số lượng bão; (2) số lượng bão có cường độ gió mạnh nhất trên cấp 12; (3) NCB và (4) các chỉ số năng lượng bão. Lưu ý rằng nghiên cứu không phân biệt giữa các cơn bão được hình thành bên trong Biển Đông và từ bên ngoài TBTBD vào. Do nguồn số liệu sẵn có trên khu vực TBTBD chưa đầy đủ nên nghiên cứu này chỉ trình bày công thức tính của một số chỉ số năng lượng bão có thể tính toán được cho Biển Đông.

+ *Chỉ số năng lượng bão tích lũy*

Theo tác giả Bell và ctv (2000, 2006) [38], [39]; Camargo và ctv (2005) [43]; Kim và ctv (2013) [88]; Zhan và ctv(2015) [155]; NOAA và Risk Storm, chỉ số ACE được xác định như sau:

$$ACE = \sum_{i=1}^N \sum_{t_{oi}}^{t_{fi}} v_{\max}^2 \quad (2.1)$$

Trong đó ( $v_{\max}$ ) là tốc độ gió mạnh nhất tại bước thời gian 6 giờ (m/s), N là số lượng bão trong mỗi tháng, mùa hoặc năm,  $t_{oi}$  và  $t_{fi}$  là thời gian bắt đầu và kết thúc sự tồn tại của bão. Đơn vị của ACE là ( $m^2/s^2$ ) hay Joune/kg.

Động năng tỷ lệ với bình phương vận tốc và bằng cách cộng động năng với nhau trong một số khoảng thời gian sẽ nhận được động năng tích lũy. Khi thời gian của một cơn bão tăng lên, nhiều giá trị được cộng lại và ACE cũng tăng, các cơn bão có thời gian tồn tại dài hơn có thể tích lũy năng lượng lớn hơn so với các cơn bão mạnh nhưng thời gian tồn tại ngắn hơn (NOAA). Chỉ số ACE của một mùa là tổng của ACE cho mỗi cơn bão và do đó tính đến số lượng, cường độ và thời gian tồn tại của tất cả các cơn bão trong mùa đó (Camargo and Sobel, 2005 [43]; Kevin và ctv, 2010 [85]; Eric và ctv, 2012 [65]; Kim và ctv, 2013 [86]; Lu và ctv, 2018 [105]; Zhan và ctv, 2015 [155]).

+ *Chỉ số PDI*

Theo tác giả Emanuel (2005, 2007) [62], [63] tham chiếu đến chỉ số ACE và cho rằng trong một cơn bão ổn định tốc độ sinh ra động năng cũng tương đương với tốc độ tiêu hao, và đề xuất chỉ số PDI như sau:

$$PDI = \sum_{i=1}^N \sum_{t_{oi}}^{t_{fi}} v_{\max}^3 \Delta t \quad (2.2)$$

Trong đó ( $v_{\max}$ ) là tốc độ gió mạnh nhất tại bước thời gian 6 giờ (m/s), N là số lượng cơn bão trong mỗi tháng, hoặc mùa hoặc năm,  $t_{oi}$  và  $t_{fi}$  là thời gian bắt đầu và kết thúc sự tồn tại của bão. Đơn vị của PDI là ( $m^3/s^2$ ) hay Joune (Emanuel, 2005, 2007 [62], [63]; Villarini và ctv, 2011, 2013 [124], [125]).

+ *Chỉ số RACE*

Yu và ctv (2009 [145], 2012 [146]) cho rằng ACE thể hiện trọng số cao cho bão cường độ mạnh, do đó với mục đích hiệu chỉnh ACE giảm bớt trọng số cao cho bão có cường độ mạnh đã đề xuất hiệu chỉnh ACE, gọi là chỉ số RACE nhưng kể từ năm 2009 đến nay chưa tìm thấy công trình nào áp dụng chỉ số này để đánh giá diễn biến bão được công bố. Chỉ số RACE được xem xét hiệu chỉnh dựa trên diện tích vòng tròn của cấu trúc xoáy Rankine.

$$RACE = \sum_1^N \sum_{t_{oi}}^{t_{fi}} \left( \frac{1}{\tilde{r}_c^2} \left[ \frac{1}{2} + \frac{\tilde{r}_c^{(2-2\alpha)} - 1}{1-\alpha} \right] v_{\max}^2 \right) \Delta t \quad (2.3)$$

Ở đây  $\tilde{r}_c$  (không thứ nguyên) biểu thị bán kính giới hạn (cut-off radius). Hệ số  $\alpha$  được xác định từ số liệu bão dựa trên quan hệ giữa  $v_{\max}$  với  $\tilde{r}_c$ ;  $v_{\max}$  là tốc độ gió mạnh nhất tại bước thời gian 6 giờ,  $N$  là số lượng bão trong tháng, mùa hoặc năm,  $t_{oi}$  và  $t_{fi}$  là thời gian bắt đầu và kết thúc sự tồn tại của bão.

Dựa trên cấu trúc xoáy Rankine, tác giả Yu và Chiu (2009 [145], 2012 [146]), đưa ra biểu thức tính  $\tilde{r}_c$  như sau:

$$\tilde{r}_c = (v_{\max}/v_c)^{1/\alpha} \quad (2.4)$$

Ở đây:  $v_c$  là tốc độ gió giới hạn (cut-off). Từ biểu thức (2.3), ngoại trừ  $\alpha = 1$ , RACE mô tả mối quan hệ phi tuyến giữa  $\tilde{r}_c$  và  $v_{\max}$ . Cũng như ACE, đơn vị của RACE sẽ là Joule/kg, hoặc knot<sup>2</sup>, hoặc m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> giống như ACE.

+ *Chỉ số RPDI*

Cũng như chỉ số RACE, nhóm tác giả Yu và Chiu (2012) [146] tiếp tục hiệu chỉnh chỉ số PDI với lý do tương tự ACE, tuy nhiên kể từ năm 2012 đến nay chưa tìm thấy công trình nào áp dụng chỉ số này để đánh giá diễn biến bão được công bố. Sự hiệu chỉnh chỉ số PDI cũng dựa trên cấu trúc xoáy gió Rankine, dẫn đến biểu thức như sau:

$$RPDI = \sum_1^N \sum_{t_{oi}}^{t_{fi}} \left( \frac{1}{\tilde{r}_c^2} \left[ \frac{2}{5} + \frac{2\tilde{r}_c^{(2-3\alpha)} - 2}{2-3\alpha} \right] v_{\max}^3 \right) \Delta t \quad (2.5)$$

Ở đây: các ký hiệu được sử dụng trong phương trình (2.5) là giống với phương trình (2.3), đơn vị của RPDI là m<sup>3</sup>/s<sup>2</sup> cũng giống như PDI.

Trong phương pháp tính RACE và RPDI hai đại lượng cần xác định đó là hệ số ( $\alpha$ ) và ( $\tilde{r}_c$ ). Mặc dù phương pháp có thể tùy chọn về giá trị  $V_c$  theo hình tròn nhưng  $v_c = 35\text{knot}$  được đề xuất là tốc độ tương đương cường độ bão nhiệt đới. Trên cơ sở  $V_{\max}$  và bán kính tại tốc độ gió 35knot của JTWC nhóm tác giả xây dựng mối quan hệ dạng hàm mũ và đã xác định được hệ số  $\alpha \approx 0.51$  cho khu vực TBTBD để tính toán ( $\tilde{r}_c$ ) theo công thức 2.4.

+ Ngày có bão

Theo Kim và ctv (2013) [86], tổng số ngày có bão (NCB) được xác định theo công thức sau:

$$\text{NCB} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^N \sum_{t_{si}}^{t_{ei}} \Delta t \quad (2.6)$$

Trong đó  $\Delta t$  là các khoảng thời gian được ghi trong bộ số liệu quan trắc bão, cứ sau 6 giờ được mặc định trong cả bộ số liệu của JTWC và JMA,  $t_{si}$  và  $t_{ei}$  là thời gian bắt đầu và kết thúc sự tồn tại của bão (i) trong Biển Đông. Hệ số 24 trong biểu thức được sử dụng để chuyển đổi tổng số giờ bão thành tổng số ngày có bão. Các đặc trưng bão cũng như chỉ số năng lượng bão theo tháng được tính toán và trình bày trong chương 3 và 4.

+ Ý nghĩa của chỉ số năng lượng bão

Chỉ số năng lượng bão thể hiện “hoạt động tổng thể” của mùa bão. Thuật ngữ “tổng thể” là chỉ cường độ và thời gian tồn tại chung của các cơn bão nhiệt đới. Như vậy trong mùa có một số cơn bão rất mạnh, số ngày bão hoạt động dài có thể dẫn đến chỉ số năng lượng bão cao hơn, hàm ý nguy cơ tác động lớn hơn so với trong năm có nhiều cơn bão yếu, hoạt động ngắn ngày hơn. Ưu điểm của các chỉ số năng lượng bão là thêm trọng số về bão có cường độ mạnh, hữu ích trong tính toán tương quan và hồi quy với các biến khí hậu khác vì nó là biến liên tục và thích hợp cho đánh giá ảnh hưởng của biến khí hậu đến cường độ bão. Phương pháp tính không phụ thuộc vào bước thời gian và là một đặc trưng để so sánh các cơn bão với nhau và qua các mùa khác nhau.

### 2.2.2 Phương pháp phân tích xu thế bão

Xu thế tuyến tính được sử dụng để khảo sát biến đổi của các đặc trưng bão trên Biển Đông, hệ số ( $b_1$ ) của phương trình hồi quy tuyến tính đơn biến theo thời gian cho biết tính chất của xu thế biến đổi tăng hay giảm, trị số tuyệt đối của  $b_1$  càng lớn thì mức độ biến đổi càng nhanh. Hệ số tương quan của các đặc trưng bão với thời gian không chỉ cho thấy xu thế biến đổi tăng hay giảm theo thời gian mà còn thể hiện mức độ ý nghĩa thống kê của xu thế biến đổi [21], [25], [26]. Phương trình hồi quy tuyến tính và hệ số tương quan theo thời gian được tính như sau:

Lập phương trình xu thế theo phương pháp bình phương tối thiểu:

$$y_t = b_0 + b_1 t \quad (2.7)$$

Ở đây,  $y_t$  là chuỗi các đặc trưng của bão (như số cơn bão, ACE),  $n$  là số năm và  $t$  là thời gian theo các năm ( $t=1, \dots, n$ ), hệ số  $b_1$  được xác định:

$$b_1 = \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)(t - \bar{t})}{\sum_{t=1}^n (t - \bar{t})^2} \quad (2.8)$$

$$b_0 = \bar{y}_t - b_1 \bar{t} \quad (2.9)$$

Các đặc trưng thu được từ phương trình xu thế bao gồm:

- + Tốc độ xu thế:  $b_1$ .
- + Góc xu thế:  $b_0$ .
- + Mức tăng hay giảm trong thời kỳ nghiên cứu:

$$D = b_1 n \quad (2.10)$$

- + Hệ số tương quan giữa biến  $y_t$  và thời gian  $t$  ( $r_{yt}$ )

$$r_t = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (t - \bar{t})(y_t - \bar{y}_t)}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (t - \bar{t})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2}} \quad (2.11)$$

Mức độ xu thế biến đổi của các đặc trưng của bão được đánh giá dựa trên kiểm nghiệm độ lớn của hệ số tương quan  $r_t$  [4], [20], [21], [26].

Để kiểm nghiệm độ lớn của  $r_t$ , ta đặt giả thiết  $H_0$ :

$$H_0: r = 0 \quad (2.12)$$

Khi

$$\begin{cases} r-0 \geq d, r \text{ được thừa nhận là đáng kể} \\ r-0 < d, r \text{ được thừa nhận là không đáng kể} \end{cases} \quad (2.13)$$

d phải bảo đảm sao cho:

Khi  $H_0$  đúng

$$P\{|r-0|\} \geq d = \alpha \quad (2.14)$$

Theo lý thuyết xác suất thống kê, biến  $t$  với:

$$t = \frac{r}{\frac{\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n-2}}} \quad (2.15)$$

Cho nên tiêu chuẩn 2.14 trở thành:

$$\begin{cases} |t| \geq t_\alpha, \text{ chấp nhận } r \text{ là đáng kể} \\ |t| < t_\alpha, \text{ bác bỏ } r \text{ lớn đáng kể} \end{cases} \quad (2.16)$$

Với điều kiện khi  $H_0$  đúng

$$P\{|t| \geq t_\alpha\} = \alpha \quad (2.17)$$

Trong đó  $t_\alpha$  được tra bảng phân bố Student, hệ số tương quan với dung lượng mẫu ( $n$ ) là lớn đáng kể khi thỏa mãn tiêu chuẩn tương ứng với  $\alpha = 5\%$  và  $1\%$ . Dung lượng mẫu 37 năm bậc tự do ( $n-2=35$ ),  $t_{(\alpha=0.05, 35)}=2,03$  ( $t_{(\alpha=0.01, 35)}=2,723$ ), tương đương với  $r = \pm 0,33$  ( $\pm 0,42$ ) đạt độ tin cậy  $95\%$  ( $99\%$ ).

### 2.2.3 Phương pháp phân tích tương quan và so sánh hai kỳ vọng

Hệ số tương quan được sử dụng để xác định mối quan hệ tuyến tính giữa hai biến như quan hệ tương quan giữa các đặc trưng bão là số lượng bão, hay ACE,..(biến  $y$ ) với trường giá trị của các yếu tố môi trường như nhiệt độ mặt nước biển, tốc độ gió kinh và vĩ hướng, xoáy tương đối, độ tán, độ đứt gió thẳng đứng, bức xạ sóng dài và vận tốc thẳng đứng (biến  $x$ ) được xác định trên từng điểm lưới ( $i, j$ ) với  $i$  và  $j$  là theo kinh vĩ tuyến. Khi đó hệ số tương quan  $r_{ij}$  sẽ được xác định theo công thức sau (Chu Thị Thu Hường, 2015 [12]):

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_{ijt} - \bar{x}_{ijt})(y_t - \bar{y}_t)}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_{ijt} - \bar{x}_{ijt})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y}_t)^2}} \quad (2.18)$$

Trong đó:  $y_t$  và  $x_{ijt}$  là giá trị của  $y$  và  $x$  trong năm  $t$  ( $t=1, \dots, n$ ).  $\bar{y}_t$  và  $\bar{x}_{ijt}$  là giá trị trung bình của  $x_{ijt}$  hay  $y_t$ .

Tương tự như  $r_t$ , đánh giá độ tin cậy thống kê của  $r_{ij}$  dựa trên kiểm nghiệm Student (áp dụng công thức 2.12 đến công thức 2.17 cho từng điểm lưới  $ij$ ).

Tại mỗi điểm lưới trong không gian  $(i, j)$  có thể xác định chuỗi thời gian của các yếu tố môi trường có cùng thời gian  $t$  (37 năm từ 1982-2018 trong chương 3 hoặc 29 năm từ 1982-2010 trong chương 4); có thể là trung bình các tháng mùa xuân (tháng 3 đến tháng 5) hoặc các tháng trong mùa bão (tháng 6-11),... Tập hợp các điểm lưới có hệ số tương quan ( $r_{ij}$ ) tạo nên bản đồ về hệ số tương quan. Đây là bản đồ phân bố không gian của hệ số tương quan theo thời gian. Phân tích bản đồ sẽ cho phép chỉ ra được những vùng mà ở đó quan hệ tương quan có ý nghĩa giữa các biến môi trường đối với các biến động của bão.

Ngoài ra, hệ số tương quan còn được sử dụng để xác định mối quan hệ tương quan giữa các đặc trưng bão với các yếu tố môi trường trung bình cho một vùng được định nghĩa nào đó, có nghĩa là trung bình các yếu tố môi trường với nhiều điểm lưới  $(i, j)$  để tạo nên chuỗi có cùng thời gian  $t$  như mối quan hệ tương quan giữa ACE với JSSTG, ISSTG và SSSTG trong chương 3;...

Để xem xét sự khác nhau trung bình của hai chuỗi số liệu, ví dụ như trung bình số cơn bão trên ô lưới được xác định trong các năm ACE cao và thấp, hay sự khác nhau của trung bình tốc độ gió vĩ hướng mực 200mb hay độ cao địa thế vĩ mực 200 mb, 850 mb trong năm ACE cao (gọi là chuỗi  $x_{1ij}$ ) và năm ACE thấp (gọi là chuỗi  $x_{2ij}$ ) trên từng điểm lưới  $(i, j)$  với  $i, j$  là phương kinh vĩ tuyến. Sự khác nhau trung bình của hai chuỗi với phương sai không bằng nhau được xác định (Vũ Văn Thăng, 2016 [27]; Wilks và ctv, 2006 [135]):

Giả thiết cần kiểm nghiệm là:  $H_0: \bar{\mu}_{1ij} = \bar{\mu}_{2ij}$ , vì không có  $\bar{\mu}_{1ij}$  và  $\bar{\mu}_{2ij}$  nên ta

thay bằng  $\bar{x}_{1ij}$  và  $\bar{x}_{2ij}$ :

$$\bar{\mu}_{1ij} = \bar{x}_{1ij} = \frac{1}{n} \sum_1^{n_1} x_{1ij} \text{ và } \bar{\mu}_{2ij} = \bar{x}_{2ij} = \frac{1}{n} \sum_1^{n_2} x_{2ij} \quad (2.19)$$

Từ đó ta có:  $H_0: \bar{x}_{1ij} = \bar{x}_{2ij}$  hay  $H_0: \bar{x}_{1ij} - \bar{x}_{2ij} = 0$

Chọn giới hạn tin cậy ban đầu  $d$  sao cho với xác suất sai lầm loại I

( $\alpha$ ) cho trước ta có:

$$P\{\bar{x}_{1ij} - \bar{x}_{2ij}\} \geq d = \alpha \quad (2.20)$$

Nếu đặt:

$$Z = (\bar{x}_{1ij} - \bar{x}_{2ij}) / \sqrt{(s_{1ij}^2/n_{1ij} + s_{2ij}^2/n_{2ij})} \quad (2.21)$$

$$Z_\alpha = d / \sqrt{(s_{1ij}^2/n_{1ij} + s_{2ij}^2/n_{2ij})} \quad (2.22)$$

Ở đây:  $\bar{x}_{1ij}$ ,  $\bar{x}_{2ij}$  là trung bình của hai chuỗi  $x_{1ij}$  và  $x_{2ij}$ . Dung lượng mẫu  $n_{1ij}$  và  $n_{2ij}$  tương ứng của hai chuỗi. Độ lệch tiêu chuẩn tương ứng với hai chuỗi là  $s_{1ij}$ ,  $s_{2ij}$  được xác định:

$$s_{1ij} = s_{1ij}^* = \sqrt{\frac{1}{n_{1ij}-1} \sum_1^{n_{1ij}} (x_{1ij} - \bar{x}_{1ij})^2} \quad (2.23)$$

$$s_{2ij} = s_{2ij}^* = \sqrt{\frac{1}{n_{2ij}-1} \sum_1^{n_{2ij}} (x_{2ij} - \bar{x}_{2ij})^2} \quad (2.24)$$

Theo Wilks (2006) [135], đối với cỡ mẫu dài vừa phải có phân bố chuẩn Gaussian  $N(0, 1)$ , đối với cỡ mẫu ngắn phân bố của  $Z$  là xấp xỉ theo Student với bậc tự do  $t_\alpha = \min(n_1, n_2) - 1$ . Trong nghiên cứu này để đánh giá sự khác nhau của các yếu tố môi trường đã lựa chọn 6 năm ACE cao và 5 năm ACE thấp (chương 3). Vì dung lượng mẫu năm ACE cao (thấp) ngắn, do đó sẽ áp dụng kiểm nghiệm theo phân bố Student với định nghĩa  $Z = t$  và  $Z_\alpha = t_\alpha$ . Như vậy:

Khi  $H_0$  đúng,

$$P\{|t| \geq t_\alpha\} = \alpha \quad (2.25)$$

Và tiêu chuẩn kiểm nghiệm là:

$$\begin{cases} |t| \geq t_{\alpha}, & \text{thì bác bỏ } H_0 \\ |t| < t_{\alpha}, & \text{thì chấp nhận } H_0 \end{cases} \quad (2.26)$$

Ngưỡng của  $t_{\alpha=5\%}$  được tra bảng phân bố Student.

Kết quả tính toán là tập hợp các điểm lưới thể hiện sự chênh lệch về trung bình hai chuỗi; ví dụ như số lượng bão được xác định trên ô lưới kinh vĩ, gió vĩ hướng hoặc độ cao địa thế vị các tầng đối lưu (mức 850mb, 500mb, 200mb) trong năm ACE cao và thấp hoặc trong năm JSSTG cao và thấp. Mức độ tin cậy về sự khác nhau của chúng trên từng điểm lưới (i,j) được xác định. Đây là bản đồ phân bố không gian về chênh lệch của trung bình hai chuỗi. Phân tích bản đồ có thể xác định phạm vi chênh lệch âm và dương, trên cơ sở đó nhận dạng và phân tích sự khác nhau của yếu tố môi trường quy mô lớn có thể liên quan đến biến động hàng năm của bão và ACE trên Biển Đông.

#### **2.2.4 Phương pháp phân tích thành phần chính**

Để nắm bắt mối quan hệ giữa hoạt động bão và môi trường quy mô lớn, phương pháp phân tích tương quan và thành phần chính (PCA) hay còn gọi là phương pháp hàm trực giao thực nghiệm (EOF) được sử dụng khá phổ biến trong khí tượng nói chung và hoạt động của APSJ nói riêng (Lin và ctv, 2004 [100]; Zhang và ctv, 2008 [148], Huang. D và ctv, 2014 [75], Yan và ctv, 2019 [143]). Có thể khái quát về phương pháp như sau:

Ta xem xét bản đồ số liệu tại mỗi điểm lưới (1,...,M), theo thời gian (1, ...,N). Tức là, có M chuỗi thời gian số liệu có dung lượng mẫu là N. Trước tiên, chuỗi số liệu sẽ được chuẩn sai hoặc chuẩn hóa. Chúng ta xây dựng ma trận dữ liệu F với M hàng và N cột (Silvia A. Venegas, 2001 [116]).

Ma trận dữ liệu F được sử dụng để xác định ma trận hiệp phương sai  $R_{FF}$  bằng cách nhân ma trận F với chuyển vị  $F^T$ :  $R_{FF} = F * F^T$

Chúng ta cần giải:

$$R_{FF} * E = E * \Lambda \quad (2.27)$$

Tức là phân tích  $R_{FF}$  thành các ma trận  $\Lambda$  và  $E$ . Ở đây  $\Lambda$  là ma trận  $M \times M$  chứa các giá trị riêng  $\lambda_k$  của  $R_{FF}$ :

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_M \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Các giá trị riêng trong  $\Lambda$  thường được sắp xếp theo thứ tự giảm dần, sao cho  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_M$ . Kích thước ma trận  $\Lambda$  là  $M \times M$  thường chỉ có  $K$  giá trị riêng đầu tiên  $\lambda_k$ ,  $k = 1 \dots K$  khác 0, trong đó  $K \leq \min(N, M)$ .

Ma trận vuông  $E$  có kích thước  $M \times M$ . Các vector cột  $E^k$  của nó là các vector riêng của  $R_{FF}$  tương ứng với các giá trị riêng  $\lambda_k$ :

$$E = \begin{bmatrix} E_1^1 & E_1^2 & \dots & E_1^M \\ E_2^1 & E_2^2 & \dots & E_2^M \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_M^1 & E_M^2 & \dots & E_M^M \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$   
 $E^1 \quad E^2 \quad E^M \rightarrow \text{Vector riêng } E^k$

Mỗi giá trị riêng  $\lambda_k$  khác không trong ma trận  $\Lambda$  được kết hợp vector riêng  $E_k$  trong ma trận  $E$ . Do đó, chỉ vector riêng  $K$  được sử dụng ứng với  $K$  giá trị riêng khác 0. Như vậy, kích thước của ma trận  $E$  là  $M \times K$ , trong đó  $M$  là vị trí không gian và  $K$  là EOF.

Ma trận vector riêng  $E$  có thuộc tính  $E * E^T = E^T * E = I$ , trong đó  $I$  là ma trận đơn vị. Điều này có nghĩa là các vector riêng không tương quan theo không gian, chúng trực giao với nhau. Mỗi vector riêng  $E^k$  đại diện cho kiểu EOF.

Chuỗi theo thời gian của EOF thứ  $k$ ,  $k^{\text{th}}$  (nghĩa là, kiểu  $E^k$  theo thời gian) được cho bởi chuỗi thời gian  $A^k(t)$ , có được bằng cách chiếu chuỗi dữ liệu ban đầu  $F_m(t)$  lên vector riêng  $E^k$  và tính tổng tất cả các vị trí  $m$ :

$$A^k(t) = \sum_{m=1}^M E_m^M F_m(t) \quad (2.30)$$

Trong đó  $m = 1 \dots M$ ,  $t = 1 \dots N$ , và  $k = 1 \dots K$  tính toán các EOF. Ma

trận  $A$  thu được bằng cách nhân các ma trận  $E^T$  và  $F$ .

$$A = E^T * F \quad (2.31)$$

Trong đó  $E^T$  có kích thước là  $K \times M$ , kích thước của  $F$  là  $M \times N$ , và do đó kích thước của  $A$  là  $K \times N$ . Các hàng trong ma trận  $A$  là chuỗi thời gian có độ dài  $N$ , đó là số bước thời gian trong chuỗi thời gian ban đầu. Người ta gọi chúng là các thành phần chính hoặc  $PC_s$ , hoặc chuỗi thời gian vector riêng, hoặc điểm scores. Cũng giống như kiểu không gian  $E^k$  là trục giao trong không gian, các thành phần chính  $A^k$  là trục giao theo thời gian.

Mỗi giá trị riêng  $\lambda_k$  tỷ lệ với phần trăm phương sai của trường  $F$  được tính theo  $k$ . Tỷ lệ phần trăm này được tính là:

$$\% \text{ variance mode } k = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^K \lambda_i} * 100 \quad (2.32)$$

Đối với phân tích thành phần chính, gói hàm trục giao thực nghiệm từ phần mềm CDO (Climate Data Operators) do “Viện Khí tượng Max Planck” (Max Planck Institute for Meteorology) cung cấp được nghiên cứu sử dụng. Cụ thể EOF được xác định trên miền kinh độ, vĩ độ ( $25-60^\circ N$ ,  $80-150^\circ E$ ), với tối đa 37 eigenvector và các thành phần chính có thể chiếm hơn 99% tổng phương sai. PCA được áp dụng cho thành phần gió vĩ hướng 200 mb để tìm kiếm các cấu trúc hàm thực nghiệm liên quan đến biến động chủ đạo cho định nghĩa về sự thay đổi vị trí và cường độ của APSJ. Chi tiết về gói PCA do Viện Khí tượng Max Planck phát triển tại <https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/files>.

### **2.2.5 Phương pháp dự báo hạn mùa về năng lượng bão**

Đối với phương trình thống kê được xây dựng dựa trên các mối quan hệ thống kê giữa ĐTDB và NTDB từ sản phẩm của dự báo mô hình toàn cầu, sau đó sản phẩm dự báo của mô hình toàn cầu được sử dụng làm NTDB để xác định ĐTDB, khái niệm thường được gọi là “thống kê - động lực” (dynamical–statistical model), do đó khái niệm này được sử dụng nhằm để chỉ phương trình thống kê dự báo ACE được xây dựng dựa trên sự kết hợp của hai phương pháp thống kê và động lực (Kim và ctv, 2013 [86]; Li. X và ctv, 2013 [99]).

Phương pháp toán học xây dựng phương trình dự báo nói chung dựa trên hồi tuyến tính đơn biến và đa biến chi tiết được trình bày trong giáo trình của các Phan Văn Tân (2007) [20], Hoàng Đức Cường và Nguyễn Văn Hiệu (2012) [4]. Sau đây sẽ trình bày khái quát về phương pháp xây dựng phương trình dự báo ACE dựa trên hồi quy tuyến tính đơn và nhiều biến như sau:

*a) Hồi quy tuyến tính đơn biến*

Các hệ số hồi quy có thể thu được bằng cách áp dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất cho phương trình:

$$\hat{y} = a_0 + a_1x \quad (2.33)$$

Ở đây,  $a_0, a_1$  là hệ số hồi quy

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.34)$$

$$b_0 = \bar{y}_i - a_1 \bar{x} \quad (2.35)$$

Phương pháp hồi quy một biến sẽ được áp dụng trong việc xây dựng các phương trình dự báo ACE trong chương 4: Với  $y$  là ACE (ĐTDB) và  $x_i$  là nhân tố dự báo (NTDB) như JSSTG, JSST và U200mb.

*b) Hồi quy tuyến tính nhiều biến*

Hồi quy tuyến tính biến  $Y$  nào đó theo các biến  $X_j$  ( $j=1, \dots, m$ ) chính là xây dựng mối quan hệ giữa biến  $Y$  với tổ hợp tuyến tính của các biến  $X_j$  bằng phương pháp bình phương tối thiểu. Dạng tổng quát biểu thị mối quan hệ này được thể hiện qua phương trình sau:

$$\hat{y}_1 = a_0 + \sum_{j=1}^m a_j x_j \quad (2.36)$$

Ở đây:  $a_0, a_j$  ( $j=1, \dots, m$ ) là những hệ số hồi quy được ước lượng theo số liệu thực nghiệm.  $Y$  là ACE (đối tượng cần dự báo);  $X_j$  là JSSTG, JSST và U200mb. Các hệ số hồi quy này được xác định theo phương pháp bình phương tối thiểu sao cho tổng bình phương độ lệch giữa quan trắc  $y$  và ước lượng  $\hat{y}_1$  đạt cực tiểu. Điều đó có nghĩa là xác định các hệ số  $a_j$  ( $j=0, 1, \dots, m$ ) sao cho:

$$F(a_1, \dots, a_M) = \sum_{i=1}^n \left[ y_{1i} - \left( a_0 + \sum_{j=1}^m a_j x_{ij} \right) \right]^2 \Rightarrow \min \quad (2.37)$$

Điều kiện cần và đủ để  $F(a_1, \dots, a_m)$  đạt cực tiểu là các đạo hàm riêng của  $F$  theo các  $(a_j)$  đồng thời phải triệt tiêu. Điều đó cũng có nghĩa là các hệ số  $a_j$  phải thoả mãn hệ đại số tuyến tính với  $(m)$  ẩn là  $a_1, \dots, a_m$ . Giải hệ phương trình sẽ xác định được các hệ số hồi quy  $(a_j)$ .

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp hồi quy cả đơn biến và nhiều biến trong việc xây dựng các phương trình dự báo ACE trong chương 4: Với  $Y$  là tổng ACE từ tháng 5-12 và từ tháng 8-12 và  $X_j$  là JSSTG, JSST và U200mb.

*c) Đánh giá chất lượng của phương trình hồi quy*

- Hồi quy tuyến tính đơn:

Phương trình hồi quy  $\hat{y}$  được xây dựng trên cơ sở thực nghiệm, tuy nhiên chất lượng của nó phụ thuộc và mức độ quan hệ tuyến tính giữa  $X$  và  $Y$ . Để khẳng định khả năng có thể dùng được các phương trình này cần xác định  $Y$  có thật sự phụ thuộc tuyến tính vào  $X$  hay không, tức là giả thiết:

$$H_0: a_1 = 0$$

Nếu  $H_0$  đúng thì hồi quy không dùng được. Muốn vậy lập biến mới:

$$f = \frac{U(n-2)}{Q} \quad (2.38)$$

Trong đó:  $U = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$  là tổng bình phương các biến sai hồi quy,  $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$  là tổng bình phương các biến sai thặng dư.

Nếu giả thiết  $H_0$  đúng thì  $f$  có phân bố Fisher với  $(1, n-2)$  bậc tự do:  $F \in F(1, n-2)$ . Từ đó với xác suất phạm sai lầm loại I  $(\alpha)$  cho trước ta có:

$$P(f \geq F_\alpha) = \alpha$$

Và chỉ tiêu kiểm nghiệm là:

Nếu  $f \geq F_\alpha$  thì bác bỏ  $H_0$ , tức là phương trình hồi qui có thể dùng được.

Nếu  $f < F_\alpha$  thì chấp nhận  $H_0$ , tức là không thể sử dụng phương trình hồi qui để mô tả quan hệ tuyến tính giữa  $X$  và  $Y$ .

- Hồi quy nhiều biến:

Phương trình (2.37) là ước lượng tuyến tính của  $Y$  theo  $X_1, \dots, X_m$  trong đó hệ số  $a_j$  ( $j=1, \dots, m$ ) được tìm trên cơ sở tập số liệu ban đầu. Tuy nhiên chất lượng của nó phụ thuộc và mức độ quan hệ tuyến tính giữa  $Y$  và các biến  $X_1, \dots, X_m$  ta cần kiểm tra giả thiết hệ số tương quan bội  $R_{1.23..m} = 0$ , thực chất giả thiết tương đương với  $a_1 = a_2 = \dots = a_m = 0$ .

Để kiểm nghiệm  $R_{1.23..m} = 0$  ta lập biến mới:

$$f = \frac{U/(m-1)}{Q/(n-m)} \quad (2.39)$$

Trong đó:  $U = \sum_t^n (\hat{y}_{1i} - \bar{y}_1)^2$  là tổng bình phương các biến sai hồi quy,  $Q = \sum_t^n (y_{1i} - \hat{y}_{1i})^2$  là tổng bình phương các biến sai thặng dư.

Nếu giả thiết  $H_0$  đúng thì  $f$  có phân bố Fisher với  $(m-1, n-m)$  bậc tự do. Từ đó với xác suất phạm sai lầm loại I ( $\alpha$ ) và chỉ tiêu kiểm nghiệm sẽ là:

Nếu  $f \geq F_\alpha$  thì bác bỏ  $H_0$ , tức là phương trình hồi qui có thể dùng được, sự phụ thuộc tuyến tính giữa  $Y$  và các  $X_1, \dots, X_m$  là có ý nghĩa.

Nếu  $f < F_\alpha$  thì chấp nhận  $H_0$ , tức là không thể sử dụng, phương trình hồi qui để mô tả sự phụ thuộc tuyến tính giữa  $Y$  và  $X_1, \dots, X_m$  là không có ý nghĩa.

d) *Đánh giá về sai số dự báo*

Độ chính xác của dự báo phương trình thống kê được đánh giá dựa trên các chỉ tiêu (Nguyễn Văn Thắng và ctv, 2005 [24]; Hoàng Đức Cường và ctv, 2013 [5]; Phan Văn Tân và ctv, 2010 [21]; Trần Quang Đức và ctv (2020) [8]):

+ Sai số trung bình:

$$ME = \frac{1}{N} \left[ \sum_1^N (f_i - O_i) \right] \quad (2.40)$$

Ở đây,  $O_i$  là ACE quan trắc và  $f_i$  là ACE dự báo,  $N$  là tổng số lần dự báo ( $i=1, \dots, N$ ). Sai số ME biểu thị sai số trung bình của phương trình dự báo so với quan trắc, ME cho biết thiên hướng sai số của giá trị dự báo lệch khỏi quan trắc nhưng không cho biết độ lớn của sai số. Nếu ME dương thì dự báo có xu hướng

cao hơn quan trắc, ngược lại ME âm thì phương trình thấp hơn quan trắc.

+ *Sai số tuyệt đối trung bình:*

Chỉ số này có dạng như sau:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |f_i - O_i| \quad (2.41)$$

Ở đây,  $O_i$  là ACE quan trắc và  $f_i$  là ACE dự báo,  $N$  là tổng số lần dự báo ( $i=1, \dots, N$ ). Dự báo là hoàn hảo nếu như giá trị MAE bằng 0, giá trị MAE càng nhỏ thì độ chính xác càng tăng. Chỉ số MAE cho biết biên độ trung bình của sai số nhưng không cho biết hướng của độ lệch

+ *Sai số quân phương:* Sai số quân phương được xác định như sau:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [f_i - O_i]^2} \quad (2.42)$$

Ở đây,  $O_i$  là ACE quan trắc và  $f_i$  là ACE dự báo,  $N$  là tổng số lần dự báo ( $i=1, \dots, N$ ). Dự báo là hoàn hảo nếu như giá trị RMSE bằng 0, giá trị RMSE càng nhỏ thì độ chính xác càng tăng và RMSE cũng không cho biết về hướng của độ lệch nhưng nhạy với các yếu tố bất thường. Nếu RMSE càng gần đến MAE thì có nghĩa mức độ lệch giữa số lần thử nghiệm hoặc số lần dự báo trong chuỗi số khảo sát càng gần tới hằng số. RMSE bằng MAE nghĩa là sai số trong tất cả trong các lần dự báo bằng một hằng số cho thấy sai số có tính hệ thống.

+ *Điểm kỹ năng bình phương trung bình (mean-square skill score):*

ME, MAE, RMSE chỉ phản ánh độ lệch giữa dự báo và quan trắc nhưng không cho biết liệu độ lệch có nằm trong giới hạn có thể chấp nhận được. Kỹ năng MSSS đưa ra so sánh giữa sai số dự báo và dao động khí hậu nền nhằm đánh giá mức độ có ý nghĩa của trị số sai số. Chỉ số này được tính toán như sau:

$$MSSS = 1 - \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - O_i)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (2.43)$$

Ở đây,  $O_i$  là ACE quan trắc và  $f_i$  là ACE dự báo,  $N$  là tổng số lần dự báo

( $i=1, \dots, N$ ),  $\bar{O}$  là trung bình của  $O_i$ . Trường hợp  $MSSS = 1$  khi sai số dự báo bằng 0, đây là trường hợp lý tưởng, dự báo là tuyệt đối và mức độ có thể chấp nhận được là 100%. Trường hợp  $MSSS$  dương, nghĩa là sai số dự báo nhỏ hơn dao động khí hậu nền, giá trị  $MSSS$  càng tiến đến một thì dự báo càng có ý nghĩa. Trường hợp  $MSSS$  nhận giá trị âm, nghĩa là sai số của dự báo lớn vượt quá cả sai số khí hậu, trường hợp này giá trị dự báo không có ý nghĩa.

c) *Đánh giá dự báo theo pha*

Vấn đề đánh giá dự báo ACE trên Biển Đông theo pha sẽ được thực hiện so sánh với dự báo của các Cơ quan nghiệp vụ trên thế giới. Dựa trên thông tin thống kê như trong bảng ngẫu nhiên để đánh giá sự phù hợp giữa hiện tượng xảy ra trong dự báo và quan trắc (Trần Quang Đức và ctv, 2020) [8].

*Bảng 2. 1. Bảng phân loại tần số theo pha dự báo*

		Quang trắc		
		$\Delta O \geq 0$	$\Delta O < 0$	Tổng
Dự báo	$\Delta F \geq 0$	H	F	H+F
	$\Delta F < 0$	M	CN	M+CN
	Tổng	H+M	F+CN	N

Trong Bảng 2.1:  $\Delta O = O_i - \bar{O}$ ;  $\Delta F = F_i - \bar{O}$ ,  $i$  là năm,  $\bar{O}$  là trung bình nhiều năm quan trắc (chuẩn khí hậu).  $\Delta O \geq 0$ ,  $\Delta F \geq 0$  tức là quan trắc bão nhiều hơn so với trung bình khí hậu và ngược lại.

$$+ \text{Xác suất dự báo đúng: } P_D = \frac{H+CN}{N} \quad (2.44)$$

$$+ \text{Xác suất dự báo sai: } P_F = \frac{F+M}{N} \quad (2.45)$$

Phương pháp về xu thế tuyến tính, bản đồ phân bố hệ số tương quan, sự khác biệt về trung bình của hai chuỗi số liệu và EOF sẽ được sử dụng cho phân tích diễn biến năng lượng bão và mối tương quan với nhiệt độ mặt nước biển, dòng xiết cận nhiệt đới được thể hiện trong chương 3 sau đây. Phương pháp phân tích tương quan và dự báo hạn mùa về ACE dựa trên các phương trình hồi quy tuyến tính đơn và nhiều biến sẽ được sử dụng trong chương 4.

### Chương 3.

## DIỄN BIẾN NĂNG LƯỢNG BÃO VÀ MỐI QUAN HỆ VỚI NHIỆT ĐỘ MẶT NƯỚC BIỂN, VỚI DÒNG XIẾT CẬN NHIỆT ĐỐI

### 3.1 Đặc điểm diễn biến của bão dựa trên chỉ số năng lượng bão

#### 3.1.1 *Biến trình năm và diễn biến hàng năm của các chỉ số năng lượng bão*

##### a) *Biến trình năm*

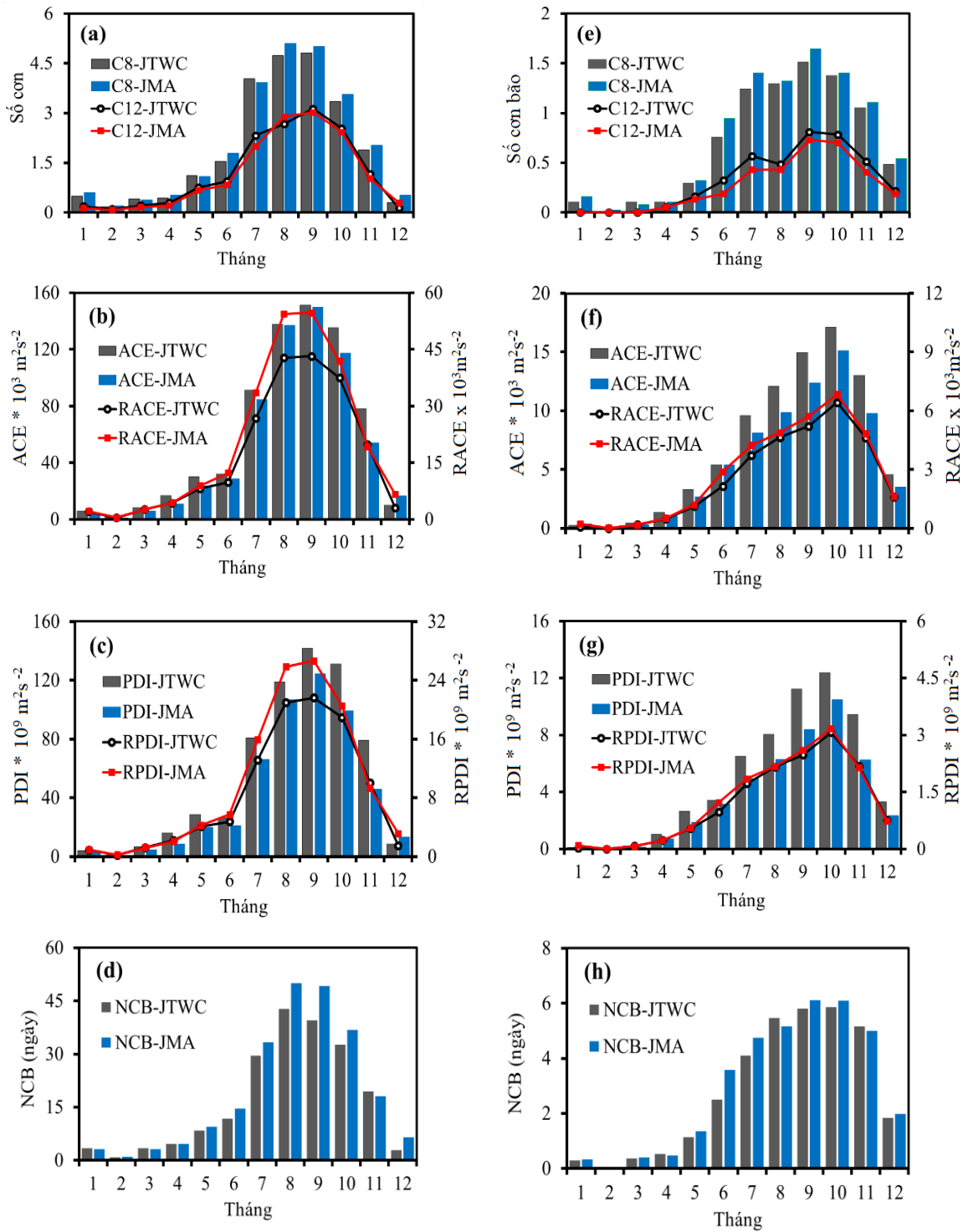
Để có bức tranh toàn cảnh về hoạt động bão trên Biển Đông so với toàn bộ khu vực TBTBD, do đó trong mục này sẽ phân tích thêm về các đặc trưng của bão trên khu vực TBTBD. Hình 3.1 thể hiện biến trình của các đặc trưng bão trong khu vực TBTBD và Biển Đông bao gồm số lượng bão, bão cường độ gió trên cấp 12, NCB và các chỉ số năng lượng bão cho thấy:

Sự phân bố của các đặc trưng của bão nhất quán trên toàn bộ khu vực TBTBD và Biển Đông cho cả bộ số liệu của JTWC và JMA. Hoạt động của bão trên khu vực TBTBD và Biển Đông có thể diễn ra trong tất cả các tháng, tuy nhiên bão hoạt động trên Biển Đông chủ yếu trong tháng 5 đến tháng 12 và tập trung vào các tháng mùa hè với trung bình mỗi tháng khoảng từ 1 đến 2 cơn. Mùa hoạt động mạnh với số cơn bão phổ biến trên Biển Đông dường như bắt đầu sớm hơn vào tháng 6 đến tháng 11, trong khi mùa hoạt động mạnh nhất trên toàn bộ khu vực TBTBD là từ tháng 7 đến tháng 10. Thêm nữa, thời gian tập trung cao điểm của năng lượng bão trên khu vực TBTBD khoảng tháng 8 đến tháng 9, trong khi đó trên Biển Đông muộn hơn khoảng tháng 9 tháng 10.

Phân bố số cơn bão cũng có sự khác nhau đáng kể với các chỉ số năng lượng bão trên Biển Đông; phân bố của số cơn bão đồng đều từ tháng 7 đến tháng 10 với đỉnh cao trong tháng 8 và tháng 9, trong khi đỉnh cao của chỉ số năng lượng bão muộn hơn trong tháng 9 và tháng 10. Số lượng bão trên cấp 12 ở Biển Đông thấp hơn vào tháng 5 đến tháng 8 và cao hơn vào tháng 9 đến tháng 10 khá tương đồng với chỉ số năng lượng bão trên Biển Đông.

Nhìn chung, biến trình năm của các chỉ số năng lượng bão ít có sự khác biệt và khá tương đồng với bão cường độ mạnh cũng như thời gian tồn tại của

bão (NCB), tuy nhiên khác biệt đáng kể với số cơn bão.



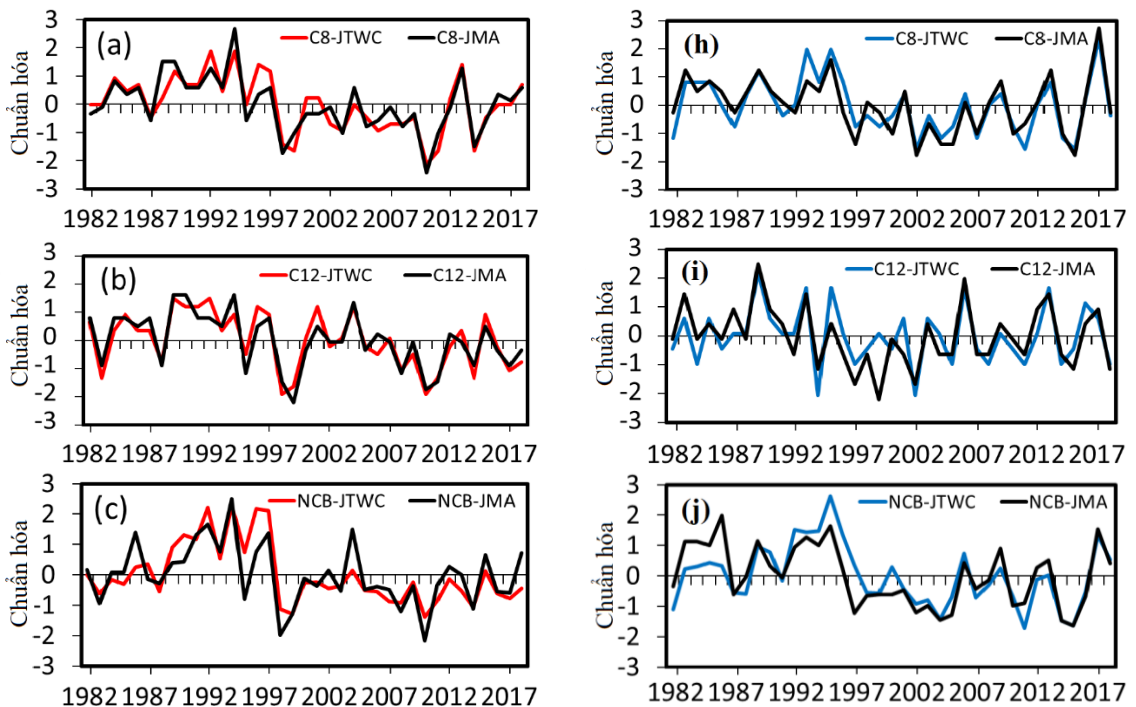
Hình 3. 1. Biến trình năm của các đặc trưng của bão trên khu vực TBTBD, giai đoạn 1982-2018 từ số liệu của JTWC và JMA (a-d). Từ (e - h) tương tự như (a - d) nhưng đối với các đặc trưng bão trên Biển Đông. Ký hiệu “C8-JTWC và C8-JMA” là số cơn bão được xác định từ số liệu của JTWC và JMA, tương tự như vậy cho các đặc trưng ACE, PDI, RPDI, NCB.

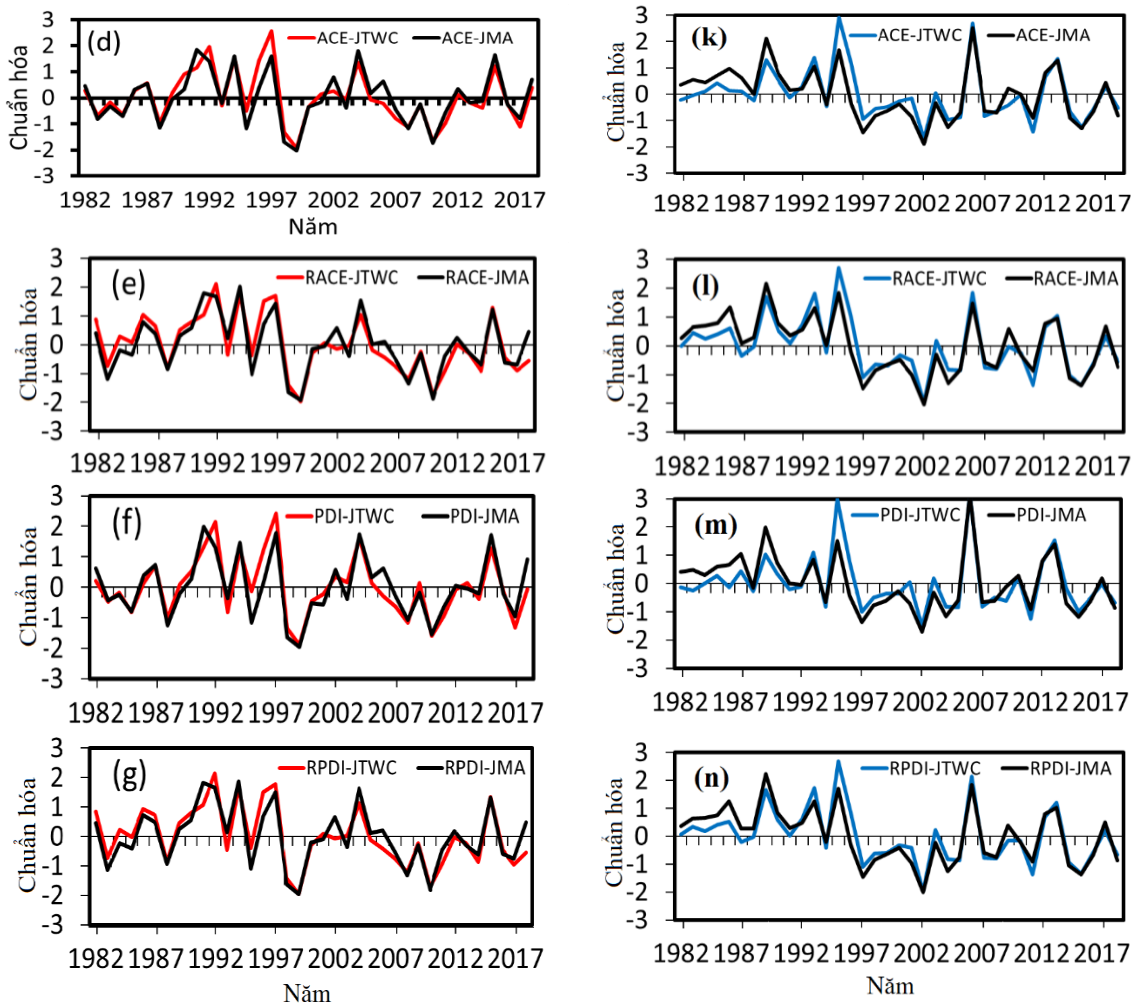
*b) Diễn biến hàng năm của các đặc trưng của bão*

Diễn biến hàng năm của các đặc trưng của bão được thể hiện trong Hình 3.2 cho thấy một số đặc điểm khác biệt về biến động hàng năm đối với hoạt động của bão trên Biển Đông và khu vực TBTBD. Cụ thể, số cơn bão cao trên khu vực TBTBD trong giai đoạn 1992-1994 hay chỉ số năng lượng bão cao năm 1992, 1997 (Hình 3.2a), trong khi trên Biển Đông cao trong giai đoạn 1993-1996 hay chỉ số năng lượng cao năm 1989, 1995 (Hình 3.2h). Tương tự, số cơn bão trên Biển Đông cao hơn trung bình nhiều năm trong các năm 2016-2017, trong khi trên khu vực TBTBD xấp xỉ trung bình nhiều năm.

Biến động hàng năm giữa các đặc trưng bão trên Biển Đông cũng có sự khác nhau đáng kể như số lượng bão năm 2017 cao hơn trung bình nhiều năm nhưng chỉ số năng lượng bão tương ứng gần bằng trung bình nhiều năm. Tương tự, số lượng bão trên Biển Đông tương đối thấp trong năm 2006 nhưng chỉ số năng lượng bão cao hơn gần 3 độ lệch chuẩn.

Diễn biến hàng năm của các chỉ số năng lượng bão ít có sự khác biệt và khá tương đồng về dao động trên hai bộ số liệu của JMA và JTWC.





Hình 3. 2. Diễn biến hàng năm của các đặc trưng bão trên khu vực TBTBD từ số liệu JTWC và JMA (a-g). Từ (h-m) tương tự như (a-g) nhưng đối với bão trên Biển Đông.

Chỉ số ACE và PDI được quan tâm nhiều hơn vì trọng số cao hơn cho bão cường độ mạnh với hàm ý quan tâm nhiều đến nguy cơ tác động của chúng. Chỉ số RACE, RPDI có phương pháp tính phức tạp hơn ACE, PDI và chưa được ứng dụng rộng rãi kể từ khi hai chỉ số này được đề xuất. Đồng thời biến trình năm và diễn biến hàng năm cho thấy RACE, RPDI ít có sự khác biệt với ACE và PDI. Thực tế ACE đang được ứng dụng rộng rãi không những trong nghiên cứu những năm gần đây mà còn trong dự báo nghiệp vụ. Thêm nữa, chúng đang được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực bảo hiểm, chứng khoán, đầu tư tài chính liên quan đến rủi ro do thiên tai. Để tập trung phân tích sâu hơn, do đó nghiên cứu sử dụng ACE cho những phân tích tiếp theo sau đây.

### **3.1.2 Đặc điểm diễn biến của ACE trên Biển Đông**

#### **a) Đặc trưng của ACE trên Biển Đông**

Mục 3.1.1 đã phân tích biến trình năm của các chỉ số năng lượng bão nói chung, do đó trong phần này sẽ phân tích thêm về đặc trưng của bão trong một số năm ACE cao và thấp điển hình; Các năm có ACE cao bao gồm sáu năm (1986, 1989, 1993, 1995, 2006 và 2013) và năm năm ACE thấp (1997, 2002, 2004, 2011 và 2015). Các năm ACE cao (thấp) được xác định dựa trên trị số chuẩn hóa  $\pm 1$  của ACE hàng năm. Kết quả được dẫn ra ở bảng 3.1 cho thấy:

- So với trung bình nhiều năm, trong các năm ACE cao (ACE cao), trung bình số cơn bão và bão trên cấp 12 trong mỗi tháng mùa bão (tháng 5-12) cao hơn khoảng 0,3-0,7 cơn, cả năm khoảng 2,4-2,7 cơn. Tương tự, trong các năm ACE thấp (ACE thấp), trung bình số cơn bão và bão trên cấp 12 trong mỗi tháng mùa bão thấp hơn phổ biến khoảng 0,4-0,9 cơn, cả năm khoảng 1,5-3,1. Độ lệch tiêu chuẩn (ĐLC) của bão cao hơn trong các tháng mùa bão phổ biến từ 0.8-0.9 cơn, thấp hơn trong các tháng 1-4. Trong các tháng 1-4, biến suất của số cơn bão và bão trên cấp 12 cao hơn so với trong các tháng 5-12.

- Trị số ACE mỗi tháng dao động từ  $3-17 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  trong các tháng mùa bão (tháng 5-12), khoảng  $0,03-1.4 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  trong các tháng 1-4. So với trung bình nhiều năm, trong năm ACE cao, trị số trung bình ACE mỗi tháng mùa bão cao hơn khoảng  $5-7 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  (cả năm là  $55,3 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ). Tương tự, trong năm ACE thấp, trung bình ACE mỗi tháng trong mùa bão thấp hơn phổ biến khoảng  $7-8 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  (cả năm là  $45 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ). Độ lệch chuẩn cao trong các tháng mùa bão phổ biến khoảng  $7-9 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ , thấp hơn trong các tháng 1-4.

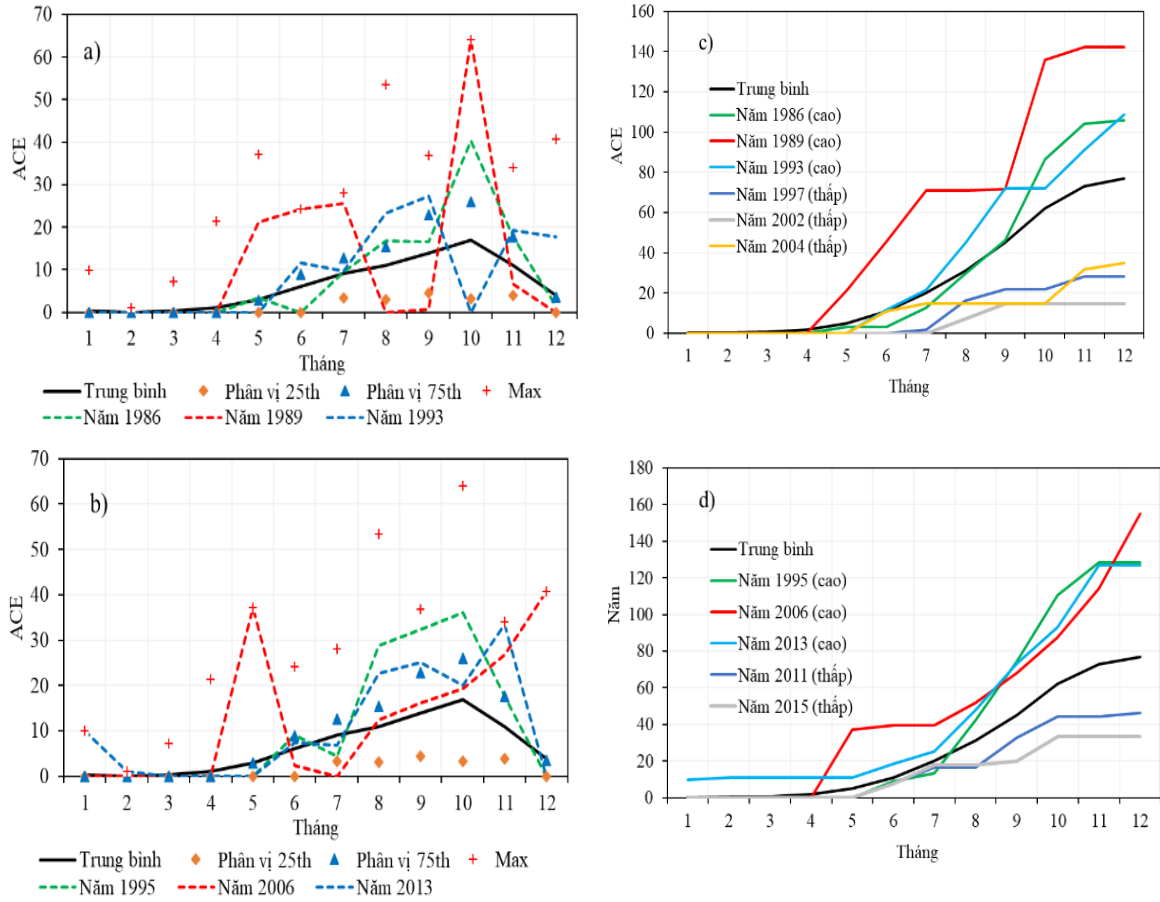
- Trị số NCB mỗi tháng dao động từ 1,4-6,5 ngày trong các tháng mùa bão và khoảng 0,1-0,5 ngày trong các tháng 1 đến tháng 4. So với trung bình nhiều năm, trong năm ACE cao, trị số trung bình NCB mỗi tháng cao hơn khoảng 2-3 ngày trong các tháng mùa bão (cả năm là 14 ngày). Trong năm ACE thấp, trung bình NCB mỗi tháng thấp hơn phổ biến 2-3 ngày (cả năm là 11,7 ngày). Độ lệch tiêu chuẩn cao trong các tháng mùa bão khoảng 3-4 ngày.

Bảng 3. 1. Các đặc trưng của bão trên Biển Đông thời kỳ 1982-2018

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tổng
<b>a) Số cơn bão (C8)</b>													
TB	0,2	0,03	0,1	0,1	0,3	1,0	1,5	1,4	1,7	1,5	1,2	0,6	9,5
ACE cao	0,4	0,2	0	0	0,7	1,0	1,7	1,7	1,6	2,3	1,7	0,9	12,2
ACE thấp	0,06	0,03	0	0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,3	0,9	0,5	0,5	6,4
ĐLC	0,4	0,2	0,4	0,3	0,6	0,8	1,0	0,9	0,9	1,2	0,9	0,7	-
<b>b) Bão cường độ trên cấp 12 (C12)</b>													
TB	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,4	0,4	0,7	0,7	0,4	0,2	3,3
ACE cao	0	0	0	0	0,3	0,3	0,5	0,7	1,2	1,3	0,8	0,5	5,7
ACE thấp	0	0	0	0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,4	0,6	0,3	0,1	1,8
ĐLC	0	0	0	0,2	0,3	0,4	0,7	0,6	0,7	0,8	0,6	0,5	-
<b>c) ACE</b>													
TB	0,4	0,03	0,3	1,2	3,0	6,1	9,1	11,0	13,9	17,0	11,0	3,9	76,9
ACE cao	2,0	0,2	0	0	11,7	11,0	9,3	17,4	20,3	27,9	20,7	11,7	132,2
ACE thấp	0,3	0,04	0	0	0	5,3	5,0	4,4	6,2	5,0	4,7	1,1	31,9
ĐLC	1,5	0,2	1,2	3,5	6,6	5,5	7,4	9,9	9,3	13,2	8,4	7,5	-
<b>d) NCB</b>													
TB	0,3	0,1	0,4	0,5	1,4	3,8	5,0	5,5	6,5	6,5	5,3	2,1	37,4
ACE cao	0,9	0,4	0	0	3,8	4,1	4,9	8,2	6,6	10,0	8,0	4,6	51,4
ACE thấp	0,2	0,1	0	0	0,6	4,7	2,9	4,3	6,0	3,0	2,8	1,2	25,7
ĐLC	1,0	0,4	1,7	1,3	2,4	3,1	3,7	3,5	3,9	5,6	3,7	3,2	-

Phân tích một số năm ACE cao điển hình được dẫn ra trong Hình 3.3 cho thấy mỗi năm ACE cao có sự khác biệt đáng kể và không tìm thấy một quy luật nhất quán nào trong phân bố biến trình tháng, tuy nhiên trong sáu năm ACE cao có bốn năm cao hơn phân vị thứ 75<sup>th</sup> (75%) trong tháng 8 đến tháng 11, nhất là trong tháng 10. Mặc dù vậy trong sáu năm này chỉ có một số tháng đạt trị số ACE cực đại trong tháng như tháng 6 và tháng 10 năm 1989 hay tháng 5 và 12 năm 2006 (Hình 3.3a, b). Trong các năm ACE cao, ngoại trừ năm 1989 và 2006, trị số ACE tích lũy từ đầu mùa bão tăng nhanh trong tháng 7, và tăng

mạnh vào khoảng tháng 9, tháng 10. Trong khi các năm ACE thấp, ACE tích lũy kéo dài cho đến khoảng tháng 8 mới có dấu hiệu tăng nhẹ (Hình 3.3c, d).



Hình 3. 3. (a-b) Biến trình năm của các năm ACE ( $10^3 m^2 s^{-2}$ ) cao và (b-c) tích lũy theo tháng trong các năm ACE cao (thấp) trên Biển Đông

Để phân tích thêm về đặc điểm của chỉ số ACE, đồng thời đánh giá vai trò trọng số cao của bão cường độ mạnh (bão trên cấp 12 so với dưới cấp 12) trong độ lớn của chỉ số ACE, do đó nghiên cứu tính toán các đặc trưng về bão theo nhóm bão có cường độ cấp 8-11 (C8-11) và trên cấp 12. Bảng 3.2 dẫn ra các đặc trưng bão trên Biển Đông bao gồm số cơn, ACE và NCB được chia theo cấp 8 đến 11 (C8-11) và trên cấp 12 (C12); C8-11 là hiệu của C8 và C12. Trong thời kỳ 1982-2018, bão trên Biển Đông có một số đặc điểm sau đây:

- Số lượng bão:

+ Trung bình mỗi năm khoảng 9-10 cơn bão (năm cao khoảng 14-16 cơn), trong đó khoảng 5-5,5 cơn bão từ cấp 8 đến 11 (năm cao khoảng 10-11

con) và khoảng 4 - 4,5 con bão cường độ trên cấp 12 (năm cao khoảng 7-8 con).

+ Độ lệch tiêu chuẩn của số lượng bão hàng năm khoảng 2,9-3,0 con và biến suất khoảng 31-32%. Trị số của độ lệch tiêu chuẩn của bão từ cấp 8 đến 11 và trên cấp 12 khoảng 1,9-2,1 con và biến suất khoảng 37-49%

- *Thời gian tồn tại của bão (NCB)*

+ NCB trung bình nhiều năm khoảng 34-38 ngày (cao nhất khoảng 62-67 ngày), trong đó bão từ cấp 8 đến 11 khoảng 17-23 ngày (năm cao khoảng 44-52 ngày) và trên cấp 12 khoảng 14-17 ngày (năm cao khoảng 36 -37 ngày).

+ NCB của bão có độ lệch tiêu chuẩn là 12-13 ngày và biến suất khoảng 33-36%. Trị số của độ lệch tiêu chuẩn của NCB đối với bão từ cấp 8 đến 11, trên cấp 12 khoảng 9-11 ngày và biến suất khoảng 46-65%.

- *Chỉ số ACE:*

+ Trị số ACE trung bình nhiều năm khoảng  $76-80 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  (năm cao khoảng  $158-184 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ), trong đó bão từ cấp 8 đến 11 khoảng  $57-65 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  (năm cao khoảng  $44-52 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ) và bão trên cấp 12 khoảng  $49-59 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  (năm cao khoảng  $156-170 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ).

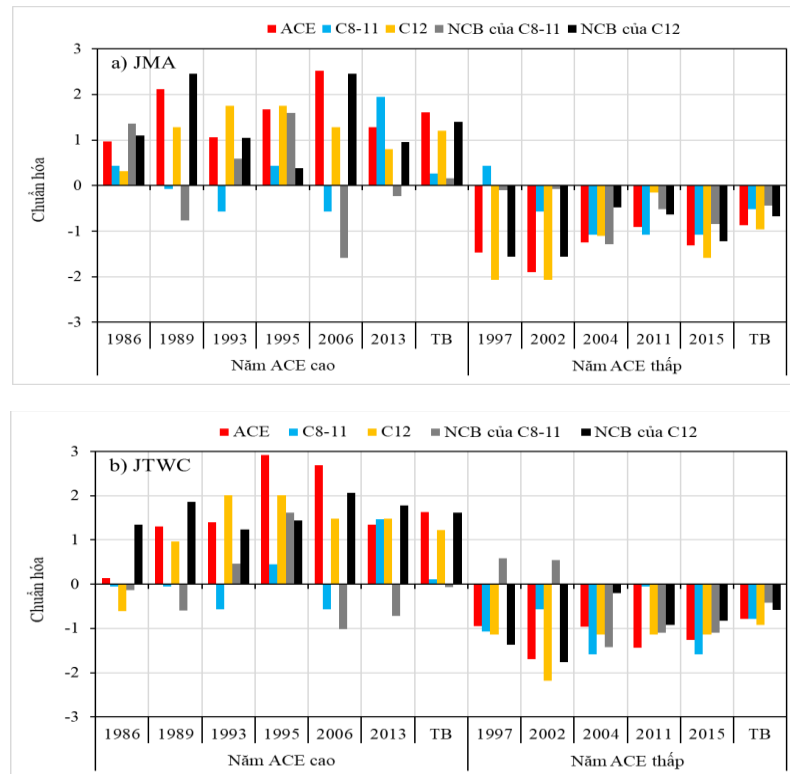
+ ACE hàng năm có độ lệch tiêu chuẩn là  $32-36 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  và biến suất khoảng 42-45%. Trị số của độ lệch tiêu chuẩn của ACE đối với bão từ cấp 8-11, trên cấp 12 khoảng  $12-15 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  và biến suất khoảng 59-67%.

Có thể nhận thấy trọng số cao hơn cho bão cường độ mạnh trong độ lớn của ACE thông qua tỉ lệ phần trăm của số cơn bão và NCB trung bình trong các năm được chia theo cấp bão so với tổng của chúng từ bảng 3.2. Tỉ lệ phần trăm của NCB và số cơn bão cấp 8 đến 11 cao hơn chút ít so với trên cấp 12; số cơn bão từ cấp 8 đến 11 có tỉ lệ khoảng 54-56% (% so với tổng) và trên cấp 12 khoảng 44-46%. Tương tự, tỉ lệ NCB khoảng 50-62% đối với bão cấp 8-11 và khoảng 38-50% đối với bão trên cấp 12. Ngược lại đối với ACE, tỉ lệ ACE của bão trên cấp 12 cao hơn so với cấp 8 đến 11; ACE của bão trên cấp 12 có tỉ lệ khoảng 64-73%, trong khi bão cấp 8 đến 11 chỉ khoảng 27-36%.

Bảng 3. 2. Các đặc trưng của bão trên Biển Đông thời kỳ 1982-2018 được chia theo các cấp bão

Đặc trưng	ACE theo cấp bão ( $10^3 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ )			Số lượng bão theo các cấp			NCB theo cấp bão (ngày)		
	Tổng (C8)	C8-11	C12	Tổng (C8)	C8-11	C12	Tổng (C8)	C8-11	C12
a) Số liệu từ JMA									
Trung bình	76,9	27,7	49,2	9,5	5,1	4,4	37,4	23,1	14,3
Cao nhất	158,8	57,5	156,0	16,0	11,0	8,0	62,2	44,0	36,9
Thấp nhất	15,0	2,8	0,0	4,0	2,0	0,0	17,1	6,1	0,0
Độ lệch chuẩn	32,6	12,6	32,8	2,9	2,0	2,1	12,5	10,7	9,2
Cv(%)	42,4	45,3	66,8	31,1	38,7	48,5	33,4	46,4	64,3
b) Số liệu từ JTWC									
Trung bình	80,0	21,8	58,2	9,3	5,2	4,1	34,6	17,5	17,1
Cao nhất	183,2	63,4	169,2	16,0	11,0	8,0	66,3	52,3	37,1
Thấp nhất	20,1	3,0	0,0	4,0	2,0	0,0	13,8	1,9	0,0
Độ lệch chuẩn	35,3	15,0	34,4	3,0	2,0	1,9	12,4	10,9	9,7
Cv(%)	44,2	68,6	59,1	31,9	38,7	44,9	35,8	62,6	56,6

Vai trò trọng số cao của bão cường độ trên cấp 12 trong độ lớn của ACE có thể nhận thấy dựa trên giá trị chuẩn hóa sáu năm ACE cao và năm năm ACE thấp được dẫn ra trong hình 3.4. Kết quả chỉ ra năm 2006 và 1989 có chuẩn hóa ACE dương khá cao nhưng bão từ cấp 8 đến 11 là dưới trung bình. Mặc dù chuẩn hóa số cơn bão trên cấp 12 dương cao nhưng thấp hơn so với NCB, điều này cho thấy NCB đóng góp trọng số cao hơn vào độ lớn ACE so với số cơn bão trên cấp 12. Tương tự năm 1993, số cơn bão trên cấp 12 có trọng số cao hơn so với NCB. Trong các năm ACE thấp như năm 1997 và 2002, số cơn và NCB của bão trên cấp 12 là dưới trung bình; chuẩn hóa âm cao của số cơn bão trên cấp 12 gần 2 độ lệch tiêu chuẩn đóng góp trọng số cao hơn so với NCB.



Hình 3. 4. Diễn biến các đặc trưng của bão trên Biển Đông trong năm ACE cao và ACE thấp từ số liệu JMA (a) và từ JTWC (b)

Mối quan hệ tương quan giữa tổng ACE hàng năm với số cơn bão và NCB cấp 8 đến 11 khá thấp, thậm chí tương quan nghịch và không đạt độ tin cậy thống kê có thể là do bão dưới cấp 12 chiếm trọng số thấp trong độ lớn của ACE như đã được phân tích ở trên. Tuy nhiên tương quan giữa tổng ACE hàng năm đạt độ tin cậy thống kê 99% với số lượng bão và với NCB của bão (hệ số tương quan dao động từ 0,56-0,77), và số lượng bão trên cấp 12 (hệ số tương quan khoảng từ 0,87-0,90). Điều này cho thấy vai trò trọng số cao của bão trên cấp 12 đối với độ lớn của chỉ số ACE, đồng thời có thể xây dựng phương trình để ước tính số cơn bão và NCB dựa trên tổng ACE (Bảng 3.3).

Bảng 3. 3. Hệ số tương quan giữa tổng ACE trong các năm với các đặc trưng của bão trên Biển Đông

Số liệu bão	Số cơn bão theo cấp			NCB theo cấp		
	Bão	C8-11	C12	Bão	C8-11	C12
JMA	0,56	-0,12	0,87	0,72	-0,25	0,88
JTWC	0,77	0,20	0,90	0,75	0,16	0,77

*b) Xu thế biến đổi tuyến tính của bão*

Trong những nghiên cứu trước về xu thế biến đổi của các đặc trưng bão trong thời kỳ dài đã được chỉ ra bởi nhóm các tác giả Nguyễn Đức Ngữ (2008) [15], Phan Văn Tân và ctv (2010) [21]; Nguyễn Văn Thắng và ctv (2010) [26],...Do đó trong nghiên cứu này chỉ khảo sát xu thế biến đổi 37 năm từ 1982-2018 và hai thập kỷ gần đây 1999-2018. Phương pháp hồi quy tuyến tính và kiểm nghiệm Student được áp dụng cho phân tích xu thế biến đổi của đặc trưng của bão trên Biển Đông.

Bảng 3.4 thể hiện hệ số ( $a_1$ ) và hệ số tương quan của hai thời kỳ đã cho thấy xu thế giảm (tăng) của bão khá nhất quán từ hai bộ số liệu của JMA và JTWC, điều này được thể hiện qua dấu của ( $a_1$ ) và hệ số tương quan với xu thế giảm trong giai đoạn 1982-2018 và tăng trong thời kỳ gần đây 1999-2018.

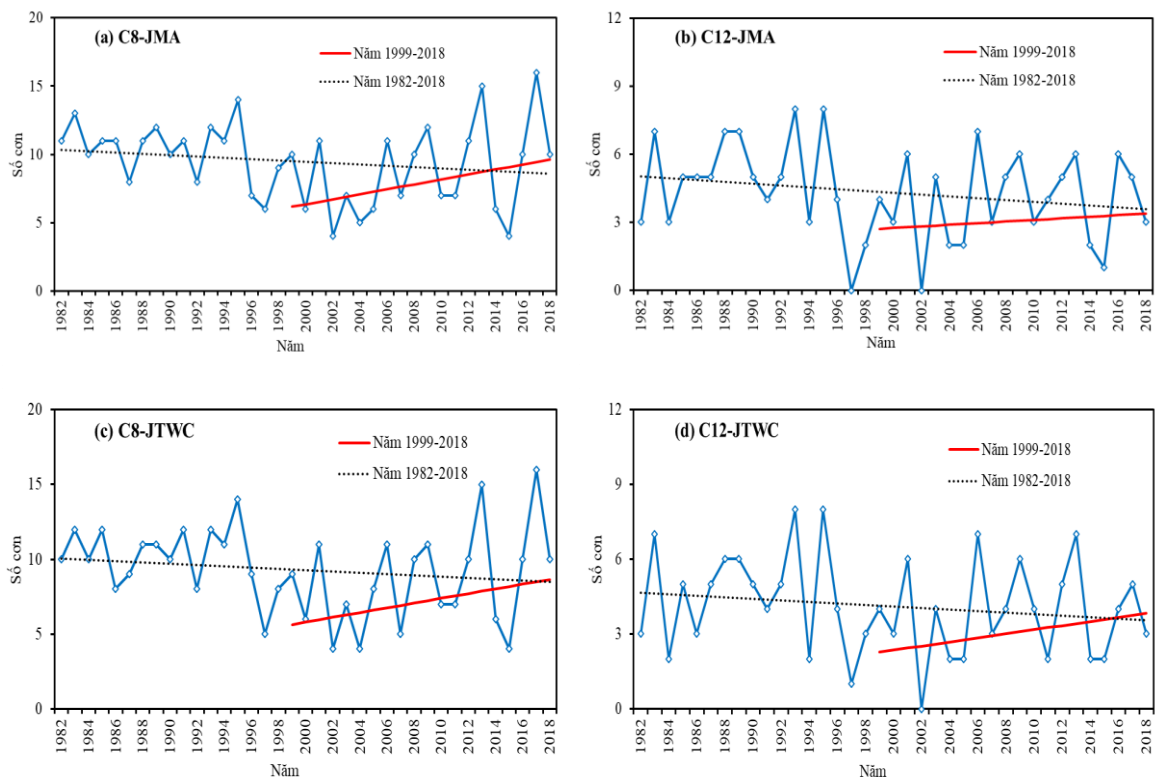
*Bảng 3. 4. Hệ số hồi quy ( $a_1$ ) và tương quan ( $r$ ) giữa các đặc trưng bão trên Biển Đông với thời gian*

Đặc trưng	Số liệu của JMA				Số liệu của JTWC			
	1982-2018		1999-2018		1982-2018		1999-2018	
	$a_1$	$r$	$a_1$	$r$	$a_1$	$r$	$a_1$	$r$
C8	-0,07	-0,26	0,18	0,36	-0,04	-0,14	0,16	0,31
C12	-0,04	-0,22	0,04	0,11	-0,03	-0,16	0,08	0,27
NCB	-0,40	-0,38	0,56	0,33	-0,32	-0,28	0,22	0,14
ACE	-0,90	-0,32	0,77	0,16	-0,75	-0,21	0,35	0,06

Hình 3.5 cho thấy sự tương tự cao về diễn biến của bão nhiệt đới từ hai bộ số liệu của JMA và JTWC. Số lượng bão nhiệt đới trên Biển Đông biến động khá rõ, năm cao có tới 14 đến 16 cơn hoạt động trên Biển Đông (ví dụ, 14 cơn vào năm 1995, 12 cơn vào năm 2013, 16 cơn năm 2017 dựa trên số liệu JMA) nhưng có năm chỉ có 4-5 cơn (ví dụ 4 cơn năm 2002, 2015, 5 cơn năm 1997, 2004, 2005 dựa trên số liệu JMA).

Số cơn bão và bão từ cấp 12 trở lên thời kỳ 1982-2018 có xu thế giảm

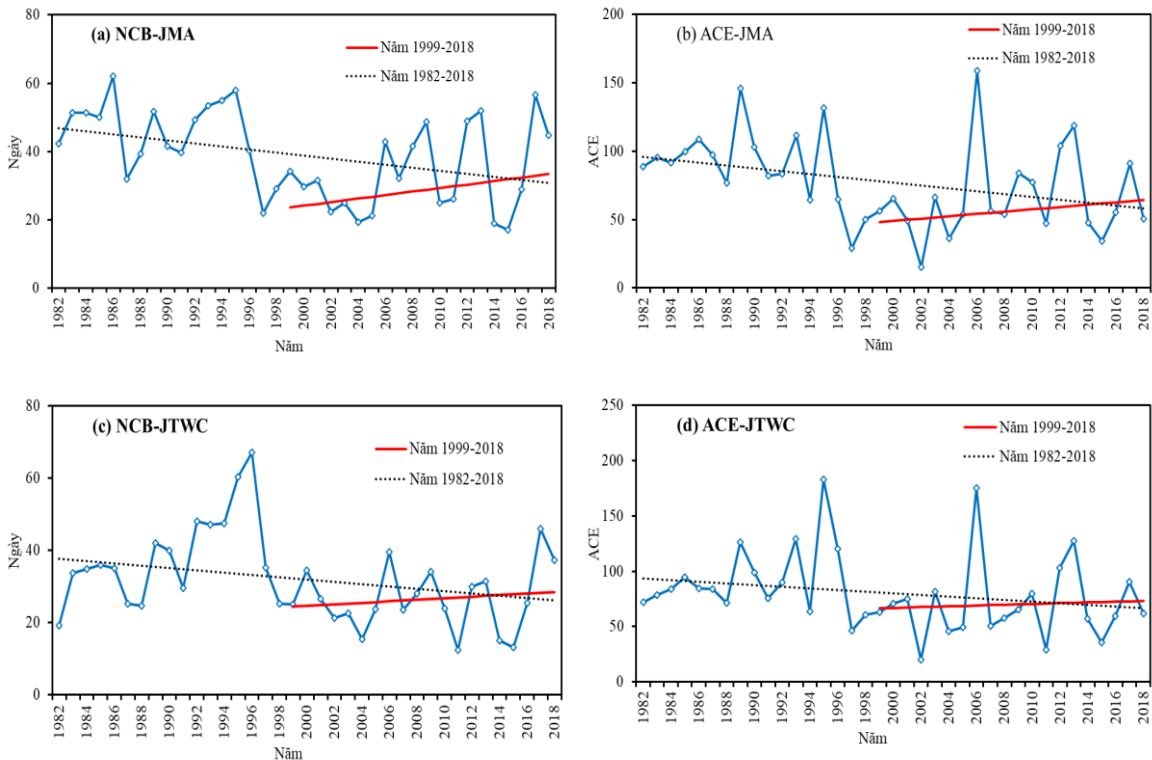
tuyến tính nhưng không đạt độ tin cậy thống kê 95% theo kiểm nghiệm Student. Trong hai thập kỷ gần đây (1999-2018), xu thế tăng tuyến tính cho cả số cơn bão và bão trên cấp 12 nhất quán dựa trên hai bộ số liệu của JMA và JTWC nhưng chỉ xu thế tăng của số cơn bão đạt độ tin cậy 90% (Hình 3.5a). Xu thế giảm và tăng như vậy là phù hợp với kết quả được chỉ ra bởi các công trình nghiên cứu trước đây như Kịch bản Biến đổi khí hậu ở Việt Nam (2016) [1]; Phan Văn Tân và ctv (2010) [21]; Nguyễn Văn Thắng và ctv (2010) [26].



Hình 3. 5. Xu thế biến đổi của số lượng bão (C8) và bão từ cấp 12 trở lên (C12) trên Biển Đông dựa trên số liệu bão của JMA (a-b). Từ (c-d) tương tự như (a-b) nhưng từ số liệu của JTWC

Cũng giống như đặc trưng số lượng bão nhiệt đới, xu thế giảm tuyến tính của NCB và ACE trong giai đoạn 1982-2018 và xu thế tăng giai đoạn 1999-2018 khá nhất quán trong cả hai bộ số liệu từ JMA và JTWC. Tuy nhiên, dường như xu thế giảm NCB giai đoạn 1982-2018 rõ ràng hơn so với các đặc trưng bão khác với hệ số tương quan cao khoảng -0.28 và -0.38 (Bảng 3.4). Xu thế giảm ACE trong giai đoạn 1982-2018 cũng có hệ số tương quan xấp xỉ đạt độ

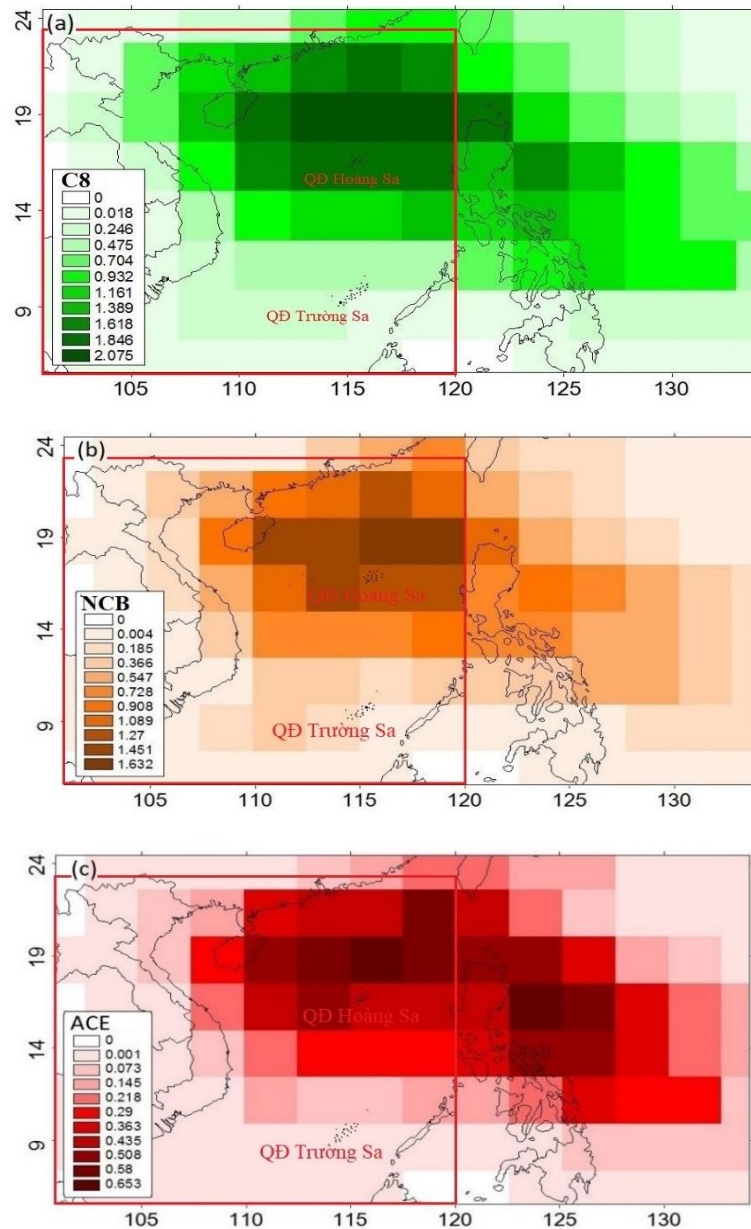
tin cậy 90%; hệ số tương quan -0.32 và -0.21 cho số liệu bão quan trắc từ JMA và JTWC, điều này có thể do NCB đóng góp nhiều hơn vào giá trị ACE.



Hình 3. 6. Xu thế biến đổi tuyến tính của NCB và ACE ( $10^3 m^2 s^{-2}$ ) trên Biển Đông dựa trên số liệu của JMA (a-b). Từ (c-d) tương tự như (a-b) nhưng số liệu của JTWC

### c) Phân bố không gian của bão trên Biển Đông

Trung bình mỗi năm có khoảng 2 đến 3 cơn bão qua ô lưới  $2,5 \times 2,5$  độ kinh vĩ ở khu vực Bắc Biển Đông, nơi có nhiều bão đi qua nhất. Khu vực bờ biển Trung Bộ từ khoảng vĩ tuyến  $16^{\circ}N$  đến  $18^{\circ}N$  và khu vực bờ biển Bắc Bộ từ khoảng  $20^{\circ}N$  trở lên phía Bắc có nhiều bão đi qua nhất trong cả dải ven biển nước ta, khoảng 0.7 đến 1 cơn mỗi năm trên ô lưới  $2,5 \times 2,5$  độ kinh vĩ (Hình 3.7a). Tương tự như số lượng bão, phân bố không gian của NCB và ACE cũng tập trung chủ yếu ở khu vực phía Bắc vĩ độ  $15^{\circ}N$  khu vực Bắc Biển Đông. Một sự khác biệt đáng kể giữa ACE so với NCB và số cơn bão là phân bố của ACE khá cao trên vùng biển phía Đông Philippines, điều này cho thấy, nhiều cơn bão mạnh vượt qua khu vực này vào Biển Đông (Hình 3.7 d).



Hình 3. 7. Phân bố không gian của các đặc trưng bão; (a) số cơn bão, (b) NCB và (c) ACE ( $10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ) trên ô lưới  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  kinh vĩ. Chỉ tính cho những cơn bão liên quan đến Biển Đông

### 3.2 Môi quan hệ giữa nhiệt độ mặt nước biển ở vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản, cường độ dòng xiết cận nhiệt với ACE trên Biển Đông

#### 3.2.1 Môi quan hệ giữa SST với ACE trên Biển Đông

##### a) Ảnh hưởng trực tiếp của SST

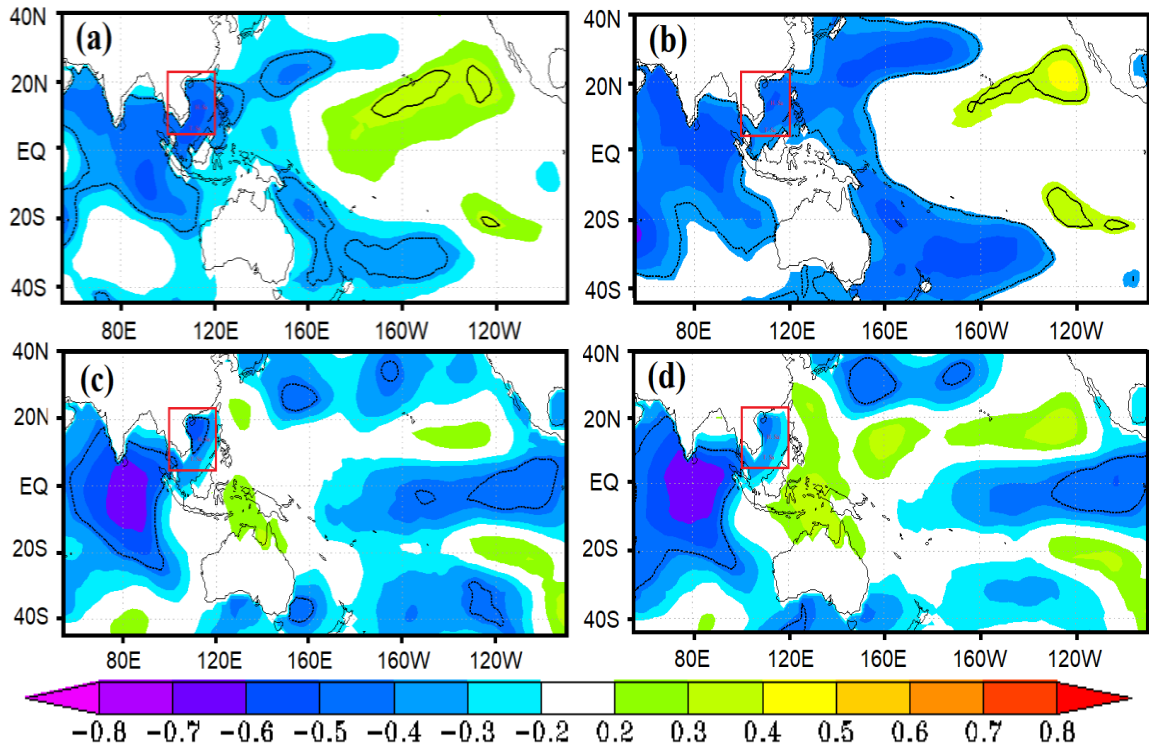
SST ảnh hưởng chủ yếu theo thứ tự đầu tiên là trực tiếp đến sự hình thành và cường độ tiềm năng cực đại của bão nhiệt đới đã chỉ ra từ các nghiên cứu

trước (Chan 2000 [46]; Zuki và ctv, 2008 [150]; Wang. L ctv, 2012, 2014 [129]; [130]; Ling và ctv. 2014 [102]; Wang L. R. và ctv 2013 [132]; Thanh và ctv 2019 [123]), do đó trong phần này phân tích trước tiên là ảnh hưởng trực tiếp của SST đến hoạt động của bão trên Biển Đông. Khảo sát độ nhạy cho thấy việc tập trung vào giai đoạn từ tháng 6 đến tháng 11 giúp tối đa hóa tín hiệu thống kê trên Biển Đông và sẽ trình bày trong các phân tích sau đây. Như đã trình bày, hoạt động của bão trên khu vực TBTBD có thể góp phần làm sáng tỏ cho bão trên Biển Đông. Để có bức tranh chung, tổng quát về hoạt động của bão, trong mục này nghiên cứu xem xét thêm cả bão trên khu vực TBTBD.

Hình 3.8a, b cho thấy mối tương quan giữa số lượng bão và SST với hệ số tương quan dương khoảng 0,40 ở trung tâm Bắc Thái Bình Dương. Mối tương quan dương này cho thấy SST ở trung tâm Thái Bình Dương cao hơn sẽ tương ứng với số lượng bão cao hơn trên khu vực TBTBD. Ngược lại, mối tương quan âm đáng kể giữa số lượng bão với SST ở khu vực Ấn Độ Dương và Tây Nam Thái Bình Dương có khả năng liên quan đến độ đứt gió thẳng đứng tăng cường trong mùa hè như dẫn ra bởi Zhan và Wang (2015) [155].

Tập trung vào Biển Đông, nhận thấy một kiểu tương tự tổng thể về phân bố không gian của hệ số tương quan giữa số lượng bão trên Biển Đông với SST, ngoại trừ một thay đổi khác biệt (Hình 3.8c,d). Đó là, mối tương quan dương giữa số lượng bão khu vực TBTBD với SST ở trung tâm Thái Bình Dương được thay thế bằng tương quan âm, điều này thể hiện rõ đối với cả hai bộ số liệu bão trên Biển Đông được xác định từ JTWC và JMA. Hàm ý của mối tương quan âm này đã chỉ ra SST cao hơn ở trung tâm Bắc Thái Bình Dương tương ứng với số lượng bão ít hơn trên Biển Đông, mặc dù tổng số cơn bão tăng trong toàn bộ khu vực TBTBD. Điều này có thể được giải thích là bão trên Biển Đông chủ yếu phụ thuộc vào dòng dẫn đường liên quan đến ACTBD. Vì vậy, có thể có nhiều bão hơn trong khu vực TBTBD nhưng có thể ít bão hơn vào Biển Đông. Vấn đề này là một trong những nguyên nhân dẫn đến tương quan âm trên Biển Đông với hệ số tương quan khoảng 02 đến 0.4. Thêm nữa, những năm

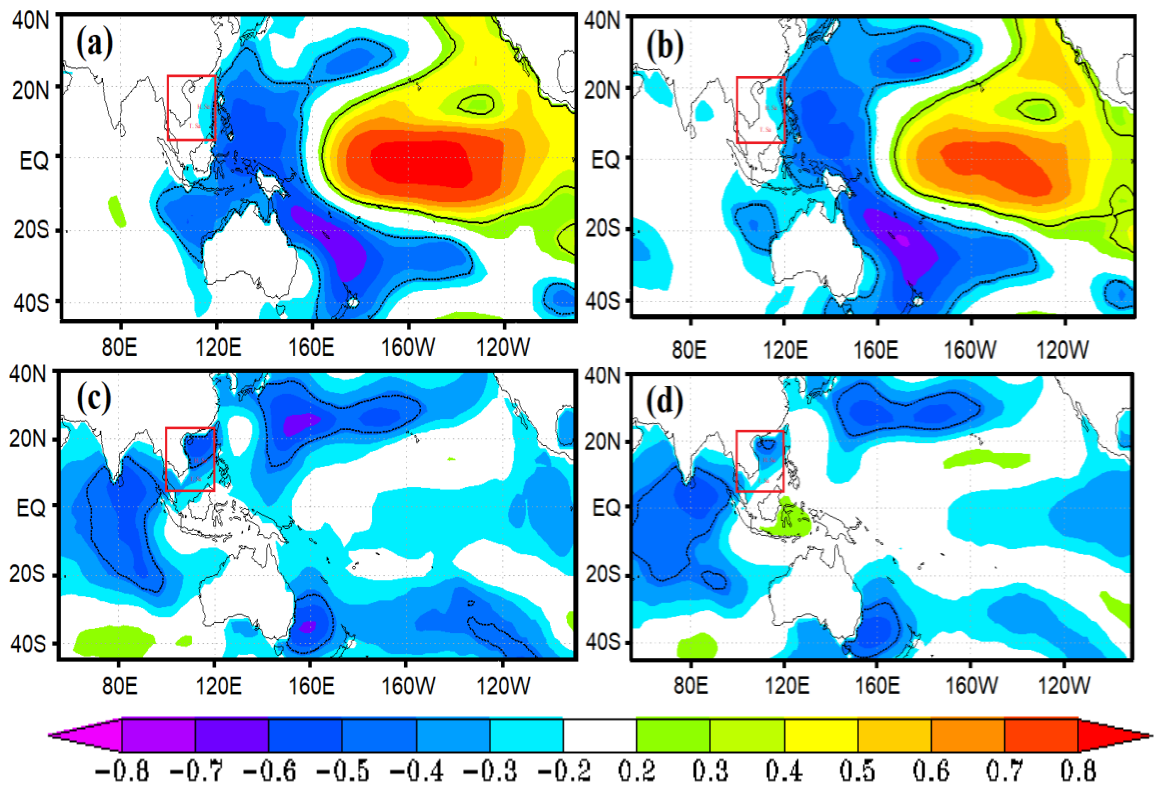
SST cao ở khu vực trung tâm Thái Bình Dương, một xoáy nghịch bao trùm tây Thái Bình Dương và Biển Đông cùng với các điều kiện môi trường bất lợi dẫn đến hạn chế hoạt động của bão trên Biển Đông như đã chỉ ra trong nghiên cứu trước (Hình 1.11 đến 1.14 và 1.16, chương 1). Ngoài ra, mối tương quan dương đáng kể giữa số lượng bão với SST cao ở biển phía Đông Philippines, nơi các cơn bão vượt qua kinh tuyến 120<sup>0</sup>E vào Biển Đông (Hình 3.8c,d).



Hình 3. 8. Hệ số tương quan giữa SST trung bình tháng 6-11 với số cơn bão (C8) trên khu vực TBTBD từ số liệu bão của JMA (a) và JTWC (b) thời kỳ 1982-2018. Từ (c)-(d) tương tự (a)-(b) nhưng cho số cơn bão trên Biển Đông. Vùng bên trong đường contour màu đen thể hiện (r) đạt độ tin cậy 95%.

Hình 3.9 cho thấy phân bố không gian của hệ số tương quan giữa SST với ACE cho toàn bộ khu vực TBTBD và Biển Đông. Nhìn chung, phân bố hệ số tương quan giữa ACE trên khu vực TBTBD và Biển Đông với SST khá tương tự như số cơn bão như đã dẫn ra trong Hình 3.8. Một lần nữa cho thấy một sự khác biệt rõ ràng trong mối quan hệ tương quan giữa SST với ACE trên khu vực TBTBD và khu vực Biển Đông; tương quan thuận có ý nghĩa thống kê giữa SST với ACE trên khu vực TBTBD ở trung tâm xích đạo và Bắc Thái

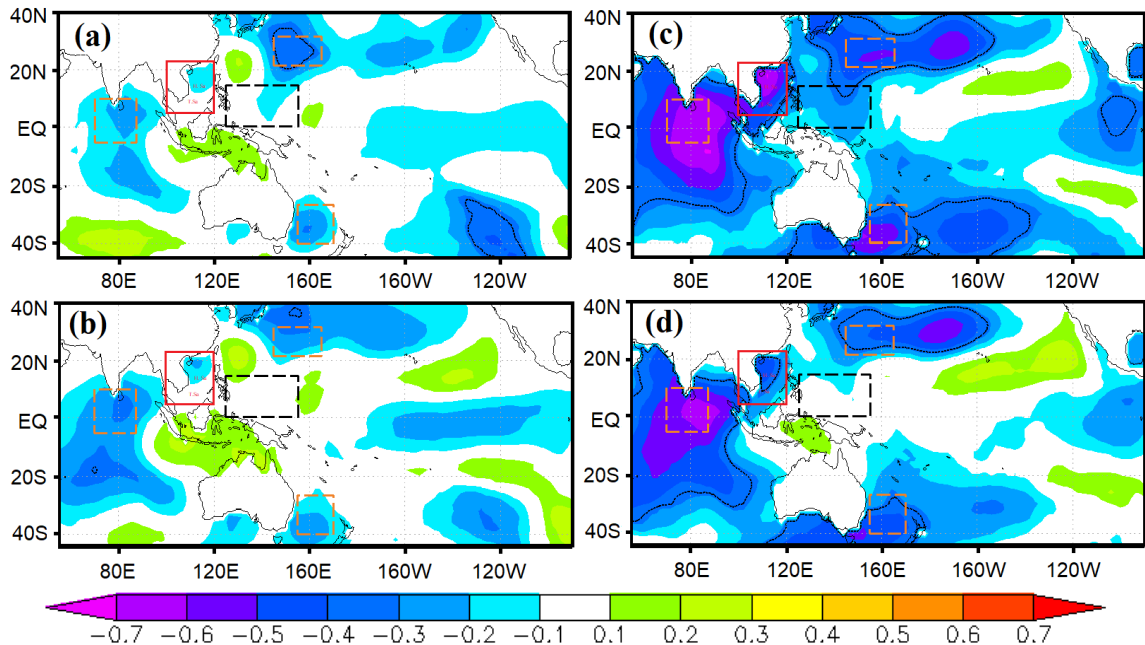
Bình Dương trong Hình 3.9a và b nhưng tương quan nghịch với ACE trên Biển Đông (Hình 3.9c, d). Sự khác biệt trong phân bố không gian về hệ số tương quan giữa ACE với SST cho thấy không chỉ có ít bão di chuyển vào Biển Đông khi SST ở trung tâm Bắc Thái Bình Dương cao hơn, mà còn cường độ yếu hơn và/hoặc thời gian tồn tại ngắn hơn của bão trên Biển Đông.



Hình 3. 9. Tương tự như Hình 3.8 nhưng cho mối quan quan giữa ACE với SST trung bình tháng 6 đến tháng 11

Mối tương quan giữa SST với NCB và số lượng bão từ cấp 12 trở lên (bão nhiệt đới có cường độ gió mạnh nhất vượt 32,5 m/s) trên Biển Đông được dẫn ra trong Hình 3.10. Kết quả cho thấy tương quan âm giữa SST ở vùng trung tâm xích đạo Thái Bình Dương với số lượng bão từ cấp 12 trở lên trên Biển Đông nhưng chưa đạt độ tin cậy thống kê 95% (Hình 3.10a,b). Mặc dù hệ số tương quan chưa đạt độ tin cậy thống kê nhưng cũng đã chỉ ra SST cao hơn ở khu vực trung tâm xích đạo Thái Bình Dương cho thấy số lượng bão cường độ mạnh ít di chuyển hơn vào Biển Đông, dẫn đến trị số ACE giảm trên Biển Đông. Cùng với số lượng bão mạnh trên Biển Đông ít hơn tương ứng với SST

ở trung tâm Thái Bình Dương cao hơn, NCB cũng có xu hướng ngắn hơn khi SST cao hơn ở khu vực trung tâm Thái Bình Dương (Hình 3.10 c,d). Tương quan nghịch giữa NCB với SST cho thấy SST cao hơn ở trung tâm Thái Bình Dương và Ấn Độ Dương góp phần làm giảm ACE trên Biển Đông.



Hình 3. 10. Hệ số tương quan giữa SST trung bình tháng 6 đến tháng 11 với số lượng bão mạnh trên Biển Đông (C12) từ số liệu bão của JMA (a) và JTWC (b). Từ (c)-(d) tương tự như (a)-(b) nhưng đối với NCB trên Biển Đông

b) Ảnh hưởng gián tiếp của SST

Ảnh hưởng trực tiếp của SST đến cường độ bão như được xác định trước đó từ cả nghiên cứu lý thuyết và mô hình số (Sun và ctv, 2013 [119]; Ferrara và ctv, 2017 [67]). Tuy nhiên, ảnh hưởng gián tiếp của SST cũng đã được chứng minh là quan trọng đối với hoạt động của bão khu vực TBTBD và Biển Đông như đã chỉ ra bởi Richard và Zhou (2014) [110]; Wu và ctv (2010) [137]; Zhan và Wang (2014) [154]. Điều này là do SST liên quan đến hoàn lưu khí quyển quy mô lớn có thể ảnh hưởng gián tiếp đến bão trên khu vực TBTBD. Cùng với điều kiện SST vùng nhiệt đới cao và sự biến thiên của hoàn lưu khí quyển quy mô lớn liên quan đến SST có thể ảnh hưởng đến hoạt động bão trên Biển Đông.

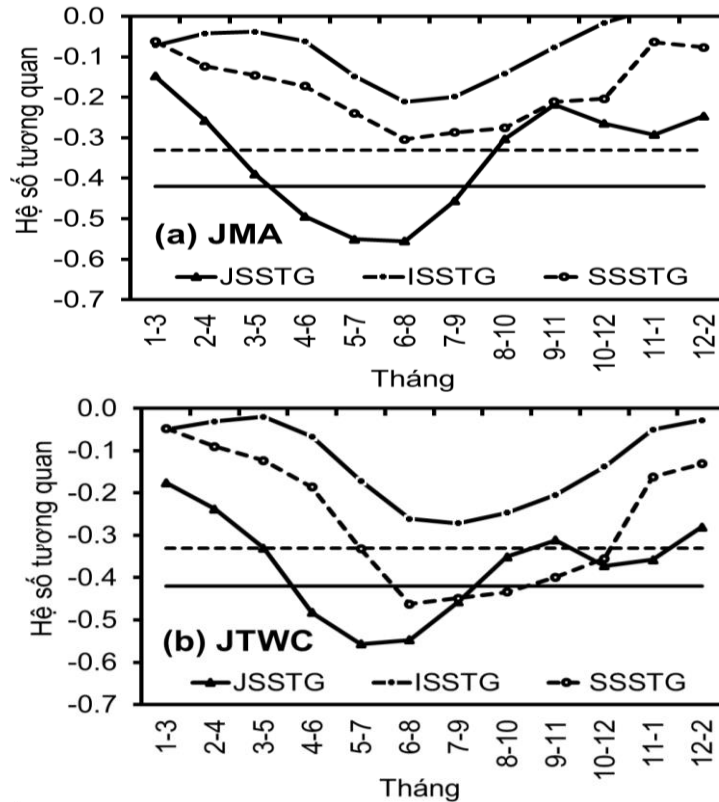
Do tồn tại các tác động tiềm tàng của SST đến hoạt động của bão, bốn

vùng được chọn để khảo sát SST dựa trên mối tương quan âm cao với ACE trên Biển Đông trong Hình 3.9 (ba vùng màu cam và một màu đen trong Hình 4.10), sau đây được gọi là gradient SST hoặc SSTG định nghĩa như trong Richard và ctv (2014) [110]; Zhan và Wang (2015) [155]. Cụ thể (1) vùng ở Tây Nam Thái Bình Dương  $[41-27^{\circ}\text{S}] \times [155-170^{\circ}\text{E}]$ , (2) ở xích đạo Ấn Độ Dương  $[5^{\circ}\text{S}-10^{\circ}\text{N}] \times [70^{\circ}\text{E}-88^{\circ}\text{E}]$ ; (3) ở phía Đông Nam Nhật Bản  $[25^{\circ}\text{N}-35^{\circ}\text{N}] \times [139^{\circ}\text{E}-160^{\circ}\text{E}]$ . Gradient SST được tính là chênh lệch SST giữa các miền này và bề ảm trung tâm TBTBD được định nghĩa là miền  $[0-15^{\circ}\text{N}] \times [125^{\circ}\text{E}-155^{\circ}\text{E}]$  (hộp màu đen trong Hình 3.10), sau đây gọi chung là SSTG; gọi riêng là ISSTG đối với vùng biển xích đạo Ấn Độ Dương, JSSTG vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản và SSSTG đối với vùng biển Tây Nam Thái Bình Dương.

Hình 3.11 cho thấy diễn biến của hệ số tương quan giữa ACE trên Biển Đông với SSTG được xác định từ SST trung bình theo mùa 3 tháng liên tiếp như là một hàm được sử dụng để tính toán ACE. Đối với cả hai bộ số liệu, hệ số tương quan giữa ACE với SSTG trung bình trong khoảng thời gian từ tháng 5 đến 7 và tháng 6 đến 8 có ý nghĩa thống kê nhất (hệ số tương quan từ -0,2 đến -0,57). Mối tương quan âm cao giữa ACE với SSTG phù hợp với phân bố hệ số tương quan giữa SST với ACE được thể hiện trong Hình 3.9 c, d. Hệ số tương quan âm giữa ACE với JSSTG đạt giá trị cao nhất khoảng 0,57 - 0,59 (tháng 5 đến tháng 8) trong cả hai tập số liệu với độ tin cậy thống kê 99%. Ngược lại, mối tương quan âm giữa ACE với SSSTG ở khu vực Tây Nam Thái Bình Dương hoặc Ấn Độ Dương (ISSTG) thấp hơn, đạt giá trị nhỏ hơn khoảng từ 0,1 đến 0,45 và đạt độ tin cậy 95% chỉ trong bộ số liệu của JTWC.

Mối tương quan nghịch giữa ACE trên Biển Đông với SSTG là cao nhất khi sử dụng SST trung bình từ tháng 6 đến 8 cho cả ba vùng được định nghĩa cho thấy SST cao hơn ở biển phía Đông Nam Nhật Bản, Tây Nam Thái Bình Dương hoặc Ấn Độ Dương so với bề ảm trung tâm TBTBD trong những tháng mùa hè có xu hướng bất lợi đối với bão trên Biển Đông. Mối tương quan âm giữa ISSTG với ACE được cho là do sự tương tác giữa biển-khí và được liên

kết với kiểu phân bố SST cao (thấp) trái ngược nhau giữa Ấn Độ Dương và bề mặt trung tâm tây Thái Bình Dương (Zhan và ctv, 2014 [154]). Mối tương quan âm giữa SSSTG với ACE được cho là do hoạt động của sóng dẫn tới những thay đổi đồng thời trong hoàn lưu khí quyển nhiệt đới (Zhan và ctv, 2013 [154])

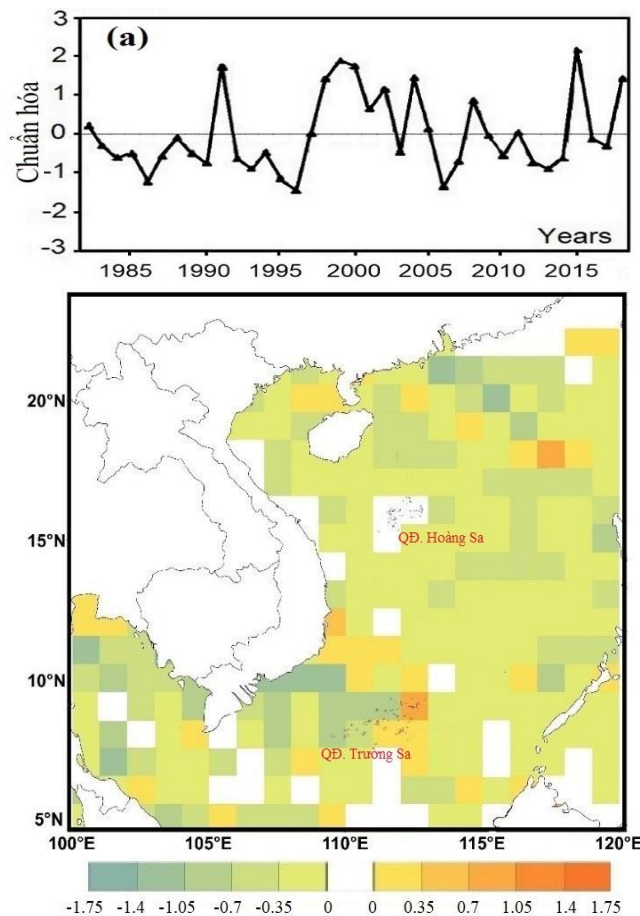


Hình 3. 11. Hệ số tương quan giữa ACE với SSTG trung bình 3 tháng liên tiếp từ số liệu bão của JMA (a) và JTWC (b). Đường nét đứt (đậm) song song với trục hoành biểu thị hệ số tương đạt độ tin cậy 95% (99%).

Bởi vì mối tương quan âm đối với SSTG liên quan đến vùng biển phía Tây Nam Thái Bình Dương và Ấn Độ Dương đã được kiểm tra kỹ lưỡng trong các nghiên cứu trước đây, do đó nghiên cứu này sẽ tập trung phân tích sau đây về SSTG liên quan đến biển phía Đông Nam Nhật Bản (JSSTG) đối với hoạt động bão trên Biển Đông. Để làm nổi bật hơn ảnh hưởng của JSSTG, Hình 3.12 cho thấy sự khác nhau tổng hợp về số lượng bão giữa các năm với chuẩn hóa của JSSTG dương và âm. Có tám năm với JSSTG dương (1991, 1998, 1999, 2000, 2002, 2004, 2015, 2018) và sáu năm với JSSTG âm (1986, 1993, 1995, 1996, 2006, 2013) như trong Hình 3.12a. Trong đó các năm JSSTG trung bình

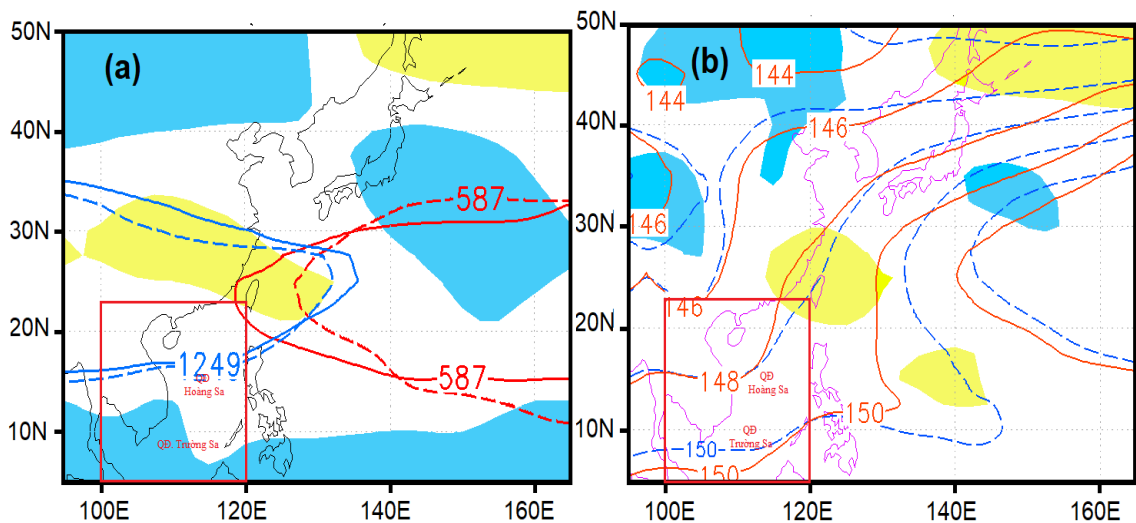
tháng 6 đến tháng 8 được sử dụng để chọn năm dương và âm với ngưỡng cao hơn hoặc thấp hơn  $\pm 0,9$  của chuỗi thời gian chuẩn hóa JSSTG.

Chênh lệch trung bình số cơn bão qua ô lưới  $1^0 \times 1^0$  kinh vĩ trong sáu năm JSSTG âm và tám năm dương được thể hiện trong Hình 3.12 cho thấy, một hiệu ứng rất rõ ràng của JSSTG đối với hoạt động của bão, khi SST ở vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản cao hơn vùng bề ấm trung tâm TBTBD, ít bão trên Biển Đông. Các đặc trưng ACE hoặc NCB cũng giảm trong các năm JSSTG dương, phù hợp với tương quan nghịch giữa JSSTG với ACE và với NCB trên Biển Đông như được dẫn ra trong Hình 3.9c,d và Hình 3.10c,d. Mối quan hệ của JSSTG đối với hoạt động của bão trên Biển Đông là đáng chú ý, bởi vì biển phía Đông Nam Nhật Bản nằm xa về phía Bắc Biển Đông và ở rìa phía Tây ACTBD và sẽ được phân tích sâu hơn ở các mục sau.



Hình 3. 12. (a) Chuỗi thời gian của JSSTG trung bình tháng 6 đến 8. (b) Chênh lệch trung bình của số cơn bão qua ô lưới  $1 \times 1^0$  kinh vĩ trong 8 năm JSSTG cao và 6 năm JSSTG thấp.

Mối tương quan của JSSTG đối với hoạt động của bão trên Biển Đông là đáng chú ý, bởi vì có sự khác biệt bởi cường độ của áp cao Tây Tạng (độ cao địa thế vị 1249 gpm mực 200 mb) và ACTBD (đường 587 gpm ở mực 500 mb) trong năm ACE cao và thấp. Trong những năm ACE cao, áp cao Tây Tạng lệch về phía Bắc và lấn sang phía Đông nhiều hơn so với những năm ACE thấp. Tương tự, lõi ACTBD lấn về phía Tây nhiều hơn trong năm ACE cao (Hình 3.13a). Đồng thời, chênh lệch của độ cao địa thế vị trung bình mùa hè cho các năm ACE cao và thấp cho thấy trong năm ACE cao, độ cao địa thế vị mực 500mb (Hình 3.13a) và 850mb (Hình 3.13b) có xu hướng cao ở biển phía Đông Đài Loan và thấp ở biển phía Đông Nhật Bản. Điều này đã chỉ ra một kiểu Thái Bình Dương-Nhật Bản (P-J) với độ cao địa thế vị mực 850 mb thấp ở biển phía Đông Nhật Bản và cao ở phía Đông Đài Loan, sự mở rộng của lõi ACTBD sang phía Tây, nhiều bão di chuyển vào Biển Đông. Liên quan đến SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản cao (thấp) sẽ được phân tích rõ hơn sau đây.

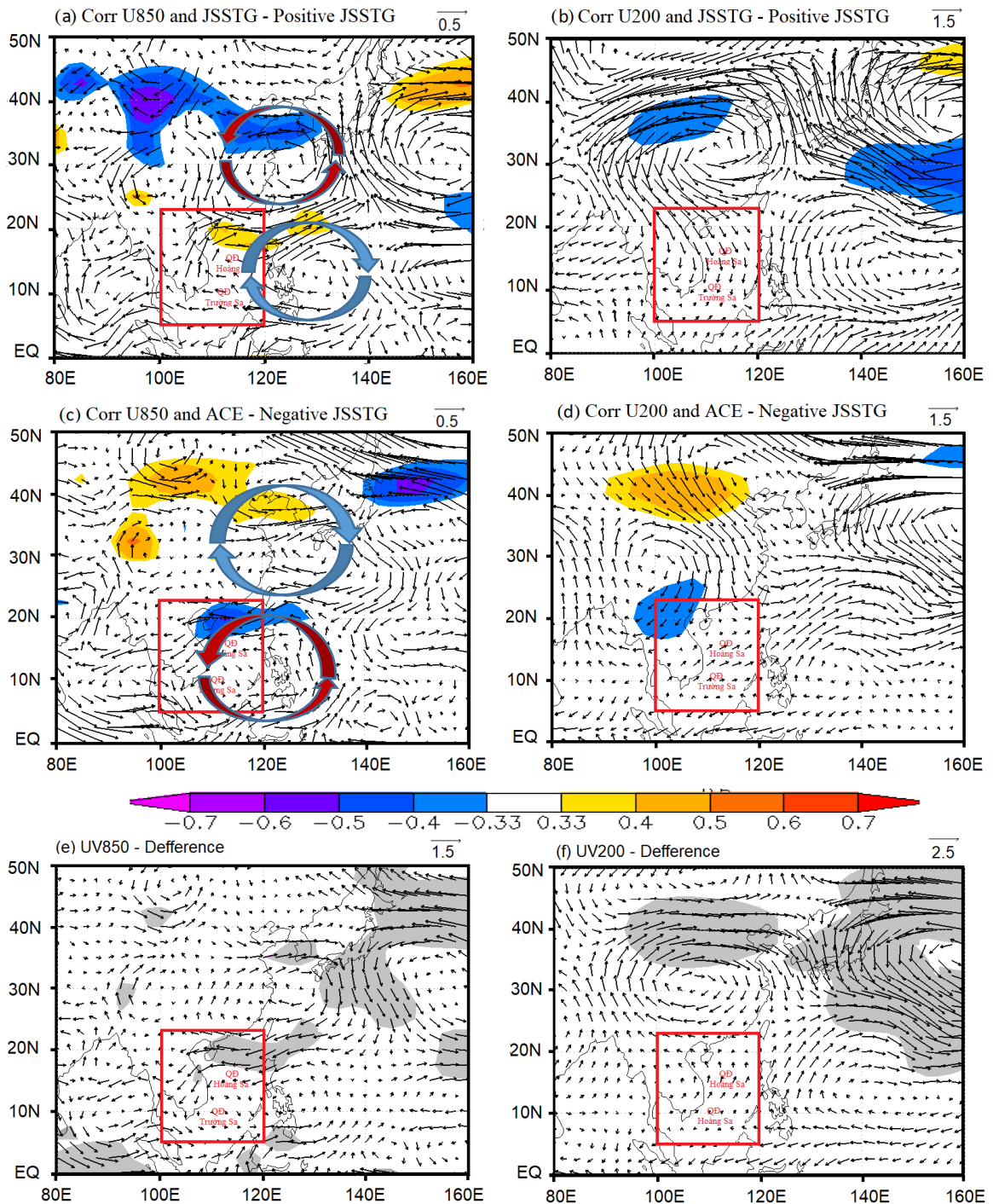


Hình 3. 13. (a) đường contours 1249 dagpm mực 200 mb và đường 587 dagpm tại mực 500 mb trong mùa hè (đường liền nét là năm ACE cao và đường đứt nét là năm thấp). (b) là độ cao địa thế vị trung bình trong mùa hè mực 850 mb cho năm ACE cao (đường liền nét) và thấp (đường đứt nét). Vùng màu vàng (xanh) là sự khác biệt dương (âm) của độ cao địa thế vị mực 500 mb (a) và 850mb (b) giữa năm ACE cao và thấp đạt mức độ tin cậy 95%.

### 3.2.2 *Mối quan hệ giữa dòng xiết cận nhiệt đới với ACE trên Biển Đông*

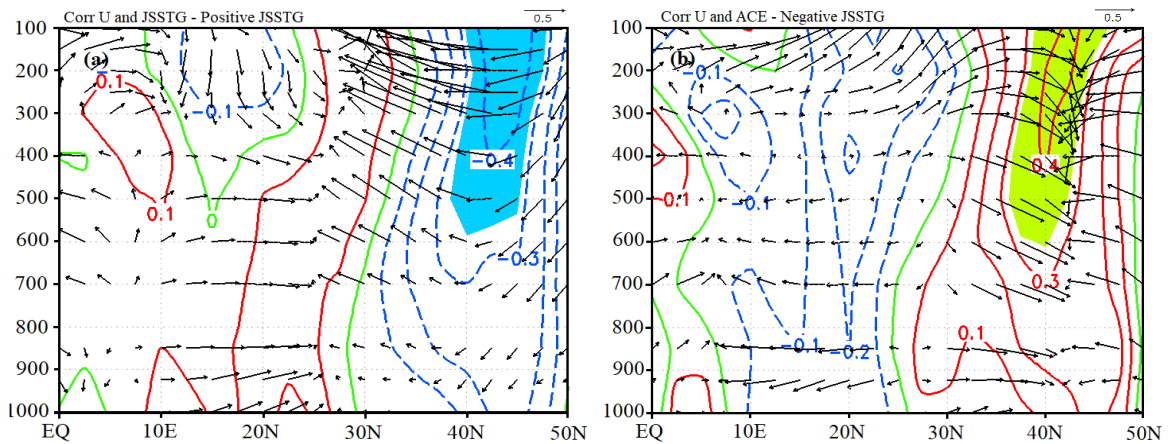
Ảnh hưởng của SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản đến ACE trên Biển Đông như được thể hiện trong mục 3.2.1 gợi ý rằng yếu tố tiềm tàng giải thích sự biến động cho hoạt động của bão trên Biển Đông. Để phân tích ảnh hưởng của SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản đối với hoạt động bão trên Biển Đông, mối tương quan giữa ACE trên Biển Đông và JSSTG với gió tầng đối lưu thấp (mức 850 mb) và với tầng đối lưu trên cao (mức 200 mb) được phân tích. Đồng thời xác định chuẩn sai gió trung bình tháng 6 đến 11 trong các năm JSSTG dương và âm nhằm nhận dạng quan hệ giữa dòng quy mô lớn qua Đông Á với JSSTG. Kết quả dẫn ra trong hình 3.14a-d cho thấy: Mối tương quan nghịch giữa gió vĩ hướng mức 850 mb khu vực Đông Á với JSSTG, cùng với mối tương quan thuận trên Biển Đông và phía Bắc Thái Bình Dương (Hình 3.14a). Tương quan nghịch tương tự cũng được thấy ở tầng đối lưu trên cao (mức 200mb) (Hình 3.14b). Điều này cho thấy rằng JSSTG cao hơn sẽ tương ứng với dòng gió đông ở Đông Á (chuẩn sai gió tây âm) hay gió tây ở Đông Á ít được tăng cường (vectơ trong Hình 3.14a, b). Vì mối tương quan âm giữa ACE trên Biển Đông với JSSTG, do đó gió vĩ hướng trên lục địa Đông Á sẽ là tương quan thuận với ACE trên Biển Đông (Hình 3.14c, d).

Mối tương quan nhất quán giữa ACE, JSSTG với gió vĩ hướng ở các mực đối lưu trong Hình 3.14 như là kiểu phản ứng của hoàn lưu quy mô lớn ở Đông Á đối với sự biến động SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản. Gió đông ở Đông Á thịnh hành phản ứng với JSSTG dương, tạo ra chuẩn sai gió có xu hướng xoáy nghịch trên biển phía Đông Philippines và xoáy thuận ở phía Nam Nhật Bản ở mực đối lưu thấp (vectơ màu đỏ/xanh lam Hình 3.14a). Xác nhận thêm về kiểu phân bố chuẩn sai gió dẫn ra trong Hình 3.14 a-d, Hình 3.14e,f thể hiện chênh lệch gió mức 850mb và 200mb giữa năm JSSTG âm và dương cho thấy phân bố tương tự như Hình 3.14c,d và xu hướng phân bố gió trong các năm JSSTG âm chiếm ưu thế hơn so với năm JSSTG dương.



Hình 3. 14. Hệ số tương quan giữa JSSTG với U850mb và với U200mb trung bình tháng 6 đến tháng 11 (vùng màu), kết hợp chuẩn sai gió (vector,  $ms^{-1}$ ) mực 850mb (a) và 200mb (b) trung bình tháng 6 đến tháng 11 trong 8 năm JSSTG dương. Từ (c-d) tương tự như (a-b) nhưng cho tương quan với ACE, kết hợp chuẩn sai gió trong 6 năm JSSTG âm. Từ (c-d) là sự khác nhau của gió giữa các năm JSSTG dương và âm tại mực 850mb và 200mb (phần tô mờ thể hiện sự khác nhau đạt độ tin cậy 95%).

Xác nhận thêm từ tầng thấp đến tầng cao về mối tương quan nhất quán giữa ACE và JSSTG với gió vĩ hướng, cũng như phân bố chuẩn sai gió như trong Hình 3.14. Hình 3.15 dẫn ra mặt cắt vĩ hướng kinh độ  $110^{\circ}\text{E}$ - $130^{\circ}\text{E}$  về hệ số tương quan giữa JSSTG (ACE) với gió vĩ hướng, và kết hợp chuẩn sai gió trung bình tháng 6 đến tháng 11 trong năm JSSTG dương (âm). Tương tự như Hình 3.14, tương quan âm khu vực Đông Á giữa JSSTG với gió vĩ hướng từ tầng thấp đến cao và tương quan dương ở phía Bắc Biển Đông và Philippines (khoảng vĩ tuyến  $20^{\circ}\text{N}$ ). Ở khoảng  $15$ - $20^{\circ}\text{N}$ , gió hướng tây từ tầng thấp đến mực  $400\text{mb}$  và gió hướng bắc-tây bắc trên tầng cao ( $300\text{mb}$ - $100\text{mb}$ ) (Hình 3.15a). Ngược lại, tương quan dương giữa ACE với gió vĩ hướng từ tầng thấp đến cao ở khu vực Đông Á và tương quan nghịch ở khoảng vĩ tuyến  $20^{\circ}\text{N}$ . Ở khoảng  $15$ - $20^{\circ}\text{N}$ , gió hướng đông từ mực thấp đến  $500\text{mb}$  và hướng nam-tây nam trên tầng cao ( $400\text{mb}$ - $100\text{mb}$ ) (Hình 3.15b). Từ phân tích trên cho thấy phân bố tương quan và chuẩn sai gió từ mực thấp đến mực giữa khá tương tự như mực  $850\text{mb}$  trong Hình 3.14a (Hình 3.14c). Trên cao từ khoảng mực  $300\text{mb}$  trở lên khá tương tự như mực  $200\text{mb}$  trong Hình 3.14b (3.14d).

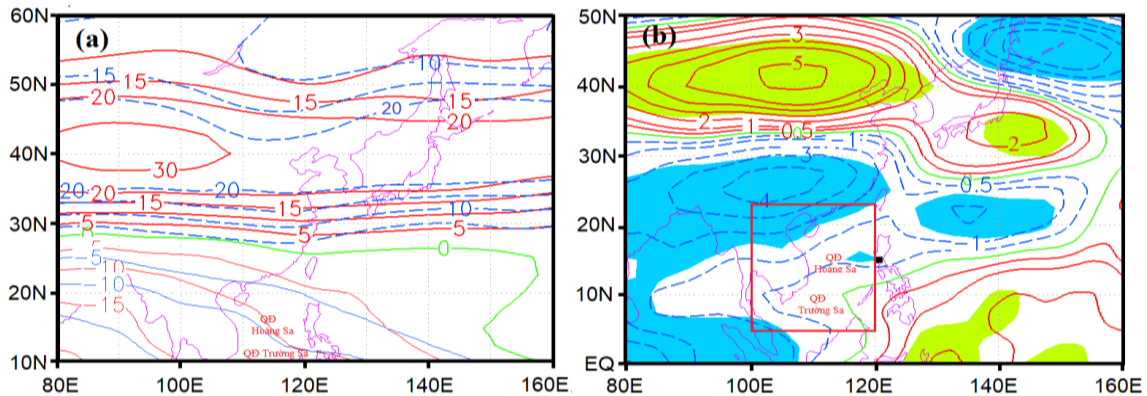


Hình 3. 15. Mặt cắt ngang vĩ hướng kinh độ từ  $110^{\circ}\text{E}$ - $130^{\circ}\text{E}$  (đường contour) của hệ số tương quan giữa JSSTG với gió vĩ hướng trung bình tháng 6 đến tháng 11 và kết hợp với chuẩn sai gió (vector,  $\text{ms}^{-1}$ ) trong 8 năm JSSTG dương (a). Tương tự như (a), nhưng cho tương quan với ACE và kết hợp với chuẩn sai gió trong 6 năm JSSTG âm (b). Vùng màu xanh (vàng) trong a và b thể hiện hệ số tương quan âm (dương) đạt độ tin cậy 95%.

Có thể nhận thấy rằng những kết quả phân tích chuẩn sai gió này mô tả giống như kiểu phân bố trái ngược nhau (dipole) của SST giữa Ấn Độ Dương, trung tâm-đông xích đạo Thái Bình Dương so với bề ấm trung tâm TBTBD hay kiểu P-J liên quan đến đối lưu hạn chế (phát triển) ở biển phía Đông Philippines như dẫn ra về điều kiện khí quyển khu vực TBTBD. Vấn đề này các công trình nghiên cứu trước đã cho thấy SST ở vùng bề ấm trung tâm TBTBD là nhân tố quan trọng liên quan đến sự thay đổi năng lượng, động lượng giữa đại dương-khí quyển, hay sự tương tác biển-khí. Những thay đổi này liên quan đến thay đổi hoàn lưu khí quyển quy mô lớn, dẫn đến thay đổi điều kiện môi trường bất lợi/thuận lợi hơn đối với hoạt động của bão (Hình 1.11-1.14; 1.16 chương 1).

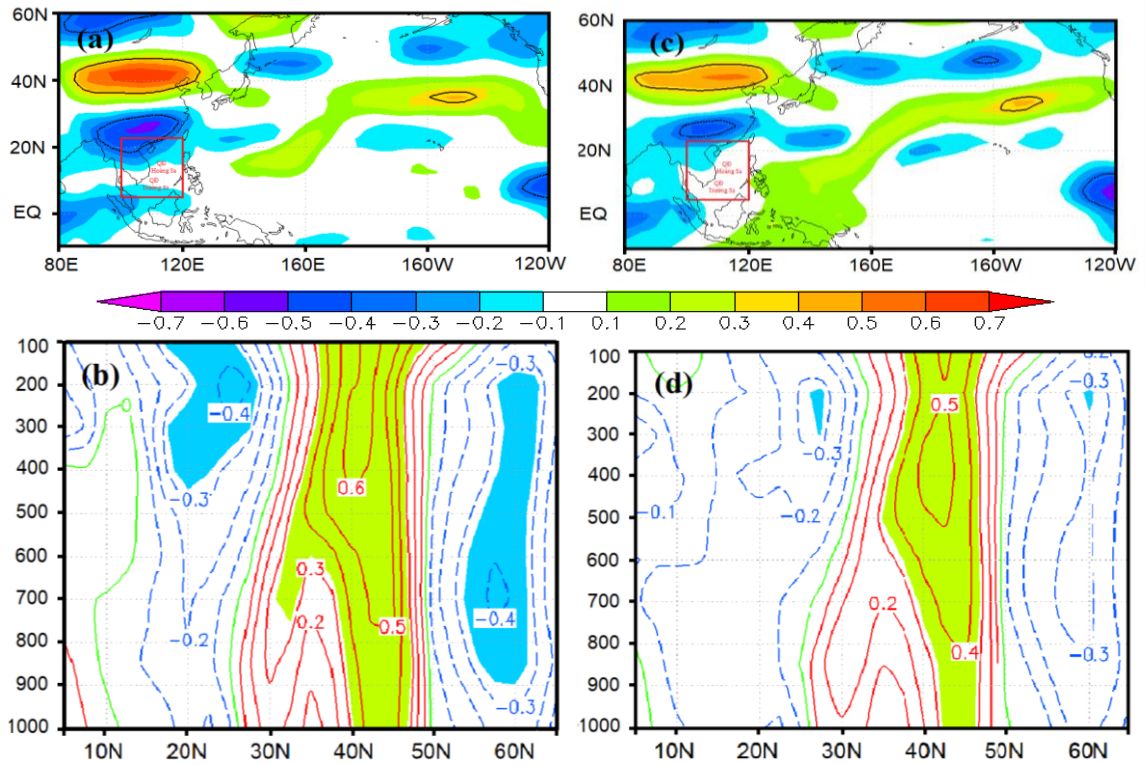
Trong số một số hệ thống quy mô lớn trên khu vực TBTBD như gió mùa hoặc ACTBD, các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng APSJ liên quan chặt chẽ đến thời tiết, khí hậu ở Đông Á và SST. Về mặt khí hậu, APSJ là đặc điểm nổi bật ở tầng đối lưu trên (300-100mb) với tốc độ gió mạnh và độ đứt gió thẳng đứng cao. Những thay đổi về cường độ của ACTBD và APSJ có thể liên quan đến hoạt động của bão trên Biển Đông. Mối tương quan âm (dương) giữa JSST, ACE với gió khu vực Đông Á, gợi ý cho mối quan hệ giữa APSJ trong mùa hè với bão trên Biển Đông. Để minh chứng rõ hơn về mối quan hệ của APSJ đối với bão trên Biển Đông, Hình 3.16 cho thấy gió vĩ hướng mực 200 mb trung bình mùa hè trong sáu năm ACE trên Biển Đông cao và năm năm ACE thấp, cùng với sự khác biệt giữa chúng. Trong các năm ACE cao và thấp cho thấy APSJ với trục gió tây cao nhất khoảng trên  $30 \text{ ms}^{-1}$  từ  $35^{\circ}\text{N}$  đến  $50^{\circ}\text{N}$  và 80 đến  $100^{\circ}\text{E}$  phù hợp với đặc điểm khí hậu của APSJ trong mùa hè bởi nhóm tác giả Lin và ctv (2005, 2010) [100], [101]. Mặc dù có sự tương đồng nhưng có một số khác biệt đáng kể của APSJ giữa các năm ACE cao và năm thấp: Đầu tiên, những năm ACE cao có trục gió (đường phân chia vùng gió tây cao nhất theo vĩ hướng) dịch chuyển xa đường xích đạo hơn so với những năm ACE thấp (Hình 3.16a). Thứ hai, hai vùng tốc độ gió thấp hơn khoảng  $2 \text{ ms}^{-1}$  chủ yếu ở phía Nam vĩ độ  $30^{\circ}\text{N}$ , kéo dài từ tây sang đông, qua Đài Loan (Hình 3.16b).

Điều này gợi nhớ đến mối tương quan nghịch giữa JSSTG với ACE, hay sự khác nhau về độ cao địa thế vị trong Hình 3.13, cũng như trong các nghiên cứu trước đây về kiểu P-J liên quan đến hai vùng phía Đông Đài Loan và Đông Nam Nhật Bản (Kosaka và ctv, 2006 [89], Lu 2004 [103]; Kubota và ctv, 2016 [91]; Chen và ctv, 2017 [51], 2019 [53]).



Hình 3. 16. (a) Trung bình U200mb mùa hè ( $ms^{-1}$ ) cho các năm ACE cao (đường đậm màu đỏ là gió tây và mảnh là gió đông) và các năm ACE thấp (đường đứt đậm màu xanh là gió tây và liền mảnh là gió đông). (b) Sự khác nhau của U200 mb giữa các năm ACE cao và thấp, vùng tô màu vàng (xanh) thể hiện chênh lệch dương (âm) với mức độ tin cậy 95%.

Để xác nhận rõ hơn về mối quan hệ giữa hoạt động của APSJ trong mùa hè với bão trên Biển Đông, mối tương quan giữa ACE với gió vĩ hướng từ tầng thấp đến cao được kiểm tra trên cả tập số liệu của JMA và JTWC được dẫn ra trong Hình 3.17. Kết quả cho thấy sự tương đồng trong cả hai tập số liệu của JMA và JTWC về phân bố hệ số tương quan giữa ACE với gió vĩ hướng mực 200mb trung bình trong mùa hè, một lần nữa cho thấy vai trò của APSJ đối với ACE trên Biển Đông (Hình 3.17a,c). Mối tương quan thuận ở khoảng vĩ độ 40°N và từ kinh độ 90°E - 120°E với hệ số tương quan khoảng 0,33 đến 0,7. Mối tương quan này có thể thấy phổ biến từ tầng đối lưu thấp đến tầng đối lưu cao hơn. Ngoài ra, tồn tại tương quan nghịch ở phía Nam cao nguyên Tây Tạng (vĩ tuyến 20°N) với hệ số tương quan khoảng 0,33-0,5 nhưng đạt độ tin cậy thống kê 95% ở tầng đối lưu giữa và đối lưu trên (Hình 3.17b, d).

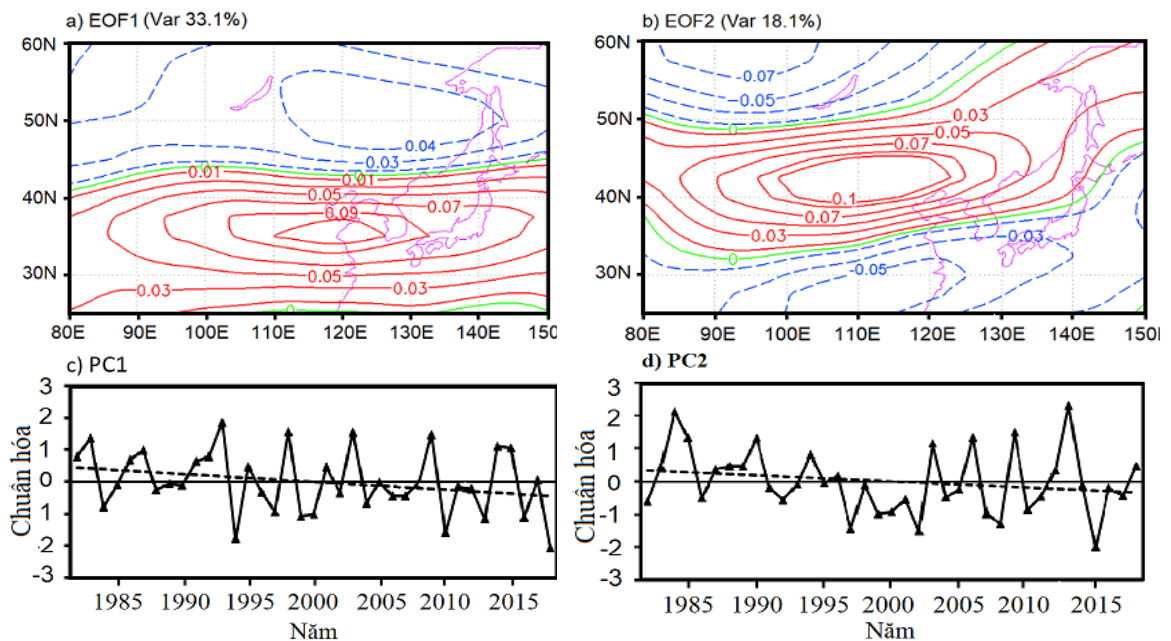


Hình 3. 17. Phân bố hệ số tương quan giữa U200mb trung bình mùa hè với ACE được xác định từ số liệu của JMA (a). (b) tương tự như (a) nhưng là mặt cắt vĩ hướng với kinh độ từ  $90^{\circ}\text{N}$ - $120^{\circ}\text{E}$ . Từ (c-d) tương tự như (a-b) nhưng cho ACE được xác định từ số liệu JTWC. Vùng màu vàng (xanh) thể hiện tương quan dương (âm) với mức độ tin cậy 95% (99%).

Để phân tích sâu hơn về mối tương quan về hoạt động của APSJ (sự thay đổi vị trí và cường độ) với môi trường quy mô lớn, cũng như giữa ACE với JSST liên quan đến biển phía Đông Nam Nhật Bản, phân tích EOF được áp dụng cho gió vĩ hướng mực 200 mb trong mùa hè thời kỳ 1982-2018 với miền được xác định để phân tích ( $25$ - $55^{\circ}\text{N}$ ;  $80^{\circ}$ - $150^{\circ}\text{E}$ ). Thành phần chính đầu tiên (PC1) giải thích 33,1% tổng phương sai và cấu trúc EOF tương ứng của nó được đặc trưng bởi phân bố theo kinh tuyến, với các giá trị dương ở phía Nam của trục APSJ và giá trị âm ở phía Bắc của  $40^{\circ}\text{N}$  (Hình 3.18a). Tương tự, thành phần chính thứ hai (PC2) giải thích 18,1% tổng phương sai cho thấy cấu trúc EOF với tâm dương khoảng  $40^{\circ}\text{N}$  và  $110^{\circ}\text{E}$ , gần như trục của APSJ trong mùa hè (Hình 3.17b), kết quả phân tích này tương đồng với các kết quả nghiên cứu

được dẫn ra của Li. C và ctv (2004) [96], Lin và ctv (2005, 2010) [100], [101]; Wang. X và ctv (2012) [133].

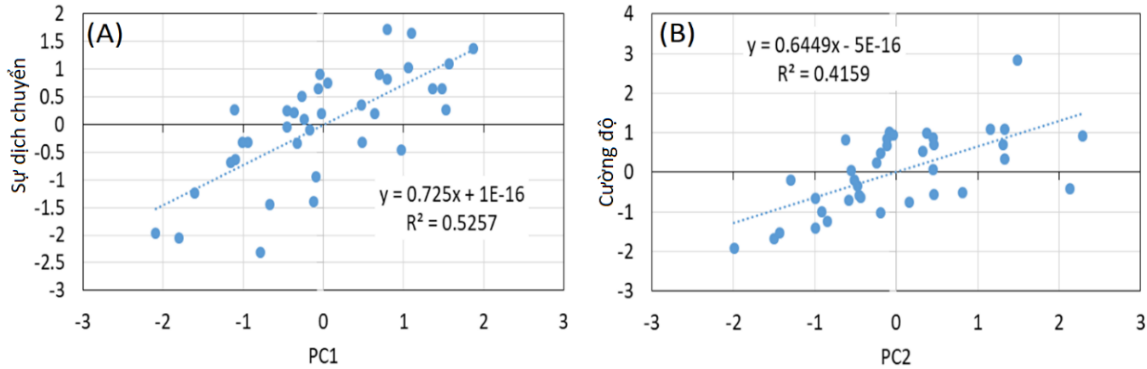
Bởi vì sự phân bố của véc tơ riêng gần tương tự như phân bố thực của gió vĩ hướng mực 200mb, PC1 và PC2 được coi là thước đo cho vị trí và cường độ của APSJ. Tương tự như Lin (2005, 2010), PC1 dương sẽ chỉ ra rằng APSJ thay đổi vị trí về phía Nam và ngược lại PC1 âm là về phía Bắc. Ngược lại, PC2 dương cho thấy tốc độ gió tổng thể liên quan đến APSJ sẽ tăng lên và chỉ thị cho cường độ cao hơn của APSJ (Lin và ctv, 2005, 2010 [100], [101]; Zhang và ctv, 2008 [148]; Huang và ctv, 2014 [77]; Yan và ctv. 2019 [143]). Do đó, PC1 và PC2 được sử dụng cho đánh giá tiếp theo.



Hình 3. 18. EOF1 (a) và EOF2 (b) của gió vĩ hướng trung bình trong mùa hè mực 200 mb cho miền  $25^{\circ}N - 60^{\circ}N$ ,  $80^{\circ}E - 150^{\circ}E$ . (c-d) là thành phần chính tương ứng với EOF1 và EOF2. Giá trị trong ngoặc đơn của (a) và (b) là phần trăm tổng phương sai. Đường đen đứt nét trong (c), (d) là xu thế tuyến tính

Để xác nhận về phân tích EOF, một phương pháp khác xác định sự thay đổi vị trí của APSJ theo phương kinh tuyến là chênh lệch gió vĩ hướng mực 200mb giữa hai vùng ( $25^{\circ}-40^{\circ}N$ ,  $120^{\circ}E - 150^{\circ}E$ ) và ( $40^{\circ}-55^{\circ}N$ ,  $120^{\circ}E-150^{\circ}E$ ) (Lu, 2004 [103], Yan và ctv, 2019 [143]). Huang và ctv (2014) [75] xác định cường độ APSJ là tốc độ gió vĩ hướng mực 200mb trung bình vùng ( $37,5^{\circ}-$

42,5°N, 80°E-100°E). Tương quan giữa hai phương pháp xác định sự thay đổi vị trí và cường độ của APSJ dẫn ra trong Hình 3.19a, b. Kết quả cho thấy tương quan thuận khá cao giữa sự thay đổi vị trí của APSJ theo phương pháp của Lu và Yan với PC1 (hệ số tương quan là 0,73) và tương quan thuận giữa cường độ của APSJ theo phương pháp của Huang với PC2 cũng khá cao (hệ số tương quan là 0,64). Nhìn chung giữa hai phương pháp có sự tương đồng nhất định.



Hình 3. 19. (a) Tương quan giữa PC1 và sự thay đổi vị trí của APSJ theo định nghĩa bởi Yan (2019) và (b) PC2 với cường độ của APSJ bởi Huang (2014)

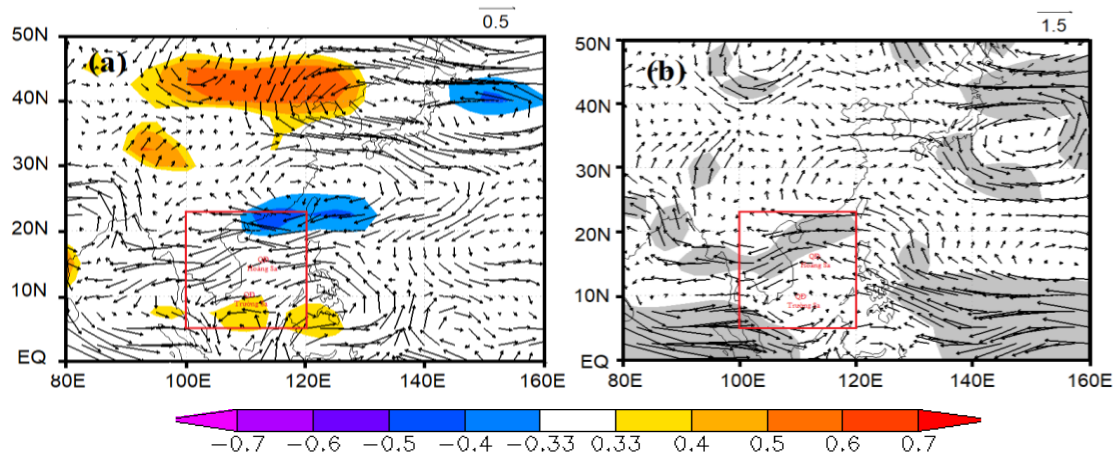
Bảng 3.5 cho thấy tương quan giữa các thành phần chính PC1 và PC2 với các đặc trưng khác nhau của bão trên Biển Đông cũng như JSSTG. Kết quả cho thấy tương quan khá thấp giữa các đặc trưng của bão với PC1 nhưng với PC2 đạt độ tin cậy thống kê 95%. Điều này cho thấy sự thay đổi vị trí của APSJ đóng góp rất ít vào biến động hàng năm của bão trên Biển Đông, trong khi cường độ của APSJ có vai trò lớn hơn nhiều. Đồng thời cường độ APSJ (PC2) có xu hướng kết nối mạnh mẽ hơn tới JSSTG so với vị trí APSJ.

Bảng 3. 5. Hệ số tương quan giữa thành phần chính (PC) với ACE, số cơn bão (C8), ngày có bão (NCB), số cơn bão từ cấp 12 trở lên (C12) và JSSTG.

	Số liệu từ JMA				Số liệu từ JTWC				JSSTG
	ACE	C8	NCB	C12	ACE	C8	NCB	C12	
PC1	0,14	0,14	0,07	0,26	0,09	0,06	-0,07	0,07	-0,14
<b>PC2</b>	<b>0,59</b>	<b>0,52</b>	<b>0,49</b>	<b>0,57</b>	<b>0,50</b>	<b>0,47</b>	<b>0,30</b>	<b>0,38</b>	<b>-0,44</b>

Để xác nhận vai trò của PC2 liên quan đến JSSTG cũng như bão trên Biển Đông, Hình 3.20 cho thấy sự phân bố của hệ số tương quan giữa PC2 với

gió vĩ hướng mực 850 mb. Đầu tiên nhận thấy hệ số tương quan thuận giữa PC2 với gió vĩ hướng mực 850mb trên khu vực cận nhiệt đới-Đông Á, khoảng vĩ độ  $40^{\circ}\text{N}$  và tương quan âm ở Bắc Biển Đông (Hình 3.20 a). Thứ hai, trong các năm ACE cao, trên mực 850mb cho thấy chuẩn sai gió tây ở phía Nam Philippines và Biển Đông, đồng thời gió đông thịnh hành ở phía Bắc Biển Đông và Philippines. Kết quả xu hướng kiểu chuẩn sai gió này tạo thành xoáy thuận trên Biển Đông và biển phía Đông Philippines (tương tự kết quả được dẫn ra trong Hình 3.14c). Điều này cho thấy PC2 cao hơn (cường độ APSJ mạnh hơn) liên quan đến JSSTG âm, xu hướng xoáy thuận trên Biển Đông và biển phía Đông Philippines, thuận lợi cho hoạt động của bão, do đó ACE cao trên khu vực Biển Đông. Tương tự, năm JSSTG dương tương ứng với cường độ APSJ yếu hơn, xu hướng xoáy nghịch trên Biển Đông và biển phía Đông Philippines, dẫn đến ít thuận lợi cho hoạt động của bão và giảm ACE trên Biển Đông.

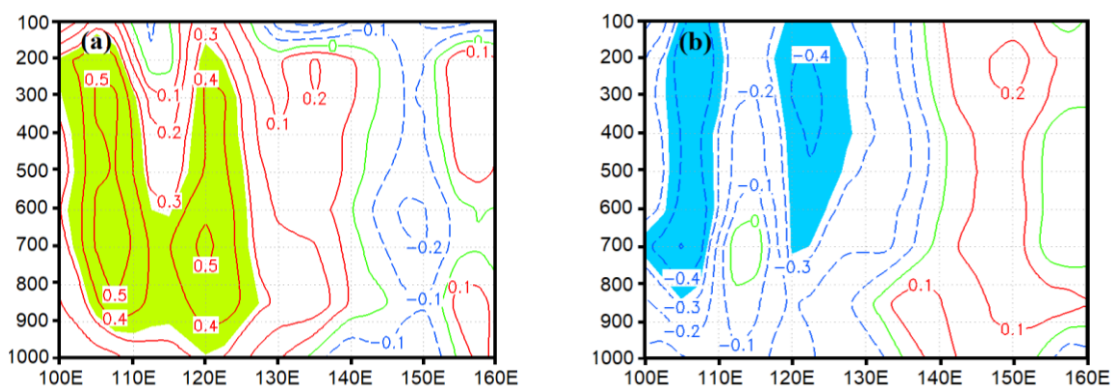


Hình 3. 20. (a) Hệ số tương quan giữa PC2 với U850mb trung bình tháng 6 đến 11 (vùng màu) và chuẩn sai gió mực 850mb trong các năm ACE cao (vector), (b) sự khác nhau của gió mực 850 mb trong năm ACE cao và thấp.

Với những thay đổi trong hoàn lưu mực thấp trên Biển Đông và biển phía Đông Philippines liên quan đến sự biến động của PC2, dẫn đến các điều kiện quy mô lớn khác ở khu vực này cũng phải thích ứng với những thay đổi trong hoàn lưu quy mô lớn thông qua kiểu Thái Bình Dương - Nhật Bản (P-J) (Nitta, 1987 [108]; Choi và ctv, 2010 [55]; Kubota và ctv, 2016 [91]). Kiểu P-J này được thiết lập kết nối hoạt động đối lưu ở biển phía Đông Philippines với các

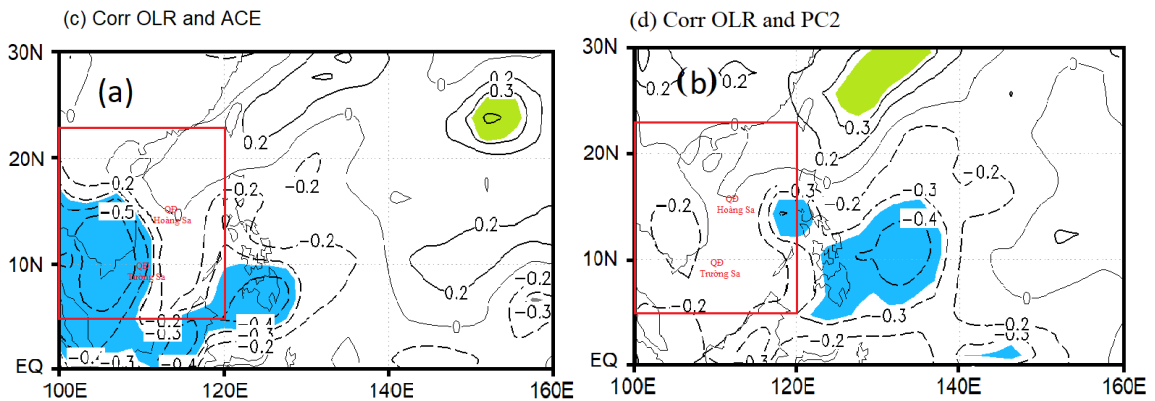
hoàn lưu quy mô lớn giữa khu vực TBTBD và Đông Á. Do đó, bất kỳ sự biến động của APSJ được liên kết với JSSTG như mối quan hệ tương quan giữa PC2 với JSSTG cũng có tác động tới hoạt động bão trên Biển Đông.

Liên quan đến hoạt động của đối lưu, Hình 3.21 thể hiện mặt cắt kinh hướng vĩ độ  $5^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$  về hệ số tương quan giữa JSSTG với tốc độ thẳng đứng trung bình ( $\bar{w}$ ) từ tháng 6 đến tháng 11 (Hình 3.21a) và giữa  $\bar{w}$  với ACE (Hình 3.21b). Tồn tại mối tương quan thuận với mức độ tin cậy 95% giữa  $\bar{w}$  với JSSTG, cùng với tương quan nghịch giữa ( $\bar{w}$ ) với ACE. Hệ số tương quan được chia thành hai vùng theo mực khí áp; một vùng khoảng từ  $100^{\circ}\text{E}$  đến  $110^{\circ}\text{E}$  và khoảng  $120^{\circ}\text{E}$  đến  $130^{\circ}\text{E}$ . Mối tương quan này có ý nghĩa trong vùng Biển Đông khoảng từ  $110^{\circ}\text{E}$ - $120^{\circ}\text{E}$  và cho thấy rằng JSSTG cao hơn sẽ tương ứng với  $\bar{w}$  yếu hơn trên Biển Đông. Khu vực có tương quan thuận cao giữa  $\bar{w}$  với JSSTG cũng là khu vực có tương quan nghịch giữa  $\bar{w}$  và ACE với mức độ tin cậy 95%. Điều này cho thấy, năm có JSSTG dương, bất lợi cho sự xuất hiện của bão ở biển phía Đông Philippines, ít bão hoạt động và di chuyển vào Biển Đông hơn. Sự khác nhau về phân bố hệ số tương quan dương (âm) cho thấy năm JSSTG dương (âm) có xu thế ACE cao (thấp) phù hợp với tương quan nghịch giữa JSSTG với ACE và xác nhận ảnh hưởng của JSSTG đến điều kiện quy mô lớn trên Biển Đông và biển phía Đông Philippines và kiểu P-J.



Hình 3. 21. Mặt cắt ngang kinh hướng vĩ độ  $5^{\circ}\text{N}$ - $15^{\circ}\text{N}$  của hệ số tương quan giữa JSSTG với tốc độ thẳng đứng trung bình ( $\bar{w}$ ) tháng 6 đến tháng 11 (a). (b) tương tự như (a) nhưng quan hệ giữa ACE với  $\bar{w}$ . Vùng màu vàng (xanh) thể hiện hệ số tương quan dương (âm) với mức độ tin cậy 95%.

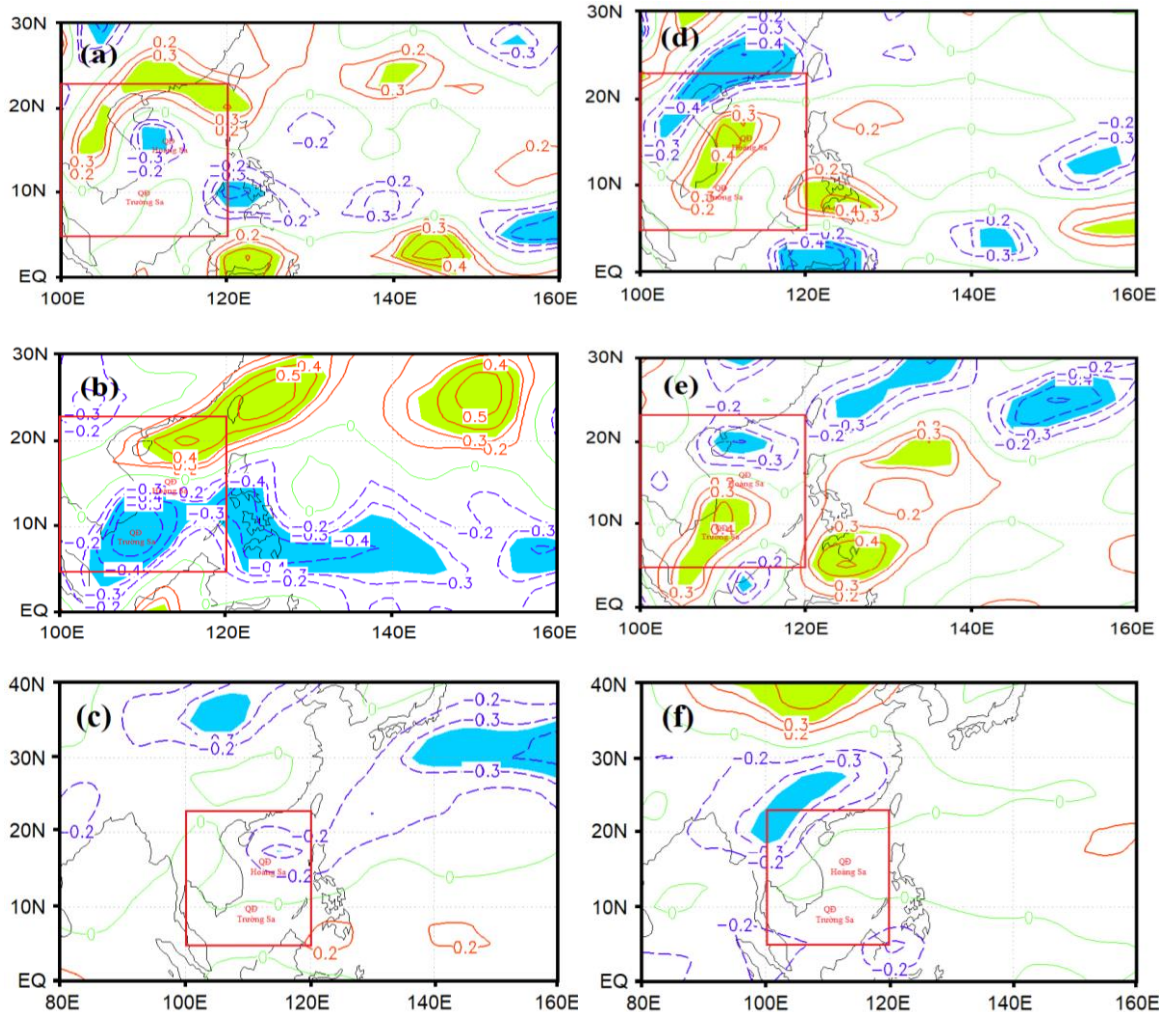
Xác nhận thêm về hoạt động đối lưu đến bão trên khu vực Biển Đông và biển phía Đông Philippines, Hình 3.22 thể hiện tương quan giữa ACE và PC2 với bức xạ sóng dài (OLR) cho thấy mối tương quan nghịch phổ biến ở khu vực Philippines và Biển Đông. Điều này cho thấy cường độ APSJ mạnh hơn tương ứng là hoạt động đối lưu phát triển mạnh hơn trên Biển Đông và biển phía Đông Philippines, dẫn đến thuận lợi cho bão hoạt động và ACE cao hơn.



Hình 3. 22. Hệ số tương quan giữa ACE (a) và PC2 (b) với OLR; Vùng màu vàng (xanh) thể hiện hệ số tương quan dương (âm) với mức độ tin cậy 95%.

Các nghiên cứu trước đã cho thấy một số các yếu tố môi trường quan trọng đối với sự phát triển nhiễu động nhiệt đới, tiền thân của sự xuất hiện bão. Nhằm đánh giá ảnh hưởng của JSSTG đối với các yếu tố môi trường, Hình 3.23 dẫn ra mối tương quan giữa JSSTG và ACE với xoáy mực 850mb, với độ tán mực 200mb, với độ đứt gió thẳng đứng mực 200-850mb. Kết quả cho thấy tương quan nghịch giữa JSSTG với xoáy tương đối mực 850 mb và tương quan thuận với ACE ở khu vực phía Đông Philippines và Biển Đông (Hình 3.23a, d). Điều này cho thấy khi JSSTG dương (âm), xoáy tương đối tầng đối lưu thấp ít (nhiều hơn), bất lợi (thuận lợi) cho bão hình thành (có thể liên quan đến rãnh gió mùa như được dẫn ra bởi Chen và Huang 2008 [49]). Tương tự, tương quan nghịch giữa JSSTG với độ tán mực 200mb nhưng tương quan thuận với ACE ở khu vực phía Đông Philippines và Biển Đông cho thấy JSSTG cao (thấp hơn) sẽ tương ứng với phân kỳ tầng trên yếu (mạnh hơn). Điều này lần lượt chỉ ra các điều kiện bất lợi (thuận lợi) cho sự hình thành bão (Hình 3.23b,c). Hình

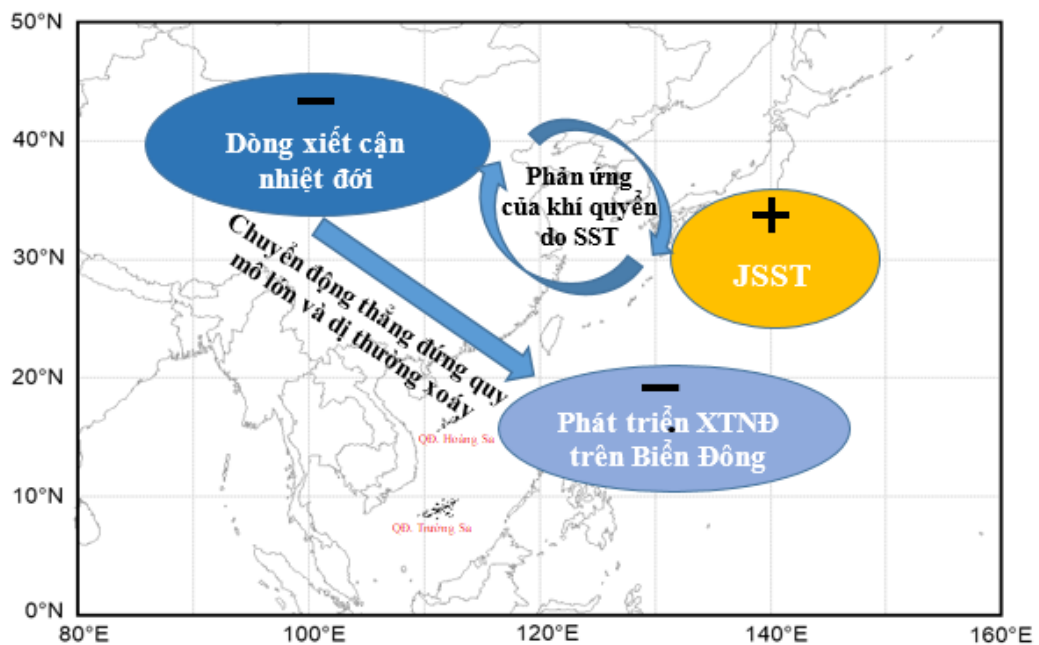
3.23e, f dẫn ra tương quan thấp giữa độ đứt gió thẳng đứng mức 200-850mb với JSSTG và ACE ở khu vực Biển Đông và biển phía Đông Philippines; có thể mối tương quan này sẽ rõ hơn trong quy mô nội mùa. Mặc dù vậy, tương quan âm giữa độ đứt gió thẳng đứng mức 200-850mb với ACE đạt độ tin 95% ở khu vực phía Bắc Việt Nam (Hình 3.23f) cho thấy vai trò của độ đứt gió thẳng đứng đối với bão ở khu vực này.



Hình 3. 23. Hệ số tương quan giữa JSSTG với các yếu tố môi trường trung bình từ tháng 6 đến tháng 11; Xoáy tương đối mực 850 mb (a), độ tán tương đối mực 200mb (b), độ đứt gió thẳng đứng mức 200-850 mb (c). Từ (d-f) tương tự (a-c) nhưng mối tương quan giữa ACE với các yếu tố môi trường. Vùng tô màu vàng (xanh) biểu thị hệ số tương quan dương (âm) với mức độ tin cậy 95%.

Kết quả thu được từ các phân tích trên đưa ra lời giải thích cho ảnh hưởng của SST vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản với hoạt động bão trên Biển Đông

như một phần của kiểu P-J được tóm tắt trong sơ đồ khái quát về trường hợp JSST dương ở Hình 3.24. Giả sử SST cao hơn được phát triển ở biển phía Đông Nam Nhật Bản. Phản hồi sau đó của hoàn khí quyển quy mô lớn dẫn đến sự thay đổi JSSTG, dẫn đến chuẩn sai gió tây âm ở Đông Á (gió tây ở Đông Á ít được tăng cường), dẫn đến sự phát triển của xoáy nghịch ở mực đối lưu thấp trên biển Philippines (Hình 3.14). Cùng theo đó hạn chế đối lưu trên Biển Đông và biển Philippines (Hình 3.21), điều kiện môi trường cho sự phát triển của bão kém thuận lợi hơn (Hình 3.23), do đó ít bão vào Biển Đông và giảm ACE. Quá trình là ngược lại trong những năm JSSTG dưới mức trung bình và giải thích mối tương quan nghịch giữa JSSTG và ACE trên Biển Đông.



Hình 3. 24. Sơ đồ minh họa sự ảnh hưởng của SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản đối với hoạt động của bão trên Biển Đông;

Trong sơ đồ này 3.24, cường độ APSJ phản ứng với những thay đổi của JSST thông qua động lực quy mô lớn, do đó ảnh hưởng đến hoạt động của bão trên Biển Đông bằng cách tăng cường hoặc ngăn chặn chuyển động thẳng đứng quy mô lớn và xoáy tương đối trên Biển Đông. Các dấu (-) biểu thị sự phát triển chuẩn sai âm tương ứng với chuẩn sai dương của JSST (+).

Khó có thể quy cho bất kỳ tương tác nhân quả nào giữa SST và APSJ

hay cung cấp bất kỳ cơ chế vật lý nào làm cơ sở cho sự phát triển của xoáy như được dẫn ra trong Hình 3.14. Tuy nhiên, mối quan hệ thống kê chặt chẽ giữa JSSTG, APSJ với ACE, cùng với điều kiện môi trường về xoáy mực thấp, sự phân kỳ mực cao và chuyển động thẳng đứng thuận lợi hoặc bất lợi đối với hoạt động của bão trên Biển Đông. Mối quan hệ thống kê chặt chẽ này cho thấy sự tương phản giữa các vùng biển với bề âm TBTBD hay kiểu P-J đã được dẫn ra bởi các kết quả nghiên cứu trước. Những điều kiện này đề xuất rằng JSST có thể ảnh hưởng gián tiếp đến hoạt động của bão trên Biển Đông.

### 3.3 Tiểu kết về chương 3

Kết quả nghiên cứu ở chương 3 cho thấy:

- Mặc dù có sự tương đồng nhất định trên Biển Đông và TBTBD về thời gian tập trung năng lượng bão trong năm vào tháng 7-11 nhưng vẫn có sự khác nhau về thời gian tập trung cao điểm; trên Biển Đông khoảng 9-10, trong khi đó khu vực TBTBD trong khoảng tháng 8-9.

- Số lượng bão và ACE trên Biển Đông biến động khá rõ, năm cao có tới 14-16 cơn nhưng có năm chỉ có 4-5 cơn. Trị số ACE trung bình nhiều năm khoảng  $76-80 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  (năm cao khoảng  $140-160 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ).

- Trên ô lưới 2,5 độ kinh vĩ, ở khu vực bờ biển Trung Bộ từ khoảng vĩ tuyến  $16^{\circ}\text{N}$  đến  $18^{\circ}\text{N}$  và khu vực bờ biển Bắc Bộ từ khoảng  $20^{\circ}\text{N}$  trở lên phía Bắc có số lượng bão và ACE cao nhất trong dải ven biển nước ta.

- Xu thế tuyến tính của bão và ACE nhìn chung giảm trong giai đoạn từ 1982-2018 và tăng trong hai thập kỷ gần đây từ 1999-2018 khá nhất quán trên cả hai tập số liệu của JMA và JTWC nhưng không đạt độ tin cậy thống kê 95%.

- Ảnh hưởng của SST vùng trung tâm Bắc Thái Bình Dương có sự khác nhau đến bão trên Biển Đông và TBTBD. ACE trên Biển Đông tương quan nghịch với SST trên Biển Đông, ISST, SSST và JSST nhưng hệ số tương quan thấp, trong khi đó JSST có hệ số tương quan cao nhất.

- Phân tích gió ở mực 850 mb và 200mb với năm ACE trên Biển Đông cao và thấp cho thấy năm ACE thấp (JSSTG cao), xoáy thuận tầng đối lưu cao

(mức 200mb) và xoáy nghịch ở tầng thấp (mức 850mb), đối lưu phát triển yếu, ít xoáy tương đối tầng thấp và sự phân kỳ tầng trên yếu ở khu vực Biển Đông và biển phía Đông Philippines, gây bất lợi cho bão hình thành và di chuyển vào Biển Đông, do đó ACE giảm trên Biển Đông. Ngược lại cho năm ACE cao (JSSTG âm), thuận lợi cho bão hình thành và di chuyển vào Biển Đông.

- Trong năm JSSTG cao chuẩn sai gió đông tầng cao khu vực Đông Á được liên kết với APSJ yếu hơn, phản hồi sau đó của hoàn khí quyển quy mô lớn dẫn đến chuẩn sai gió xoáy nghịch ở tầng thấp và xoáy thuận tầng cao, bất lợi cho bão hình thành và hoạt động ở biển phía Đông Philippines. Điều này, APSJ được xem là cầu nối của JSST với bão trên Biển Đông liên quan đến kiểu P-J đã được chứng minh từ nghiên cứu trước.

Mối quan hệ thống kê chặt chẽ giữa ACE trên Biển Đông với SST vùng biển phía Đông Nam Nhật bản, với cường độ dòng xiết cận nhiệt đới (U200mb) trong chương 3 sẽ được ứng dụng làm nhân tố dự báo từ sản phẩm của mô hình CFSv2 để xây dựng phương trình thống kê dự báo ACE trên Biển Đông. Kết quả sẽ được trình bày trong chương 4 sau đây.

## Chương 4.

# KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG SST Ở VÙNG BIỂN PHÍA ĐÔNG NAM NHẬT BẢN VÀ CƯỜNG ĐỘ DÒNG XIẾT CẬN NHIỆT ĐỐI ĐỂ DỰ BÁO NĂNG LƯỢNG BÃO TÍCH LŨY TRÊN BIỂN ĐÔNG

### 4.1 Đặt bài toán

Phương pháp thống kê dự báo khí hậu thường xây dựng và kiểm nghiệm phương trình dự báo dựa trên nhân tố dự báo (NTDB) từ tập số liệu quan trắc, sau đó sử dụng sản phẩm dự báo của mô hình động lực để thực hiện dự báo thực tế, cách tiệm cận này còn được gọi là “Perfect Prognostic” – “Dự báo hoàn hảo” (Phan Văn Tân và ctv, 2010) [21]. Một cách khác có thể sử dụng sản phẩm dự báo lại của mô hình động lực thay cho số liệu quan trắc (Kim và ctv, 2013 [86]; Zhan và ctv, 2015 [155]). Trong nghiên cứu này, phương trình thống kê động lực dự báo ACE được xây dựng dựa trên NTDB là các sản phẩm dự báo lại của mô hình động lực toàn cầu CFSv2 thực hiện tại các thời điểm trong tháng 2 đến tháng 6 cho các yếu tố khí hậu từ tháng 6 đến tháng 12 trong các năm. Trong dự báo nghiệp vụ sẽ sử dụng các sản phẩm dự báo thực tế của CFSv2 cùng các thời kỳ như sản phẩm dự báo lại nêu trên.

Trong dự báo hạn mùa về bão, các cơ quan nghiệp vụ trên thế giới thường dự báo tổng số lượng bão, tổng ACE được tính cho cả mùa bão như TSR, CSU và có cập nhật thêm vào nửa cuối mùa bão, hoặc thực hiện dự báo trượt từng tháng một cho 3 tháng tiếp theo như Nguyễn Văn Thắng và ctv (2005) [24], Trần Quang Đức và ctv (2020) [8].

Trên cơ sở các công trình nghiên cứu dự báo bão hạn mùa, nghiên cứu này đặt bài toán cho thử nghiệm dự báo ACE trên Biển Đông như sau:

*Về đối tượng dự báo (ĐTDB):* Từ tháng 5 đến 12 có thể xem là mùa bão trên Biển Đông và ACE có xu hướng cao về cuối mùa nên phương trình dự báo được xây dựng cho tổng ACE trên Biển Đông từ tháng 5 đến tháng 12 (ACE1) và cập nhật dự báo tổng ACE trên Biển Đông từ tháng 8 đến tháng 12 (ACE2).

Về nhân tố dự báo (NTDB): Ở chương 3 thể hiện mối tương quan cao giữa ACE với SST vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản, với cường độ dòng xiết cận nhiệt đới. Do vậy, nghiên cứu sẽ sử dụng các NTDB này với số liệu của CFSv2 thực hiện trong tháng 2 đến tháng 6, thời kỳ 1982-2010 để làm đầu vào cho việc xây dựng phương trình dự báo ACE1 và ACE2, cụ thể về NTDB:

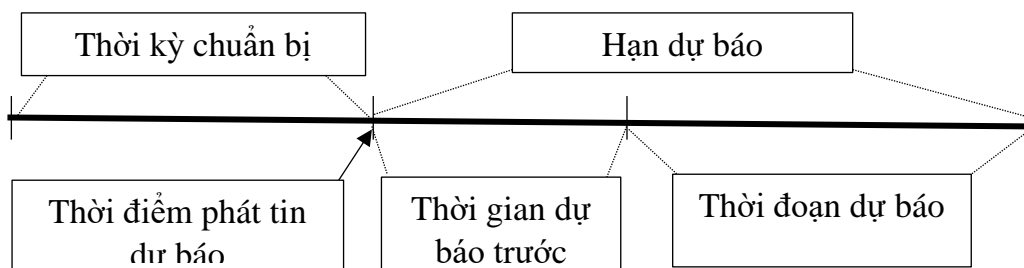
- Nhân tố dự báo JSST, phạm vi kinh vĩ độ được giới hạn ( $21^{\circ}$  -  $31^{\circ}$ N,  $145^{\circ}$  -  $165^{\circ}$ E) (hình chữ nhật màu cam trong Hình 4.5);

- Nhân tố dự báo JSSTG là chênh lệch giữa JSST và SST vùng biển ấm trung tâm TBTBD ( $0-15^{\circ}$ N,  $125^{\circ}$ E- $155^{\circ}$ E) (chênh lệch giữa SST trung bình trong hình chữ nhật màu cam và đen trong Hình 4.5);

- NTDB là gió vĩ hướng mực 200mb (U200) trên khu vực cận nhiệt đới vùng Đông Á ( $35^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ N,  $90$  -  $115^{\circ}$ E) (hình chữ nhật màu đen trong Hình 4.7).

Bởi vì ACE trên Biển Đông hàng năm có mối tương quan cao nhất với NTDB trung bình trong mùa hè như đã dẫn ra trong chương 3. Do đó NTDB trung bình trong tháng 6 đến tháng 8 được sử dụng cho thử nghiệm dự báo ACE1 và trung bình từ tháng 8 đến tháng 12 cho dự báo ACE2.

Trong dự báo khí hậu mối quan hệ giữa thời đoạn dự báo (forecast period), dự báo trước (lead time) và thời kỳ chuẩn bị số liệu dự báo (persistence) liên quan theo sơ đồ được thể hiện trong Hình 4.1: (1) Thời đoạn dự báo là thời kỳ dự báo có hiệu lực; (2) Thời trễ dự báo (dự báo trước) là khoảng thời gian từ thời điểm phát tin dự báo tới thời điểm dự báo bắt đầu có hiệu lực. Dự báo hạn dài dựa trên tất cả nguồn số liệu tính đến thời điểm bắt đầu thời đoạn dự báo, thời trễ bằng 0; (3) Hạn dự báo là tổng thời đoạn dự báo và thời trễ dự báo.



(Nguồn: Hoàng Đức Cường và ctv, 2013 [5])

Hình 4. 1. Biểu đồ về thời gian trong bài toán dự báo hạn mùa

Trên cơ sở số liệu của CFSv2 và một số khái niệm dự báo khí hậu được dẫn ra trong Hình 4.1, các khái niệm liên quan đến dự báo hạn mùa về ACE1 và ACE2 được mô tả chi tiết và dẫn ra trong Hình 4.2 và 4.3.

a) Đối với dự báo ACE1 (Hình 4.2):

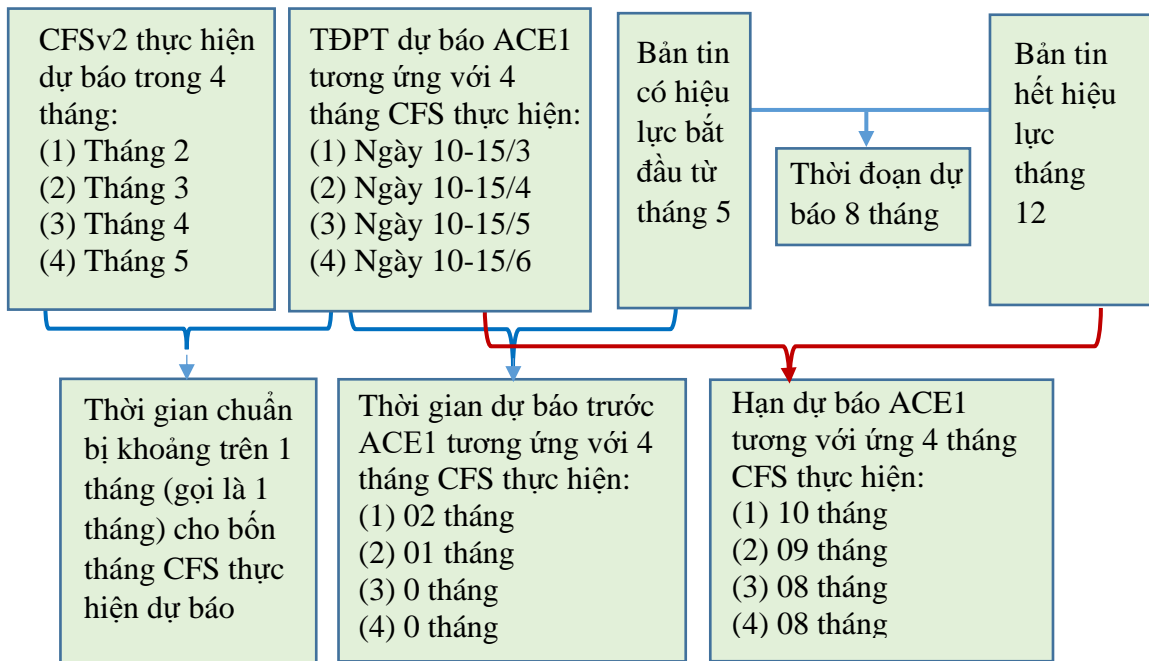
- Khi CFSv2 thực hiện dự báo nghiệp vụ trong tháng 2 (NTDB là JSST, JSSTG và U200mb được CFSv2 dự báo trong tháng 6 đến 8): (1) Thời kỳ chuẩn bị dự báo ACE1 khoảng một tháng rưỡi (gọi là 1 tháng) bao gồm thời gian 1 tháng để CFSv2 thực hiện dự báo trong tháng 2, cộng với thời gian khoảng 10 đến 15 ngày để xử lý số liệu CFSv2 và hội thảo thảo luận bản tin; (2) Thời điểm dự kiến phát hành tin (TĐPT) dự báo ACE1 vào khoảng từ ngày 10 đến 15 tháng 3; (3) Đối tượng dự báo tổng ACE1 từ tháng 5 đến tháng 12, do đó dự báo ACE1 sẽ có hiệu lực từ đầu tháng 5 và kết thúc cuối tháng 12 do đó thời đoạn dự báo sẽ là 8 tháng; (4) Từ TĐPT dự báo ACE1 trong tháng 3 (ngày 10-15 tháng 3) đến thời điểm dự báo bắt đầu có hiệu lực (đầu tháng 5) khoảng một tháng rưỡi hay thời gian dự báo trước (thời trễ dự báo) khoảng 2 tháng; và (5) Thời đoạn dự báo 8 tháng cộng với thời trễ dự báo khoảng 2 tháng do đó hạn dự báo ACE1 sẽ là khoảng 10 tháng.

- Tương tự, khi CFSv2 thực hiện trong tháng 3 (NTDB là JSST, JSSTG và U200mb được CFSv2 dự báo trong tháng 6 đến tháng 8): Thời kỳ chuẩn bị dự báo khoảng 1 tháng; Thời điểm dự kiến phát hành bản tin dự báo ACE1 vào khoảng từ ngày 10 đến 15 tháng 4; Đối tượng dự báo không thay đổi do đó thời đoạn dự báo là 8 tháng; Từ TĐPT dự báo ACE1 trong tháng 4 (ngày 10-15 tháng 4) đến khi bản tin bắt đầu có hiệu lực (đầu tháng 5) khoảng 10-15 ngày hay thời gian dự báo trước khoảng 1 tháng; Hạn dự báo khoảng 9 tháng.

- Khi CFSv2 thực hiện trong tháng 4 (NTDB là JSST, JSSTG và U200mb được CFSv2 dự báo trong tháng 6 đến tháng 8): Thời kỳ chuẩn bị dự báo khoảng 1 tháng; TĐPT dự báo ACE1 vào khoảng từ ngày 10 đến 15 tháng 5; Đối tượng dự báo không thay đổi do đó thời đoạn dự báo là 8 tháng; TĐPT dự báo ACE1 trong tháng 5 (ngày 10-15/5) đã qua thời điểm dự báo bắt đầu có

hiệu lực do đó thời trễ dự báo bằng không; Hạn dự báo ACE1 khoảng 8 tháng.

Cuối cùng, khi CFSv2 thực hiện trong tháng 5 (NTDB là JSST, JSSTG và U200mb được CFSv2 dự báo trong tháng 6 đến tháng 8): Thời kỳ chuẩn bị dự báo khoảng 1 tháng; TĐPT dự báo ACE1 vào khoảng ngày 10 đến 15 tháng 6; Đối tượng dự báo không thay đổi do đó thời đoạn dự báo là 8 tháng; TĐPT dự báo ACE1 trong tháng 6 (ngày 10-15/6) đã qua thời điểm dự báo bắt đầu có hiệu lực do đó thời trễ dự báo bằng không; Hạn dự báo ACE1 khoảng 8 tháng.



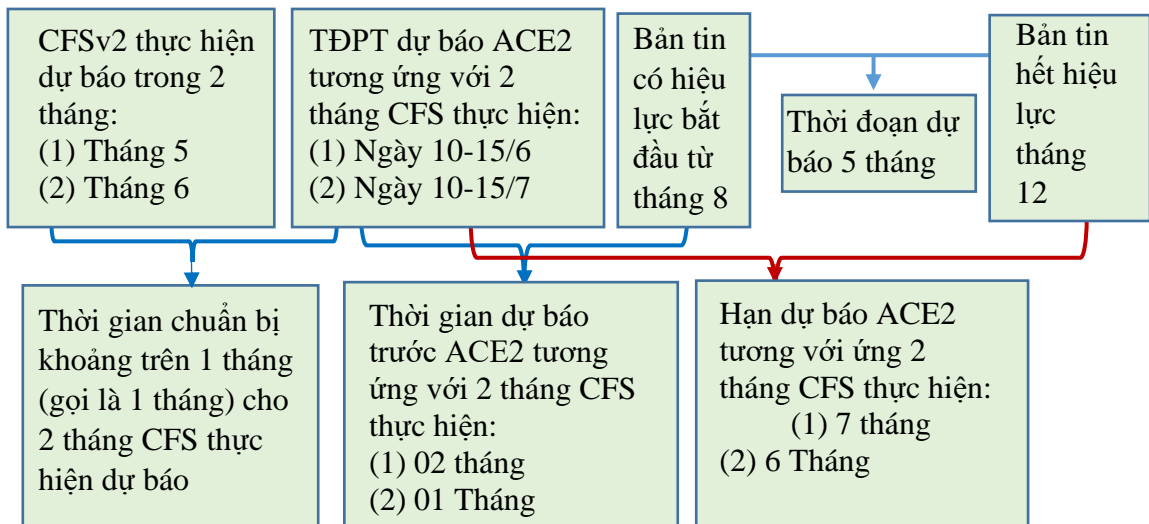
Hình 4. 2. Mô tả dự báo ACE1 trên Biển Đông

a) Đối với dự báo ACE2 (Hình 4.3):

- Khi CFSv2 thực hiện dự báo nghiệp vụ trong tháng 5 NTDB là JSST, JSSTG và U200mb được CFSv2 dự báo trong tháng 8 đến tháng 12): (1) Thời kỳ chuẩn bị dự báo ACE2 khoảng một tháng rưỡi (gọi là 1 tháng) bao gồm thời gian 1 tháng để CFSv2 thực hiện dự báo trong tháng 5, cộng với thời gian khoảng 10 đến 15 ngày để xử lý số liệu và hội thảo thảo luận bản tin; (2) Thời điểm dự kiến phát hành tin (TĐPT) dự báo vào khoảng từ ngày 10 đến 15 tháng 6; (3) Đối tượng dự báo ACE2 từ tháng 8 đến 12 do đó dự báo ACE2 sẽ có hiệu lực từ đầu tháng 8 và kết thúc cuối tháng 12 hay thời đoạn dự báo là 5 tháng; (4) Từ TĐPT dự báo ACE2 trong tháng 5 (ngày 10-15 tháng 5) đến khi dự báo

bắt đầu có hiệu lực (đầu tháng 8) khoảng một tháng rưỡi hay thời gian dự báo trước khoảng 2 tháng; (5) Thời đoạn dự báo khoảng 5 tháng và thời gian dự báo trước khoảng 2 tháng, do đó hạn dự báo ACE2 khoảng 7 tháng.

- Tương tự, khi CFSv2 thực hiện trong tháng 6 (NTDB là JSST, JSSTG và U200mb được CFSv2 dự báo trong tháng 8 đến tháng 12), thời kỳ chuẩn bị dự báo khoảng 1 tháng; Thời điểm dự kiến phát hành bản tin dự báo ACE2 vào khoảng từ ngày 10 đến 15 tháng 7; Đối tượng dự báo không thay đổi do đó thời đoạn dự báo là 5 tháng; Từ TĐPT dự báo ACE2 trong tháng 6 (ngày 10-15 tháng 6) đến khi dự báo bắt đầu có hiệu lực (đầu tháng 8) khoảng 10-15 ngày hay thời gian dự báo trước khoảng 1 tháng; Hạn dự báo ACE2 khoảng 6 tháng.



Hình 4. 3. Mô tả dự báo ACE2 trên Biển Đông

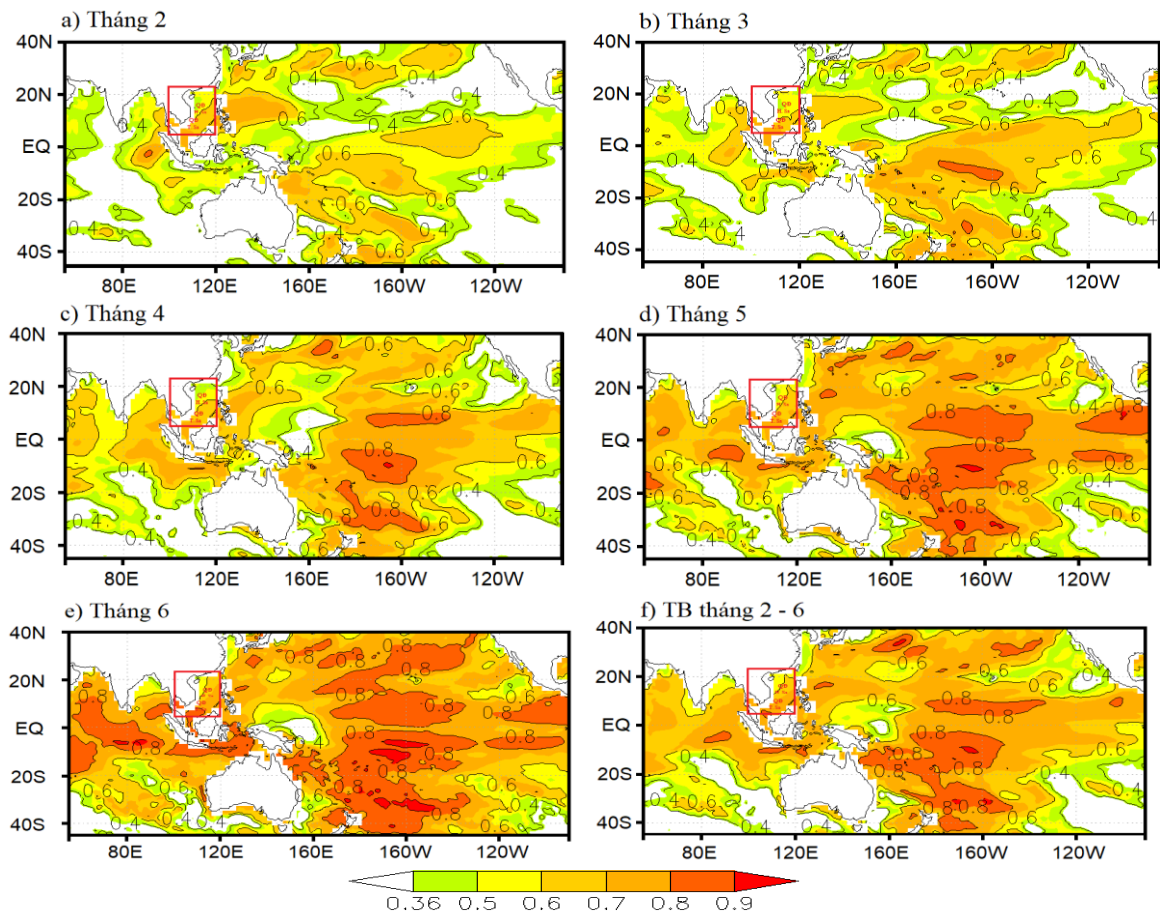
Các NTDB và ACE đều được chuẩn hóa khi xác định mối quan hệ và thành lập phương trình dự báo và được xác định từ số liệu của JMA. Kỹ năng dự báo của CFSv2 đối với NTDB từ sản phẩm dự báo lại sẽ được khảo sát dựa trên mối quan hệ đồng thời với quan trắc và ACE sau đây.

## 4.2. Quan hệ giữa SST, U200mb được CFSv2 dự báo với quan trắc và ACE

### 4.1.1 Quan hệ giữa SST được CFSv2 dự báo với quan trắc và ACE

Hệ số tương quan đồng thời giữa SSTA trung bình tháng 6 đến 10 từ số liệu quan trắc (số liệu tái phân tích) và trung bình 24 dự báo của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm từ tháng 2 đến tháng 6 được dẫn ra trong Hình 4.4. Kết

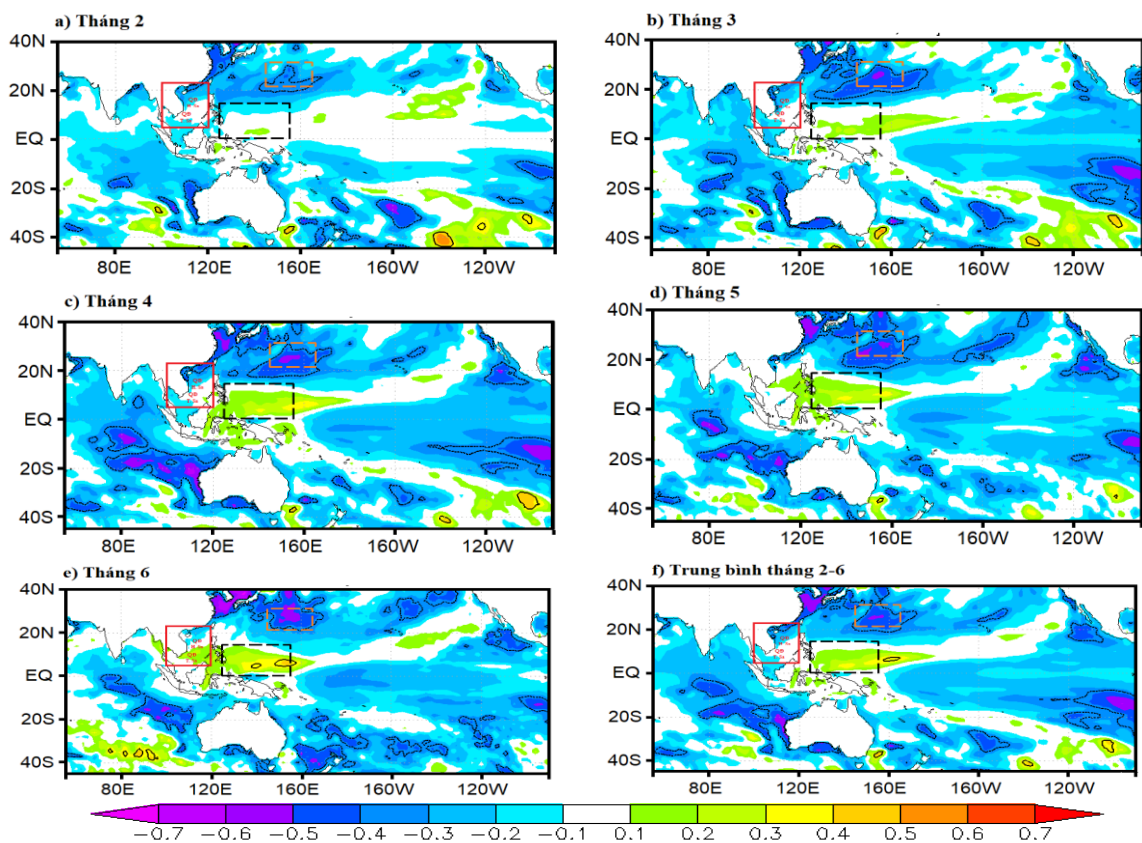
qua cho thấy dự báo SST của CFSv2 khá phù hợp với quan trắc, hệ số tương quan dương với mức độ tin cậy phổ biến trên 95%, cao hơn đáng kể ở vùng nhiệt đới, trung tâm Thái Bình Dương và vùng Nino. Đồng thời, hệ số tương quan khá cao ở vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản và bể ấm trung tâm TBTBD, vùng được định nghĩa sử dụng làm NTDB (Hình chữ nhật màu cam và đen trong Hình 4.5). Hệ số tương quan đạt khoảng 0,4 đến 0,6 tại thời điểm CFSv2 thực hiện trong tháng 2 đến tháng 3 và khoảng 0,7 đến 0,8 trong tháng 5 đến tháng 6. Nhìn chung, kỹ năng dự báo SST cao hơn khi CFSv2 thực hiện tại thời điểm gần với mùa bão trên Biển Đông.



Hình 4. 4. Phân bố không gian của hệ số tương quan đồng thời của SSTA trung bình tháng 6 đến tháng 10 giữa quan trắc với dự báo của CFSv2, thời kỳ 1982-2010. SST của CFSv2 là trung bình từ 24 dự báo của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm trong các tháng 2 đến tháng 6 (a-e) và (f) là trung bình từ (a-e).

Phân bố không gian của hệ số tương quan giữa ACE trên Biển Đông với SSTA trung bình tháng 6 đến tháng 10 từ sản phẩm CFSv2 thực hiện dự báo từ

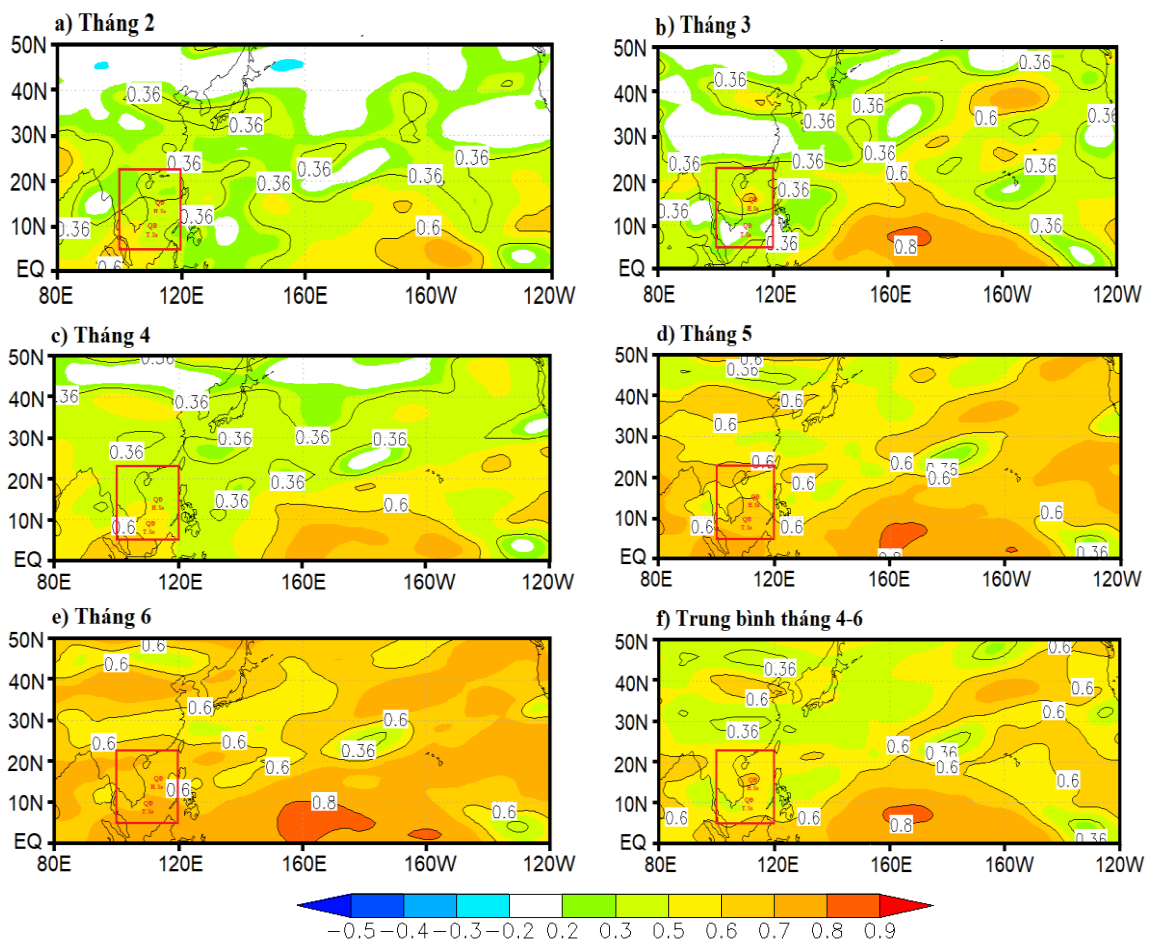
tháng 2 đến tháng 6 được thể hiện trong Hình 4.5. Kết quả cho thấy sự tương tự cao về phân bố không gian của hệ số tương quan giữa ACE trên Biển Đông với SST quan trắc (Hình 3.9 c,d chương 3) và với SST từ sản phẩm CFSv2 dự báo. Mối tương quan âm giữa ACE trên Biển Đông với SST từ sản phẩm CFSv2 dự báo trên cả ba vùng được định nghĩa trong chương 3 bao gồm vùng Ấn Độ Dương, vùng Tây Nam Thái Bình Dương và vùng biển phía Đông Nam Nhật Bản. Trong số ba vùng, SST ở biển Đông Nam Nhật Bản thể hiện mối quan hệ cao hơn với ACE trên Biển Đông (hệ số tương quan khoảng từ 0,36 đến 0,5). Ngược lại với tương quan âm trên ba vùng được đề cập ở trên, tương quan dương giữa ACE và SST được tìm thấy tại vùng biển ấm trung tâm TBTBD. Điều này cho thấy có sự tương phản khác nhau (dipole) về SST giữa vùng biển phía Đông-Tây Thái Bình Dương và biển Nhật Bản - biển ấm trung tâm TBTBD.



Hình 4. 5. Hệ số tương quan giữa ACE trên Biển Đông với SSTA từ trung bình 24 dự báo trong tháng 6 đến tháng 10 của CFSv2 thực hiện từ tháng 2 đến tháng 6, thời kỳ 1982-2018 (a-e) và (f) trung bình từ (a-e). Vùng bên trong đường contour màu đen thể hiện hệ số tương quan đạt độ tin cậy trên 95%.

#### 4.1.2 Quan hệ giữa U200mb được CFSv2 dự báo với quan trắc và ACE

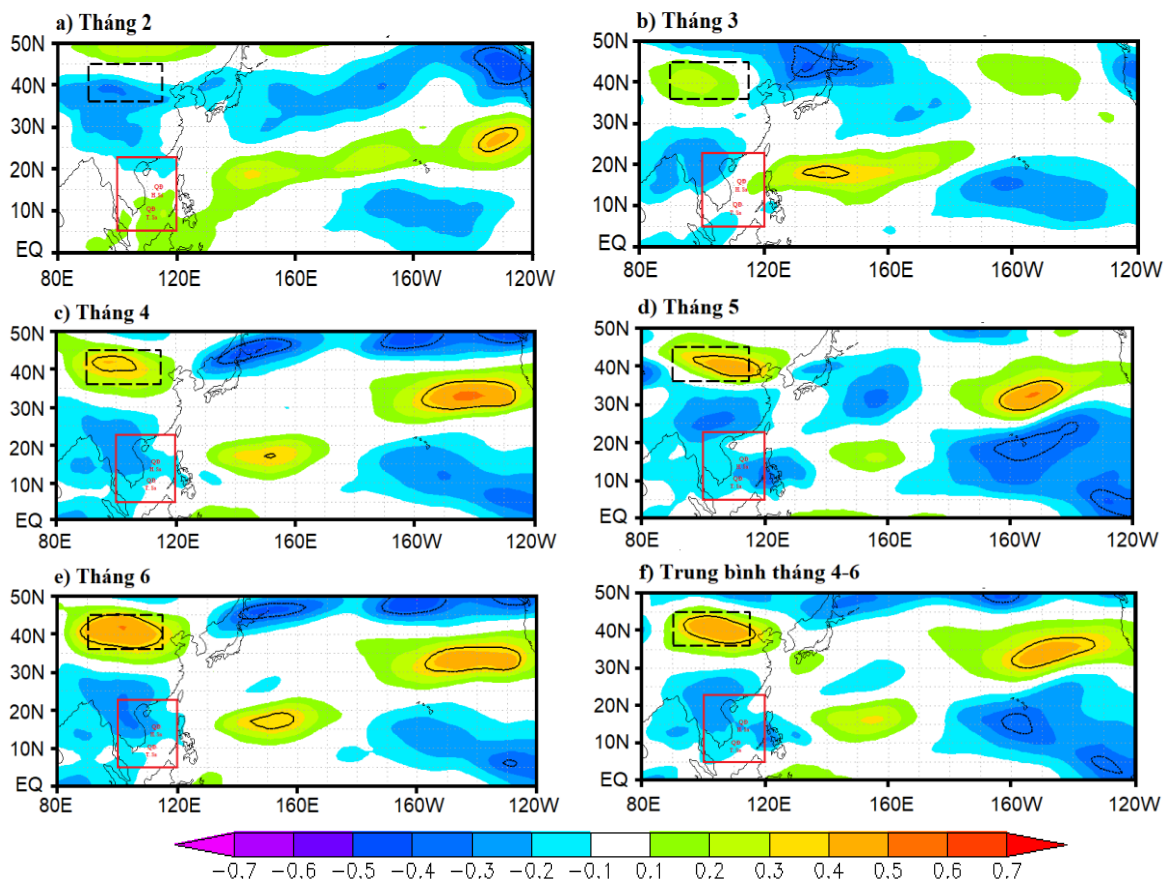
Tương tự như SST, phân bố không gian của hệ số tương quan giữa gió vĩ hướng mực 200mb trung bình trong mùa hè (tháng 6 đến tháng 8) từ quan trắc và trung bình 24 dự báo được CFSv2 thực hiện tại các thời điểm từ tháng 2 đến tháng 6 thể hiện trong Hình 4.6. Kết quả cho thấy hệ số tương quan dương giữa SST quan trắc và dự báo là khá cao và đạt mức độ tin cậy 95%; giá trị tương quan cao ở vùng xích đạo nhiệt đới, trung tâm xích đạo Thái Bình Dương và tương quan thấp hơn ở vùng vĩ độ cao. Ở khoảng vĩ độ 30°N-40°N, hệ số tương quan thấp khi CFSv2 thực hiện dự báo trong tháng 3 nhưng cao hơn trong tháng 4 và cao nhất khoảng 0,6-0,7 trong tháng 5 đến tháng 6.



Hình 4. 6. Tương tự như hình 4.4 nhưng là hệ số tương quan của U200 mb trung bình tháng 6 đến tháng 8 giữa quan trắc và dự báo của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm trong các tháng 2 đến tháng 6.

Mối tương quan giữa ACE trên Biển Đông với gió vĩ hướng mực 200mb

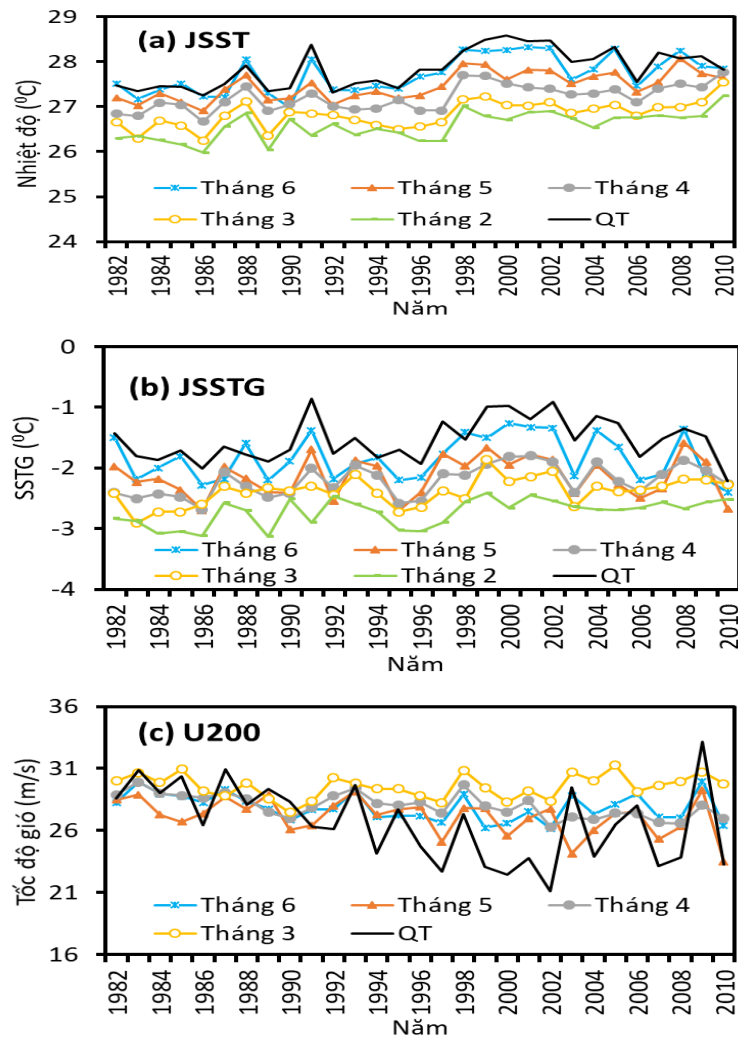
trung bình mùa hè từ sản phẩm CFSv2 thực hiện dự báo tại thời điểm từ tháng 2 đến tháng 6 được dẫn ra ở Hình 4.7. Hệ số tương quan dương trên khu vực Đông Á (khoảng vĩ độ 40<sup>0</sup>N) và âm ở phía Nam cao nguyên Tây Tạng. Tuy nhiên, trên khu vực Đông Á (hộp màu đen trong Hình 4.7), hệ số tương quan dương giữa ACE trên Biển Đông với U200mb của CFSv2 dự báo thấp hơn so với quan trắc (Hình 3.17 trong chương 3). Nhìn chung, tại thời điểm gần với mùa bão trên Biển Đông, dự báo gió vĩ hướng mực 200mb của CFSv2 trên khu vực Đông Á có kỹ năng cao hơn. Hệ số tương quan giữa ACE với gió vĩ hướng mực 200mb của CFSv2 dự báo được thực hiện trong tháng 3 và tháng 4 là khoảng từ 0,1 đến 0,2 và cao hơn khoảng 0,3 đến 0,4 trong tháng 6 và tháng 5.



Hình 4. 7. Tương tự như hình 4.5 nhưng là hệ số tương quan giữa ACE trên Biển Đông với U200 mb trung bình tháng mùa hè của CFSv2 dự báo. Vùng bên trong đường Contour màu đen là hệ số tương quan đạt độ tin cậy 95%

Hình 4.4 đến 4.7 cho thấy có thể ứng dụng nhân tố dự báo được định nghĩa là các vùng phụ trong chương 3 về JSST, JSSTG và U200 từ sản phẩm dự báo

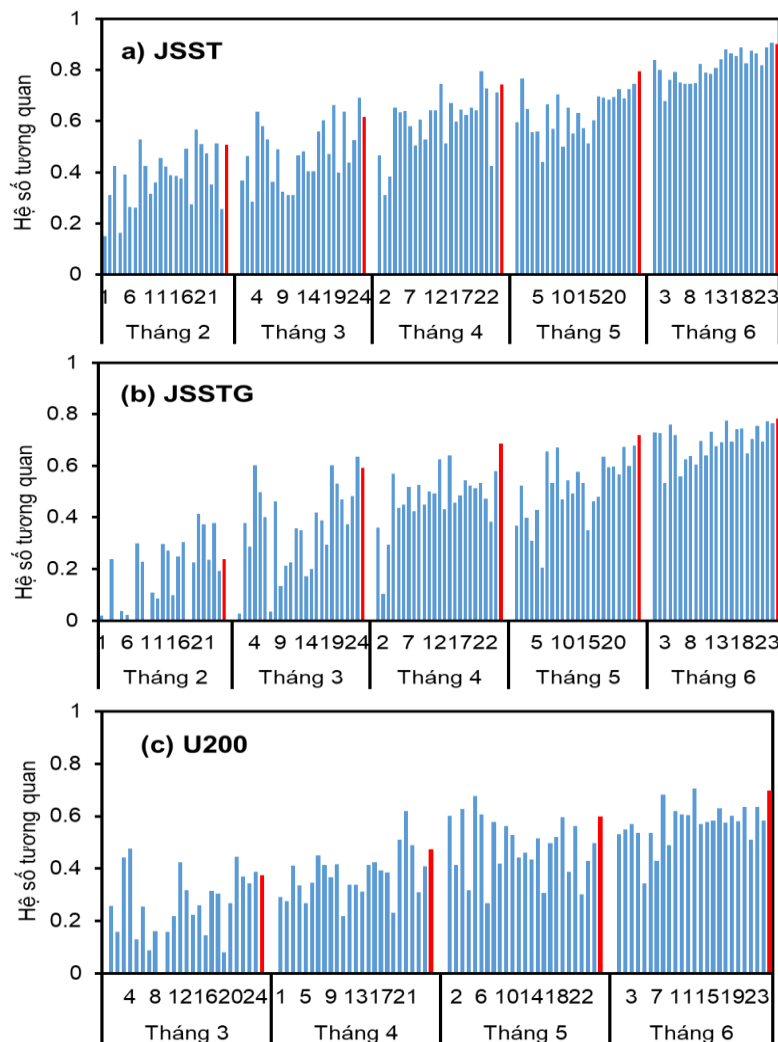
của CFSv2 làm đầu vào cho dự báo ACE trên Biển Đông. Từ Hình 4.8 cho thấy các NTDB là JSST, JSSTG và U200 từ sản phẩm CFSv2 dự báo trong mùa hè khá tương đồng so với quan trắc về diễn biến dao động cao, thấp trong các năm. Trị số của JSST được CFSv2 dự báo thấp hơn so với quan trắc khoảng từ 1 đến 2<sup>0</sup>C, trong khi đó U200 cao hơn phổ biến từ 2-4m/s. Tại các thời điểm CFSv2 thực hiện dự báo càng gần mùa bão, mức độ sai số so với quan trắc càng nhỏ.



Hình 4. 8. NTDB trung bình tháng 6-8 từ số liệu quan trắc và trung bình 24 dự báo của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm khác nhau, thời kỳ 1982-2010

Tương quan đồng thời của các NTDB trung bình tháng 6 đến tháng 8 giữa quan trắc và 24 dự báo đơn lẻ của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm trong tháng 5 đến tháng 6 là tương đối cao và thấp dần trong tháng 2 và tháng 3 (Hình 4.9). Hệ số tương quan giữa ACE và 24 dự báo thành phần đơn lẻ thấp hơn so

với tương quan giữa ACE và trung bình của 24 dự báo thành phần. Điều này cho thấy để dự báo ACE, trung bình 24 dự báo thành phần có thể hiệu quả hơn so với đơn lẻ. Vấn đề này cũng đã được thảo luận ở một số nghiên cứu dự báo hạn mùa như Mai Văn Khiêm và ctv (2019) [14] cho thấy dự báo tổ hợp từ nhiều thành phần cho phép xem xét tính bất định của các dự báo đơn lẻ. Thực tế một số tác giả như Zhan và ctv (2015) [156] dựa vào trung bình có trọng số của các dự báo thành phần, hoặc trung bình số học (Li. X và ctv, 2013) [99] để dự báo hạn mùa về ACE và bão khu vực TBTBD. Do đó, trong nghiên cứu này, các NTDB sẽ được xác định dựa trên trung bình 24 dự báo thành phần để xây dựng phương trình thử nghiệm dự báo ACE1 và ACE2.



Hình 4. 9. Hệ số tương quan của NTDB trung bình tháng 6 đến 8 giữa quan trắc và 24 dự báo đơn lẻ của CFSv2 thực hiện tại các thời điểm khác nhau, thời kỳ 1982-2010. Cột màu đỏ là tương quan với trung bình của 24 dự báo.

### 4.3. Xây dựng phương trình dự báo ACE

Phương trình dự báo ACE1 và ACE2 trên Biển Đông được xây dựng dựa trên cả hai phương pháp hồi quy tuyến tính đơn, đa biến từ số liệu dự báo lại thời kỳ 1982-2010 (số liệu phụ thuộc) và đánh giá chất lượng của phương trình dựa trên kiểm nghiệm Fisher với  $\alpha=5\%$ . NTDB được sử dụng để xây dựng phương trình dự báo ACE1 là JSST, JSSTG và U200 trung bình 24 thành phần dự báo trong tháng 6 đến 8 của CFSv2 và tương ứng với ACE2 là tháng 8 đến 12. Các phương trình đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher với  $\alpha=5\%$  sẽ được chọn để đánh giá sai số dựa trên số liệu độc lập (số liệu nghiệp vụ của CFSv2) thời kỳ 2013-2018 bằng các chỉ tiêu AE, MAE, RMSE, MSSS (xem Hình 2.1).

#### 4.3.1 Xây dựng phương trình dự báo ACE1

##### a) Phương trình dự báo ACE1 dựa trên một nhân tố dự báo

Kết quả xây dựng mười hai phương trình dự báo ACE1 dựa trên một NTDB tại các thời điểm phát tin (TĐPT) trong tháng 3, 4, 5 và 6 được dẫn ra trong Bảng 4.1. Trong đó, có chín phương trình đạt (Đ) và ba không đạt (K) tiêu chuẩn (phương trình từ A1.9 đến A1.11) kiểm nghiệm Fisher với mức ý nghĩa thống kê  $\alpha=5\%$ . Trong chín phương trình đạt tiêu chuẩn thống kê theo kiểm nghiệm Fisher, có tám phương trình từ A1.1 đến A1.8 dựa trên NTDB là JSSTG, JSST và một phương trình A1.12 dựa trên NTDB là U200.

Bảng 4. 1. Phương trình dự báo ACE1 dựa trên một NTDB ( $F_{(0,05)} = 4,21$ )

TĐPT dự báo ACE1 (tháng)	Ký hiệu phương trình	NTDB	Hệ số (a1)	R	Kiểm nghiệm Fisher (Đạt “Đ”, không đạt “K”)			
					Q	U	f	Kết quả
T3	A1.1	JSSTG	-0,375	-0,37	24,1	3,9	4,4	Đ
T4	A1.2		-0,511	-0,51	20,7	7,3	9,5	Đ
T5	A1.3		-0,528	-0,53	20,2	7,8	10,4	Đ
T6	A1.4		-0,533	-0,53	20,0	8,0	10,7	Đ
T3	A1.5	JSST	-0,409	-0,41	23,3	4,7	5,4	Đ

TĐPT dự báo ACE1 (tháng)	Ký hiệu phương trình	NTDB	Hệ số (a1)	R	Kiểm nghiệm Fisher (Đạt “Đ”, không đạt “K”)			
					Q	U	f	Kết quả
T4	A1.6		-0,471	-0,47	21,8	6,2	7,7	Đ
T5	A1.7		-0,487	-0,49	21,4	6,6	8,4	Đ
T6	A1.8		-0,563	-0,56	19,1	8,9	12,5	Đ
T3	A1.9	U200	-0,093	-0,09	27,8	0,2	0,2	K
T4	A1.10		0,299	0,30	25,5	2,5	2,7	K
T5	A1.11		0,351	0,35	24,6	3,4	3,8	K
T6	A1.12		0,408	0,41	23,3	4,7	5,4	Đ

*b) Phương trình dự báo ACE1 dựa trên sự kết hợp hai nhân tố dự báo*

Bảng 4.2 dẫn ra mười hai phương trình dự báo ACE1 từ sự kết hợp hai NTDB tại TĐPT ACE1 trong tháng 3 đến tháng 6. Trong đó có tám phương trình đạt và bốn không đạt độ tin cậy thống kê, cụ thể: Tám phương trình đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher từ A2.2 đến A2.4 là sự kết hợp giữa JSSTG với JSST, từ A2.6 đến A2.8 là sự kết hợp giữa JSSTG với U200 và từ A1.11 đến A1.12 là giữa JSST với U200. Trong bốn phương trình không đạt ý nghĩa thống kê, ba phương trình A2.1, A2.5, A2.9 và A2.10 là sự kết hợp giữa JSSTG với JSST, giữa JSSTG với U200, giữa JSST với U200 và giữa JSST với U200.

*Bảng 4. 2. Phương trình dự báo ACE1 kết hợp hai NTBD ( $F_{(0,05)} = 3,37$ )*

TĐPT dự báo ACE1 (tháng)	Ký hiệu phương trình	NTDB (hệ số)	Hệ số		R	Kiểm nghiệm Fisher (Đạt “Đ”, không đạt “K”)			
			(a1)	(a2)		Q	U	f	Kết quả
T4	A2.2	-0,355	-0,220	0,53	20,0	8,0	5,2	Đ	
T5	A2.3	-0,367	-0,229	0,55	19,5	8,5	5,7	Đ	
T6	A2.4	-0,302	-0,378	0,61	17,5	10,5	7,8	Đ	
T3	A2.5	JSSTG (a1),	-0,372	-0,012	0,37	24,1	3,9	2,1	K

TĐPT dự báo ACE1 (tháng)	Ký hiệu phương trình	NTDB (hệ số)	Hệ số		R	Kiểm nghiệm Fisher (Đạt “Đ”, không đạt “K”)			
			(a1)	(a2)		Q	U	f	Kết quả
T4	A2.6	U200 (a2)	-0,466	0,187	0,54	19,8	8,2	5,4	Đ
T5	A2.7		-0,489	0,284	0,60	18,0	10,0	7,2	Đ
T6	A2.8		-0,556	0,438	0,69	14,7	13,3	11,8	Đ
T3	A2.9	JSST (a1), U200 (a2)	-0,435	0,069	0,41	23,2	4,8	2,7	K
T4	A2.10		-0,419	0,132	0,43	22,9	5,6	3,2	K
T5	A2.11		-0,424	0,242	0,54	19,8	8,2	5,3	Đ
T6	A2.12		-0,481	0,252	0,61	17,5	10,5	7,7	Đ

c) Phương trình dự báo ACE1 dựa trên sự kết hợp ba nhân tố dự báo

Kết quả xây dựng phương trình dự báo ACE1 tại bốn TĐPT từ tháng 3 đến tháng 6 dựa trên ba NTDB được dẫn ra trong bảng 4.3 cho thấy ba phương trình đạt và một phương trình không đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher.

Bảng 4. 3. Phương trình dự báo ACE1 kết hợp ba NTDB ( $F_{(0,05)} = 2,99$ )

TĐPT dự báo ACE1 (tháng)	Ký hiệu phương trình	Hệ số hồi quy của NTDB			R	Kiểm nghiệm Fisher (Đạt “Đ”, không đạt “K”)			
		JSSTG (a1)	JSST (a2)	U200 (a3)		Q	U	f	Kết Quả
T3	A3.1	-0,076	-0,367	0,061	0,42	23,2	4,8	1,7	K
T4	A3.2	-0,368	-0,151	0,150	0,55	19,5	8,5	3,6	Đ
T5	A3.3	-0,389	-0,147	0,260	0,61	17,7	10,3	4,8	Đ
T6	A3.4	-0,455	-0,162	0,380	0,70	14,3	13,7	8,0	Đ

#### 4.3.2 Xây dựng phương trình dự báo ACE2

a) Phương trình dự báo ACE2 dựa trên một nhân tố dự báo

Bảng 4.4 dẫn ra kết quả thiết lập phương trình dự báo ACE2 dựa trên một NTDB. Kết quả đã chỉ ra hai phương trình B1.1 và B1.2 sử dụng JSSTG đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher. Bốn phương trình từ B1.1 đến B1.6 sử dụng

JSST và U200 không đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher (Bảng 4.4).

Bảng 4. 4. Phương trình dự báo ACE2 dựa trên một NTDB ( $F_{(0,05)} = 4,21$ )

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Ký hiệu phương trình	NTDB	Hệ số (a1)	R	Kiểm nghiệm Fisher			
					Q	U	f	Kết quả
T6	B1.1	JSSTG	-0,513	-0,51	20,6	7,38	9,66	Đ
T7	B1.2		-0,512	-0,51	20,7	7,33	9,57	Đ
T6	B1.3	JSST	-0,263	-0,26	26,1	1,93	2,00	K
T7	B1.4		-0,225	-0,23	26,6	1,42	1,45	K
T6	B1.5	U	0,270	0,27	26,0	2,04	2,12	K
T7	B1.6		0,245	0,24	26,3	1,68	1,72	K

a) Phương trình dự báo ACE2 dựa trên hai nhân tố dự báo

Bảng 4.5 dẫn ra kết quả xây dựng sáu phương trình dự báo ACE2 tại TĐPT trong tháng 6 và 7 từ sự kết hợp hai nhân tố dự báo. Kết quả chỉ ra bốn phương trình (từ B2.1 đến B2.4) đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher từ sự kết hợp giữa JSSTG với JSST và giữa JSSTG với U200.

Bảng 4. 5. Phương trình dự báo ACE2 dựa trên hai NTDB ( $F_{(0,05)} = 3,37$ )

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Ký hiệu phương trình	NTDB	Hệ số		R	Kiểm nghiệm Fisher			
			(a1)	(a2)		Q	U	f	Kết quả
T6	B2.1	JSSTG (a1),	-0,490	-0,055	0,718	20,6	7,4	4,7	Đ
T7	B2.2	JSST (a2)	-0,504	-0,018	0,715	20,7	7,3	4,6	Đ
T6	B2.3	JSSTG (a1),	-0,480	0,089	0,721	20,4	7,6	4,8	Đ
T7	B2.4	U (a2)	-0,514	-0,105	0,723	21,1	6,4	3,9	Đ
T6	B2.5	JSST (a1),	-0,151	0,172	0,54	25,6	2,4	1,2	K
T7	B2.6	U (a2)	-0,238	0,024	0,48	26,5	1,8	0,9	K

*b) Phương trình dự báo ACE2 dựa trên ba NTDB*

Bảng 4.6 dẫn ra kết quả xây dựng phương trình dự báo ACE2 với sự kết hợp ba NTDB là JSSTG, JSST và U200 cho thấy hai phương trình đều không đạt độ tin cậy thống kê với  $\alpha = 0,05$  theo kiểm nghiệm Fisher.

*Bảng 4. 6. Phương trình dự báo ACE2 dựa trên hai NTBD ( $F_{(0,05)} = 2,99$ )*

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Ký hiệu phương trình	Hệ số hồi quy của NTDB			R	Kiểm nghiệm Fisher			
		a1 của JSSTG	a2 của JSST	a3 của U		Q	U	f	Kết quả
		T6	A3.1	-0,479					
T7	A3.2	-0,541	0,065	-0,14	0,52	21,7	6,5	2,5	K

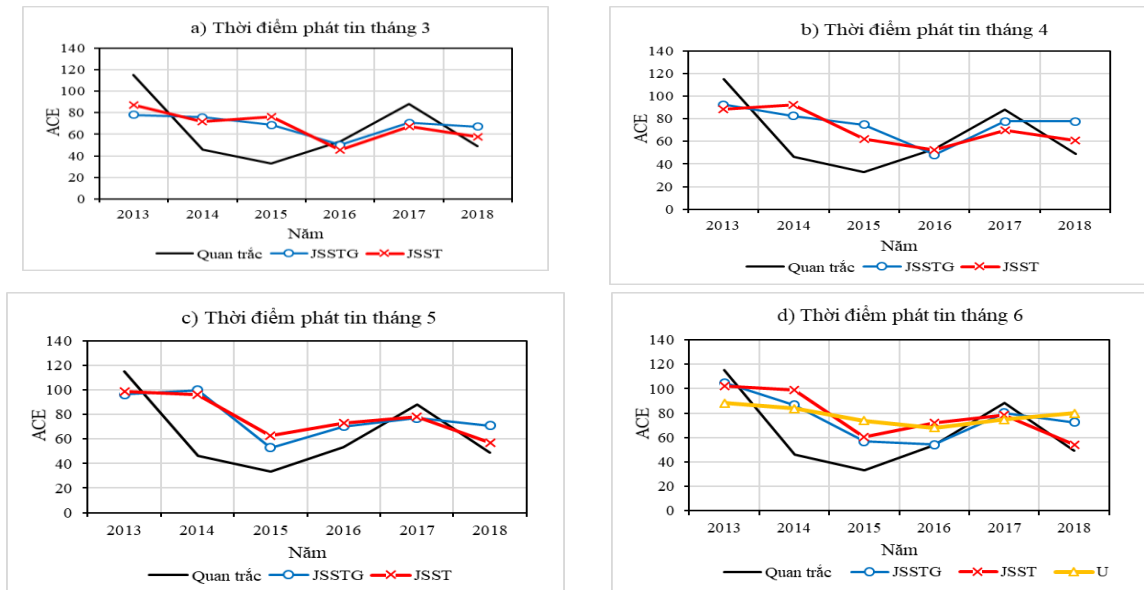
#### **4.4 Đánh giá sai số dự báo ACE dựa trên số liệu độc lập**

Mục 4.3.1 chỉ ra các phương trình dự báo ACE1 và ACE2 đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher với sự kết hợp JSSTG, JSST và U200 trên cơ sở số liệu phụ thuộc. Những phương trình đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher sẽ được đánh giá sai số dự báo dựa trên số liệu độc lập thời kỳ 2013-2018.

##### **4.4.1 Sai số dự báo ACE1**

###### *a) Sai số dự báo ACE1 dựa trên phương trình một nhân tố dự báo*

Hình 4.11 trình bày diễn biến ACE1 quan trắc và dự báo dựa trên số liệu độc lập từ chín phương trình một NTDB đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher. Kết quả cho thấy diễn biến của ACE1 khá tương tự giữa dự báo với quan trắc về dao động cao (thấp) và ít có sự khác biệt trong các năm. Sai số dự báo thấp hơn trong các năm ACE1 cao (năm 2013, 2016, 2017, 2018) và cao hơn trong các năm ACE1 thấp (năm 2014, 2015).



Hình 4. 10. Diễn biến ACE1 ( $10^3 m^2 s^{-2}$ ) quan trắc và dự báo từ một NTDB

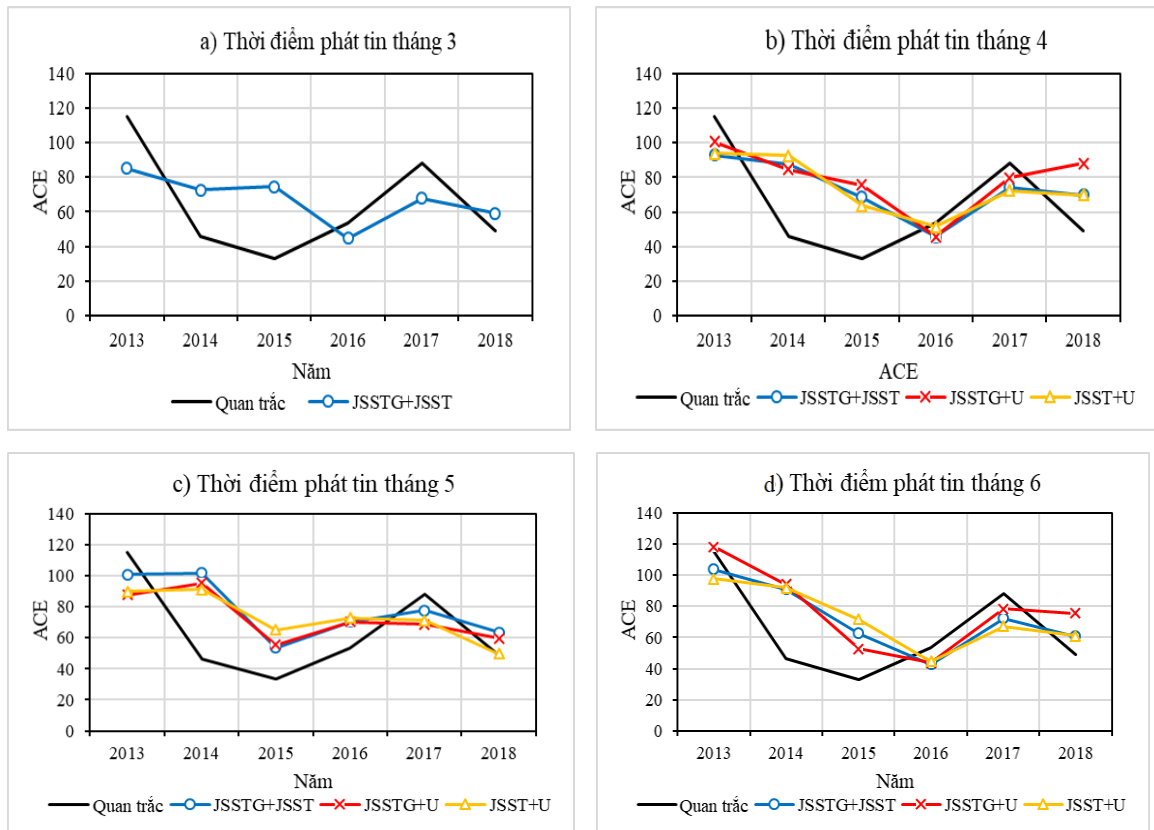
Kết quả sai số dự báo ACE1 từ chín phương trình sử dụng một NTDB cho thấy sai số AE dương và dao động khoảng 4,3 đến  $13,8 \times 10^3 m^2 s^{-2}$ , cho thấy xu hướng dự báo cao hơn quan trắc. Trị số phổ biến của sai số MAE, RMSE và MSSS lần lượt từ 22 đến  $24 \times 10^3 m^2 s^{-2}$ , 23 đến  $25 \times 10^3 m^2 s^{-2}$  và 0,2 đến 0,3. Nhìn chung, xét cùng một NTDB, sai số MAE và RMSE theo các thời điểm phát tin lệch nhau ít và phổ biến khoảng từ 1 đến  $2 \times 10^3 m^2 s^{-2}$  (Bảng 4.7).

Bảng 4. 7. Sai số dự báo ACE1 từ các phương trình một NTDB

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Ký hiệu phương trình	NTDB	AE	MAE	RMSE	MSSS
T3	A1.1	JSSTG	4,3	23,6	24,4	0,28
	A1.5	JSST	3,4	22,5	23,6	0,32
T4	A1.2	JSSTG	11,4	24,2	25,1	0,21
	A1.6	JSST	7,5	23,3	24,6	0,23
T5	A1.3	JSSTG	13,6	23,7	25,1	0,22
	A1.7	JSST	6,6	22,1	24,3	0,28
T6	A1.4	JSSTG	11,6	17,7	20,4	0,49
	A1.8	JSST	13,5	21,1	24,4	0,28
	A1.12	U200	13,8	27,3	27,1	0,11

b) Sai số dự báo ACE1 từ phương trình hai nhân tố dự báo

Diễn biến ACE1 quan trắc và dự báo từ chín phương trình hai nhân tố dự báo trên cơ sở số liệu độc lập thời kỳ 2013-2018 tại các thời điểm phát tin từ tháng 3 đến 6 được dẫn ra trong Hình 4.12. Kết quả cho thấy diễn biến của ACE1 được dự báo từ chín phương trình kết hợp hai NTDB khá tương tự như sử dụng một NTDB; có dao động cao, thấp tương đồng với quan trắc.



Hình 4. 11. Diễn biến của ACE1 ( $10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ ) quan trắc và dự báo dựa trên phương trình hai nhân tố dự báo

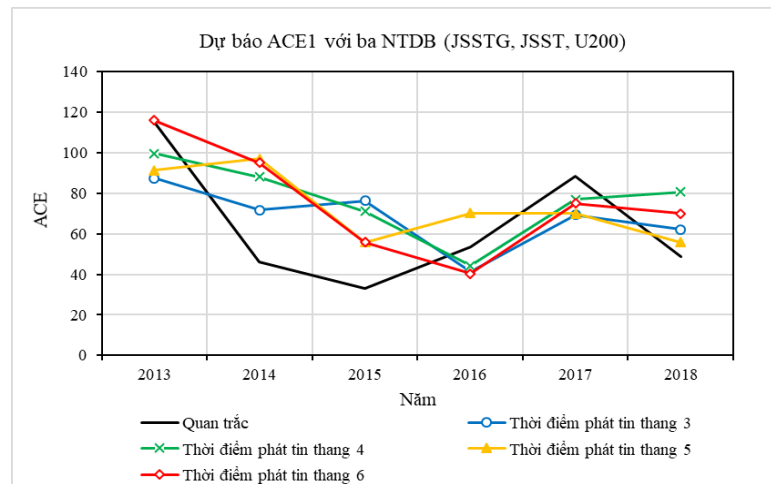
Tương tự như dự báo ACE1 sử dụng một nhân tố dự báo, sự kết hợp hai nhân tố dự báo cũng cho sai số AE dương phổ biến từ 10 đến  $12 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ . Trị số của MAE, RMSE và MSSS dao động phổ biến lần lượt từ 21 đến  $23 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ , từ 23 đến  $25 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  và từ 0,2 đến 0,3. Nhìn chung, ít có sự khác biệt về sai số dự báo ACE1 từ các phương trình kết hợp một và hai NTDB. Xét trên cùng nhân tố dự báo, các phương trình gần mùa bão trên Biển Đông có sai số nhỏ hơn và chênh lệch phổ biến khoảng 2 đến  $3 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$  (Bảng 4.8).

Bảng 4. 8. Sai số dự báo ACE1 từ phương trình với hai NTDB

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Ký hiệu phương trình	Kết hợp hai NTDB	AE	MAE	RMSE	MSSS
T4	A2.2	JSSTG và SST	9,3	24,3	25,0	0,24
	A2.6	JSSTG và U200	14,9	25,2	27,1	0,10
T5	A2.3	JSSTG và SST	10,4	21,8	24,5	0,27
	A2.7	JSSTG và U200	8,6	24,3	25,2	0,23
	A2.8	JSST và U200	3,2	22,6	25,3	0,22
T6	A2.4	JSSTG và SST	12,7	17,2	21,8	0,42
	A2.8	JSSTG và U200	12,9	19,5	22,7	0,37
	A2.12	JSST và U200	14,1	21,1	24,4	0,27

c) Sai số dự báo ACE1 của các phương trình ba NTDB

Diễn biến ACE1 quan trắc và dự báo từ các phương trình kết hợp ba nhân tố dự báo dựa trên số liệu độc lập dẫn ra ở Hình 4.13. Kết quả cho thấy diễn biến ACE1 được dự báo từ bốn phương trình dựa trên sự kết hợp ba NTDB tại các thời điểm phát hành tin từ tháng 3 đến 6 tương tự như một và hai NTDB và dao động khá tương đồng với quan trắc. Sai số dự báo thấp hơn trong các năm ACE1 cao (năm 2013, 2016, 2017, 2018) và cao hơn trong các năm ACE1 thấp (năm 2014, 2015) từ tất cả các phương trình.



Hình 4. 12. Diễn biến của ACE1 ( $10^3 m^2 s^{-2}$ ) quan trắc và dự báo dựa trên phương trình ba NTDB

Kết quả sai số dự báo ACE1 từ sự kết hợp ba NTDB (JSST, JSSTG, U200) cũng tương tự như một và hai NTDB. Các giá trị của AE, MAE, RMSE và MSSS lần lượt dao động khoảng 3,8 đến 12,6 x 10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>, 20,0 đến 24,6 x 10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>, 23,0 đến 25,8 x 10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup> và 0,19 đến 0,36 (Bảng 4.9).

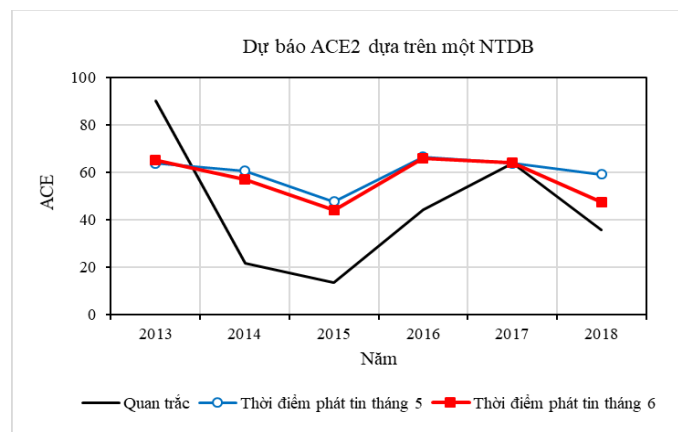
Bảng 4. 9. Sai số dự báo ACE1 từ phương trình kết hợp ba NTDB

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Ký hiệu Phương trình	AE	MAE	RMSE	MSSS
T3	A3.1	3,8	23,5	23,8	0,31
T4	A3.2	12,6	24,6	25,8	0,19
T5	A3.3	9,1	23,2	24,8	0,25
T6	A3.4	11,1	20,0	23,0	0,36

#### 4.4.2 Sai số dự báo ACE2

##### a) Sai số của phương trình dự báo ACE2 dựa trên một NTDB

Diễn biến ACE2 quan trắc và dự báo dựa trên phương trình một nhân tố dự báo được dẫn ra ở Hình 4.14. Kết quả chỉ ra xu thế diễn biến ACE2 được dự báo từ phương trình một NTDB khá tương tự như ACE1; dao động cao, thấp tương đồng với quan trắc. Sai số dự báo thấp hơn trong các năm ACE2 cao như năm 2013, 2017 và cao hơn trong năm ACE2 thấp như năm 2014 và 2015.



Hình 4. 13. Diễn biến ACE2 (10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>) quan trắc và dự báo với một NTDB

Bảng 4.10 dẫn ra sai số phương trình dự báo ACE2 sử dụng một NTDB cho thấy AE, MAE, RMSE và MSSS lần lượt từ 10,6 đến 13,2 x 10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>, từ

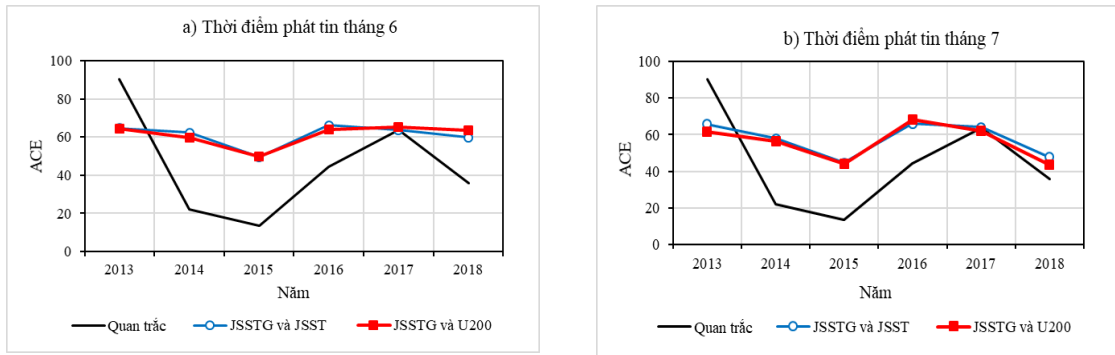
20,7 đến  $24,2 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ , từ 22,1 đến  $25,1 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  và từ 0,03 đến 0,21.

**Bảng 4. 10. Sai số dự báo ACE2 từ phương trình kết hợp một NTDB**

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Ký hiệu Phương trình	NTDB	AE	MAE	RMSE	MSSS
T6	B1.1	JSSTG	13,2	24,2	25,1	0,03
T7	B1.2	JSSTG	10,6	20,7	22,1	0,21

b) Sai số dự báo ACE2 của phương trình với hai NTDB

Diễn biến và sai số của ACE2 được dự báo dựa trên phương trình kết hợp hai nhân tố dự báo tương tự như một nhân tố dự báo (Hình 4.15).



**Hình 4. 14. Diễn biến ACE2 ( $10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ ) quan trắc và dự báo với hai NTDB**

Trị số phổ biến của AE, MAE, RMSE và MSSS của các phương trình dự báo ACE2 dựa trên hai NTDB lần lượt từ 10,9 đến  $16,1 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ , từ 21,1 đến  $24,7 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$ , từ 22,5 đến  $25,7 \times 10^3 \text{m}^2 \text{s}^{-2}$  và từ 0,08 đến 0,19 (Bảng 4.11).

**Bảng 4. 11. Sai số của dự báo ACE2 từ phương trình hai NTDB**

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Ký hiệu Phương trình	Kết hợp hai NTDB	AE	MAE	RMSE	MSSS
T6	B2.1	JSSTG và JSST	16,0	24,6	25,7	0,08
	B2.2	JSSTG và U200	16,1	24,7	25,5	0,06
T7	B2.3	JSSTG và JSST	12,7	20,9	22,3	0,19
	B2.4	JSSTG và U200	10,9	21,1	22,5	0,17

#### 4.5 Khả năng áp dụng nghiệp vụ về phương trình dự báo ACE

Để đánh giá tính khả thi áp dụng các phương trình dự báo, đặc trưng RMSE (mục 4.4) và tỉ lệ dự báo đúng ACE trên Biển Đông được sử dụng để so sánh với dự báo nghiệp vụ thực tế về ACE trên khu vực Đại Tây Dương, TBTBD của một số Cơ quan trên thế giới. Bảng 4.12 trình bày kết quả đánh giá hai pha (so sánh giữa dự báo ACE1 với chuẩn khí hậu). Nếu quan trắc chỉ ra ACE1 trên (dưới), dự báo cũng trên (dưới) chuẩn khí hậu (trung bình thời kỳ 1982-2010) thì được tính là dự báo đúng. Tỉ lệ dự báo đúng là số lần dự báo đúng pha trên tổng số lần dự báo. Kết quả dự báo đúng trong sáu năm độc lập dao động phổ biến từ 67-83% cho các phương trình dự báo ACE1.

*Bảng 4. 12. Tỉ lệ (%) dự báo đúng theo đánh giá hai pha đối với phương trình dự báo ACE1 dựa trên chuỗi độc lập 2013-2018*

TĐPT dự báo ACE1 (tháng)	Phương trình một NTDB		Phương trình hai NTDB		Phương trình ba NTDB	
	Ký hiệu Phương trình	Tỉ lệ (%)	Ký hiệu phương trình	Tỉ lệ (%)	Ký hiệu phương trình	Tỉ lệ (%)
T3	A1.1	67	-	-	A3.1	67
	A1.5	67	-	-		
T4	A1.2	67	A2.2	67	A3.2	67
	A1.6	67	A2.6	67		
T5	A1.3	83	A2.3	67	A3.3	67
	-	-	A2.7	67		
	A1.7	67	A2.8	67		
T6	A1.4	83	A2.4	83	A3.4	83
	A1.8	83	A2.8	83		
	A1.12	50	A2.12	83		

Tương tự như Bảng 4.12 và 4.13 đưa ra kết quả đánh giá hai pha giữa dự báo ACE2 với chuẩn khí hậu. Kết quả dự báo đúng trong sáu năm dao động từ 50-83% cho các phương trình dự báo ACE1 với một và hai NTDB.

*Bảng 4. 13. Tỷ lệ (%) dự báo đúng theo đánh giá hai pha đối với phương trình dự báo ACE2 dựa trên chuỗi độc lập 2013-2018*

TĐPT dự báo ACE2 (tháng)	Phương trình một NTDB		Phương trình hai NTDB	
	Ký hiệu phương trình	Tỷ lệ (%)	Ký hiệu phương trình	Tỷ lệ (%)
T6	B1.1	50	B2.1	50
			B2.2	50
T7	B1.2	83	B2.3	83
			B2.4	83

Trên cơ sở số liệu tổng hợp của NOAA từ một số Cơ quan nghiệp vụ dự báo bão hạn mùa như CSU, TSR và CPC đã tính toán sai số RMSE và tỷ lệ dự báo đúng của ACE trên khu vực Đại Tây Dương thời kỳ 2003-2020 được dẫn ra trong Bảng 4.14. Kết quả cho thấy sai số RMSE về dự báo ACE trên khu vực Đại Tây Dương của CSU, TSR và CPC dao động khoảng  $55-80,8 \times 10^4$  knot<sup>2</sup>. Tỷ lệ dự báo đúng dao động khoảng 61-80%.

*Bảng 4. 14. Sai số dự báo ACE ( $10^4$  knot<sup>2</sup>) trên khu vực Đại Tây Dương (trung bình thời kỳ 1950-2013 là  $103 \times 10^4$  knot<sup>2</sup>)*

Năm	Quan trắc	ACE được dự báo tại các thời điểm phát tin (tháng)					
		CSU		CPC-NOAA		TSR	
		4	8	5	8	5	8
2003	176	140	120	192	192	158	108
2004	227	145	125	172	159	120	145
2005	250	135	235	205	298	158	249
2006	79	195	140	225	186	147	145
2007	74	170	150	222	225	156	138
2008	146	150	175	205	245	131	191
..2009	53	100	80	129	113	69	105
2010	165	150	185	282	285	156	183
2011	126	160	160	202	232	124	146
2012	129	70	99	150	139	98	106
2013	36	165	142	215	205	130	121

Năm	Quan trắc	ACE được dự báo tại các thời điểm phát tin (tháng)					
		CSU		CPC-NOAA		TSR	
		4	8	5	8	5	8
2014	67	55	65	93	75	73	70
2015	63	40	35	82	63	37	44
2016	141	93	100	135	155	130	94
2017	225	75	135	152	178	98	116
2018	133	130	64	139	99	33	58
2019	132	80	105	135	165	88	100
2020	184	150	200	198	244	135	166
RMSE		73,4	55,2	80,4	80,8	63,8	55,0
Tỉ lệ dự báo đúng (%)		61	71	80	76	61	61

Trên cơ sở thu thập số liệu từ bản tin tổng kết mùa bão của STR, thời kỳ 2003-2010, 2013-2014 đã tính toán sai số RMSE về dự báo ACE trên khu vực TBTBD. Kết quả dẫn ra trong Bảng 4.15 cho thấy sai số RMSE dao động khoảng  $70-100 \times 10^4 \text{ knot}^2$  và tỉ lệ dự báo đúng khoảng 61-82%.

*Bảng 4. 15. Sai số dự báo ACE ( $10^4 \text{ knot}^2$ ) trên khu vực TBTBD của STR (trung bình thời kỳ 1965-2018 là  $295 * 10^4 \text{ knot}^2$ )*

Năm	Quan trắc	Thời điểm phát tin (tháng)			
		3	5	7	8
2003	322	297	284	299	331
2004	464	309	296	336	376
2005	285	340	314	333	328
2006	317	298	326	349	325
2007	208	264	281	306	294
2008	165	237	281	268	277
2009	266	247	319	359	367
2010	115	284	321	236	217
2013	268	-	311	294	230
2014	273	-	375	335	328
RMSE		90,3	103,4	82,6	74,0
Tỉ lệ dự báo đúng (%)		61	67	82	78

Nhìn chung, sai số RMSE về dự báo ACE trên khu vực TBTBD khoảng 30-35% (% so với trị số trung bình  $294 \times 10^4 \text{ knot}^2$ ), trên khu vực Đại Tây Dương cao hơn khoảng 60-65% ( $103 \times 10^4 \text{ knot}^2$ ). Sai số RMSE trong sáu năm độc lập của dự báo ACE1 trên Biển Đông phổ biến khoảng 28-33% ( $74,6 \times 10^3 \text{ m}^2\text{s}^2$ ) và ACE2 khoảng 35-38% ( $56,5 \times 10^3 \times \text{m}^2\text{s}^2$ ). Như vậy, sai số RMSE và kết quả dự báo đúng theo hai pha của ACE1 và ACE2 trên Biển Đông ít có sự khác biệt so với TSR, CSU, NOAA. Đồng thời, diễn biến dự báo ACE1 và ACE2 cũng khá tương đồng so với quan trắc. Điều này cho thấy, các phương trình dự báo ACE1 và ACE2 có thể thử nghiệm áp dụng trong nghiệp vụ.

#### **4.6 Tiểu kết về chương 4**

Từ mối quan hệ chặt chẽ giữa ACE với JSST, JSSTG và U200 quan trắc, do đó nghiên cứu đã tiến hành khảo sát mối quan hệ giữa ACE với ba NTDB này từ sản phẩm của CFSv2 dự báo nhằm xây dựng phương trình thử nghiệm dự báo ACE1 và ACE2. Kết quả nghiên cứu rút ra một số kết luận như sau:

- Kỹ năng dự báo JSST, JSSTG và U200 của CFSv2 là tương đối phù hợp với quan trắc, nhất là thời điểm gần với mùa bão trên Biển Đông. Đây là cơ sở để sử dụng sản phẩm của CFSv2 dự báo ACE trên Biển Đông.

- Từ JSSTG, JSST và U200 đã xây dựng được 26 phương trình dự báo ACE1 và ACE2 đạt kiểm nghiệm Fisher. Đối với dự báo ACE1 là hai phương trình tại TDPT trong tháng 3, năm phương trình trong tháng 4, sáu phương trình trong tháng 5 và bảy phương trình trong tháng 6. Đối với dự báo ACE2 là ba phương trình tại TDPT dự báo ACE2 trong tháng 6 và ba trong tháng 7.

- Các phương trình dự báo ACE1 và ACE2 đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher được đánh giá sai số dựa trên số liệu độc lập thời kỳ 2013-2018. Kết quả cho thấy xu thế diễn biến của các phương trình dự báo ACE1 và ACE2 có dao động cao (thấp) tương đối đồng pha với quan trắc và sai số dự báo lệch nhau ít. Đồng thời sai số dự báo ACE1 và ACE2 cũng ít có sự khác biệt so với dự báo ACE thực tế tại TSR, CSU, NOAA. Điều này cho thấy có thể sử dụng các phương trình này để dự báo ACE1 và ACE2 trên Biển Đông trước 1-2 tháng.

## **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

### **1. Kết luận**

#### *1) Đặc điểm diễn biến của năng lượng bão*

- Thời gian tập trung năng lượng bão trên Biển Đông có sự tương đồng so với khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương vào tháng 7 đến tháng 11 nhưng thời gian tập trung cao điểm muộn hơn khoảng 1 tháng.

- Trị số ACE trung bình nhiều năm khoảng  $76.9 \times 10^3 \text{m}^2\text{s}^{-2}$ , năm cao khoảng  $140-160 \times 10^3 \text{m}^2\text{s}^{-2}$ , năm thấp khoảng  $15-20 \times 10^3 \text{m}^2\text{s}^{-2}$ , độ lệch tiêu chuẩn và biến suất là  $32 \times 10^3 \text{m}^2\text{s}^{-2}$  và 42%. Từ khoảng  $16^\circ\text{N}$  trở ra phía Bắc có ACE khá cao khoảng 0,02 đến  $0,07 \times 10^3 \text{m}^2\text{s}^{-2}$  nhưng từ vĩ tuyến  $16^\circ\text{N}$  vào Nam ACE thấp hơn khoảng  $0,01 \times 10^3 \text{m}^2\text{s}^{-2}$ .

- Xu thế tuyến tính của ACE nhìn chung giảm trong giai đoạn từ 1982-2018 và tăng trong hai thập kỷ gần đây từ 1999-2018 nhưng không đạt mức độ tin cậy thống kê 95% theo kiểm nghiệm Student.

- Sự biến động của bão Biển Đông giai đoạn 1982-2018 có mối quan hệ tương quan với SST ở Ấn Độ Dương, ở Tây Nam Thái Bình Dương và Đông Nam Nhật Bản, trong đó với SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản là mối tương quan nghịch rất chặt chẽ. Cụ thể khi SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản cao hơn tương ứng với ACE trên Biển Đông thấp hơn và ngược lại.

- Kết quả phân tích thành phần chính cho thấy tồn tại mối quan hệ thống kê chặt chẽ giữa ACE với PC2 đặc trưng cho cường độ APSJ; Cường độ APSJ cao hơn tương ứng với JSST thấp hơn sẽ tăng cường chuyển động thẳng đứng trên quy mô lớn và xoáy thuận mực thấp trên Biển Đông và biển phía Đông Philippines, điều này thuận lợi cho sự bão hình thành và di chuyển vào Biển Đông dẫn đến sự gia tăng tổng thể ACE.

#### *2) Ứng dụng JSSTG, JSST và U200mb dự báo ACE trên Biển Đông*

- Kết quả khảo sát mối quan hệ tương quan giữa SST ở biển phía Đông Nam Nhật Bản và gió vĩ hướng mực 200 mb khu vực cận nhiệt Đông Á (liên quan đến APSJ) dựa trên số liệu dự báo lại của CFSv2 cho thấy khả năng ứng

dụng cho xây dựng phương trình thử nghiệm dự báo ACE.

- Đã xây dựng được 26 phương trình dự báo ACE1 và ACE2 trên Biển Đông đạt tiêu chuẩn kiểm nghiệm Fisher. Cụ thể, đối với dự báo ACE1 là hai phương trình tại thời điểm phát tin trong tháng 3, năm phương trình trong tháng 4, sáu phương trình trong tháng 5 và bảy phương trình trong tháng 6. Đối với dự báo ACE 2 là ba phương trình tại thời điểm phát tin dự báo ACE2 trong tháng 6 và ba phương trình trong tháng 7. Trên cơ sở so sánh sai số dự báo ACE1 và ACE2 từ số liệu độc lập với dự báo nghiệp vụ thực tế cho thấy có thể sử dụng 26 phương trình này để dự báo trước 1-2 tháng.

### 3) Khả năng sử dụng ACE

Có thể dựa trên thông tin chuẩn sai nhiệt độ mặt nước biển ở phía Đông Nam Nhật Bản và APSJ để nhận định xu thế bão trong mùa bão thời gian tới. Cụ thể, ACE thể hiện “hoạt động tổng thể” cho mùa bão và thường chỉ thị mùa bão với nhiều cơn bão có cường độ cao, hoặc thời gian kéo dài. Do đó kết quả dự báo ACE của mùa bão hàng năm phản ánh xu thế chung về hoạt động tiềm tàng của mùa bão và là thông tin bổ sung về số lượng bão và NCB trong nhận định xu thế mùa bão.

## 2. Kiến nghị

Nghiên cứu ACE ở Việt Nam là vấn đề hoàn toàn mới, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn ứng dụng. Vì vậy, vấn đề này cần được đầu tư nghiên cứu tổng thể hơn, sâu rộng hơn nhằm nâng cao hiểu biết về năng lượng bão và ứng dụng trong thực tiễn dự báo mùa bão.

## CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA NGHIÊN CỨU SINH CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

- 1) Duong Hoang Trinh, Hoang Duc Cuong, Duong Van Kham, Kieu Chanh (2020), "Remote Control of Sea Surface Temperature on the Variability of Tropical Cyclone Activity Affecting Vietnam's Coastline", *Journal of Applied Meteorology and Climatology (JAMC)*, *American Meteorology Society (AMS)*. Volume 60: Issue 3. Page(s): 323–339.
- 2) Trịnh Hoàng Dương, Hoàng Đức Cường, Dương Văn Khảm, Kiều Quốc Chánh (2020), "Khả năng dự báo hạn mùa chỉ số năng lượng bão tích lũy trên Biển Đông dựa trên phương pháp kết hợp thống kê-động lực và sản phẩm dự báo của CFSv2". *Tạp chí KTTV*, Số 714, tr 50-61.
- 3) Trịnh Hoàng Dương, Hoàng Đức Cường, Dương Văn Khảm (2018), "Phương pháp đánh giá năng lượng bão dựa trên các chỉ số năng lượng", *Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu*, Số 6, tr 9-16.
- 4) Trịnh Hoàng Dương, Hoàng Đức Cường, Dương Văn Khảm (2020), "Đặc điểm của bão và chỉ số năng lượng bão trên Biển Đông", *Hội thảo khoa học quốc gia lần thứ XXII*, Viện Khoa học KTTV và BDKH.
- 5) Trịnh Hoàng Dương, Hoàng Đức Cường, Dương Văn Khảm, (2015), "Phương pháp đánh giá năng lượng mùa bão dựa trên chỉ số động năng", *Tuyển tập Báo cáo Hội thảo khoa học Quốc gia về KTTV, MT và BDKH lần thứ XVIII*, NXBTNMT, Tập 1, ISBN: 978-604-904-467-7, tr 86-92

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

1. Bộ TNMT (2016), *Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam, Bộ Tài nguyên và Môi trường*, Nhà xuất bản Tài nguyên và Môi trường và Bản đồ Việt Nam.
2. Trần Duy Bình, và cộng tác viên, (1991), *Nghiên cứu cấu trúc không gian và thời gian trường các yếu tố khí tượng của bão và các quy mô trước bão bằng máy bay-phòng thí nghiệm khí tượng*, Đề tài hợp tác Việt Xô giai đoạn 1986-1990, Trung tâm Liên hiệp Việt Xô về Khí tượng Nhiệt đới và Nghiên cứu bão, Hà Nội.
3. Hoàng Đức Cường (2004), *Nghiên cứu thử nghiệm áp dụng phương trình khí tượng động lực quy mô vừa MM5 trong dự báo hạn ngắn ở Việt Nam*, Đề Tài nghiên cứu và công nghệ cấp Bộ, Hà Nội.
4. Hoàng Đức Cường, Nguyễn Trọng Hiệu (2013), *Giáo trình thống kê khí hậu*, Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
5. Hoàng Đức Cường, Trần Việt Liễn (2013), *Giáo trình Dự báo khí hậu*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
6. Đinh Bá Duy, Ngô Đức Thành, Nguyễn Thị Tuyết, Phạm Thanh Hà, Phan Văn Tân, (2016a), "Đặc điểm hoạt động của XTNĐ trên khu vực TBTBD, Biển Đông và vùng trực tiếp ảnh hưởng trên lãnh thổ Việt Nam giai đoạn 1978-2015", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Các khoa học trái đất và môi trường*, tập 32, Số 2, tr. 1-11.
7. Đinh Bá Duy, Ngô Đức Thành, Nguyễn Thị Tuyết, Phạm Thanh Hà, Phan Văn Tân, (2016b), "Mối quan hệ của ENSO và số lượng, cấp độ XTNĐ trên khu vực TBTBD, Biển Đông giai đoạn 1951-2015", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Các khoa học trái đất và môi trường*, tập 32, Số 3S, tr. 1-11.
8. Trần Quang Đức và cộng tác viên (2020), *Nghiên cứu xây dựng hệ thống dự báo số lượng và vùng hoạt động của bão trên Biển Đông hạn 3-6 tháng phục vụ hoạt động kinh tế biển và an ninh quốc phòng*. KC.09.15/16-20.
9. Vũ Thanh Hằng, Ngô Thị Thanh Hương, Phan Văn Tân (2010), "Đặc điểm

- hoạt động của bão ở vùng biển gần bờ Việt Nam giai đoạn 1945-2007", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, 26, 3S, tr. 344-353.
10. Nguyễn Văn Hiệp, Lã Thị Tuyết (2016), *Đặc điểm hoạt động của bão ở TBTBD và Biển Đông qua số liệu IBTrACS*, Tuyển tập hội thảo quốc gia về Khí tượng, Thủy văn, Môi trường và Biến đổi khí hậu lần thứ 18, Nhà Xuất bản Tài nguyên và Môi trường và bản đồ Việt Nam.
  11. Võ Văn Hòa (2008) "Khảo sát độ nhạy kết quả dự báo quỹ đạo bão tới các sơ đồ tham số hóa đối lưu trong phương trình WRF", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, Hà Nội, 71, tr. 12-19.
  12. Chu Thị Thu Hường (2015), *Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu toàn cầu đến một số cực trị khí hậu và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam*. Luận Án Tiến sĩ.
  13. Mai Văn Khiêm và ctv (2020), *Nghiên cứu xây dựng hệ thống dự báo nghiệp vụ dự báo hạn mùa cho Việt Nam bằng mô hình động lực*, Đề tài Nghiên cứu khoa học và Phát triển Công nghệ cấp Nhà nước, mã số KC.08.01/16-20.
  14. Mai Văn Khiêm, Hà Trường Minh, Phạm Quang Nam, Nguyễn Quang Trung (2019), "Lựa chọn thành phần dự báo tổ hợp cho hệ thống dự báo hạn mùa", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Số phục vụ hội thảo chuyên đề*, tr. 193-200.
  15. Nguyễn Đức Ngữ (2008), *Biến đổi khí hậu và kế hoạch ứng phó của Việt Nam*, Hà Nội, (chủ biên), Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
  16. Nguyễn Đức Ngữ, Nguyễn Trọng Hiệu (2004), *Khí hậu và Tài nguyên Khí hậu Việt Nam*, Nhà xuất bản nông nghiệp, Hà Nội.
  17. Lê Đình Quang (1991), *Nghiên cứu sự hình thành và tiến triển của XTND ở thời kỳ phát triển ban đầu với mục đích giải thích các nhân tố xác định các quá trình này*, Đề tài hợp tác Việt Xô giai đoạn 1986-1990, Trung tâm Liên hiệp Việt Xô về Khí tượng Nhiệt đới và Nghiên cứu bão, Hà Nội.
  18. Lê Đình Quang, Bô Khan, Đặng Tùng Mẫn, (1987), "Một số kết quả

- nguyên cứu xoáy thuận nhiệt đới trên khu vực Biển Đông năm 1986", *Tạp san KTTV*, 12, pp. Hà Nội.
19. Phan Văn Tân, Bùi Hoàng Hải, (2004), "Ban đầu hóa xoáy ba chiều cho phương trình MM5 và ứng dụng trong dự báo quĩ đạo bão", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 10(526), tr. 14-25.
  20. Phan Văn Tân, (2007), *Phương pháp thống kê trong khí hậu*, Đại học Quốc gia Hà Nội.
  21. Phan Văn Tân, và cộng tác viên (2010), *Nghiên cứu tác động của BĐKH toàn cầu đến các yếu tố và hiện tượng khí hậu cực đoan ở Việt Nam, khả năng dự báo và giải pháp chiến lược ứng phó*, Báo cáo tổng kết đề tài Cấp Nhà Nước, Trường Đại học KHTN, Đại học Quốc Gia Hà Nội.
  22. Công Thanh, Trần Tân Tiến, (2011), "Thử nghiệm dự báo bão hạn 3 ngày ở biển Đông bằng hệ thống dự báo tổ hợp sử dụng phương pháp nuôi nhiều", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* Tập 27, số 3S, tr. 58-69.
  23. Nguyễn Thị Thanh (2020), *Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ mặt nước biển đến quỹ đạo, cường độ bão trên Biển Đông*, Luận án tiến sĩ, Viện KTTV và BĐKH.
  24. Nguyễn Văn Thắng, và cộng tác viên (2005), *Nghiên cứu xây dựng phương trình dự báo khí hậu cho Việt Nam dựa trên kết quả của mô hình động lực toàn cầu*, Báo cáo tổng kết đề tài Bộ Tài Nguyên và Môi trường.
  25. Nguyễn Văn Thắng, Nguyễn Tọng Hiệu, Trần Thục (2010), *Biến đổi khí hậu và tác động đến Việt Nam*, Việt Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Nhà Xuất bản Khoa học kỹ thuật.
  26. Nguyễn Văn Thắng, và cộng tác viên, (2010), *Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến các điều kiện tự nhiên, tài nguyên thiên nhiên và đề xuất các giải pháp chiến lược phòng tránh, giảm nhẹ và thích nghi, phục vụ phát triển bền vững kinh tế xã- hội ở Việt Nam*, Báo cáo đề tài cấp nhà nước thuộc chương trình KC08, Hà Nội.
  27. Vũ Văn Thắng, (2016), *Nghiên cứu về đặc điểm vận tải ẩm ở Việt Nam*

- trong các đợt ENSO. Luận án tiến sĩ, Viện KTTV và BDKH.
28. Hoàng Lưu Thu Thủy, Nguyễn Thanh Cơ, Phan Thị Thanh Hằng, Tống Phúc Tuấn, (2015), "Đặc điểm hoạt động của bão vùng ven biển Bắc Trung Bộ Việt Nam giai đoạn 1960-2013", *Tạp chí Khoa học về Trái đất*, 37(3), tr. 222-227.
  29. Dư Đức Tiến, Ngô Đức Thành, Kiều Quốc Chánh, Nguyễn Thu Hằng, (2016), "Khảo sát sai số dự báo và kỹ năng dự báo quỹ đạo và cường độ bão của các trung tâm dự báo và các mô hình động lực trên khu vực Biển Đông", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 661, tr. 17-23.
  30. Trần Tân Tiến, (2010), *Xây dựng quy trình công nghệ dự báo liên hoàn bão, sóng và nước dâng thời hạn trước ba ngày*, Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp nhà nước KC.08.05/06-10, Hà Nội.
  31. Nguyễn Minh Trường, (2004), *Nghiên cứu cấu trúc và sự di chuyển của xoáy thuận nhiệt đới lý tưởng hóa bằng phương trình WRF*, Đề tài nghiên cứu khoa học công nghệ cấp trường, Trường ĐHKHTN, ĐHQGHN.
  32. Nguyễn Văn Tuyên, (2007), "Xu hướng hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới trên Tây bắc Thái bình dương và Biển Đông theo các cách phân loại khác nhau", *Tạp chí KTTV*, 559, tr. 14-21.
  33. Nguyễn Văn Tuyên, (2008), "Khả năng dự báo hoạt động mùa bão biển Đông Việt Nam: Phân tích các yếu tố dự báo và nhân tố dự báo có thể (Phần I)", *Tạp chí KTTV*, 568, tr. 1-8.
  34. Nguyễn Văn Tuyên, (2008), "Khả năng dự báo hoạt động mùa bão biển Đông Việt Nam: Phân tích các yếu tố dự báo và nhân tố dự báo có thể (Phần II)", *Tạp chí KTTV*, 576, tr. 9-21.
  35. Đinh Văn Ưu, (2010), "Sự biến động hoạt động và đổ bộ của bão nhiệt đới vào bờ biển Việt Nam", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, 26, 3S, tr. 479-455.
  36. Đinh Văn Ưu, (2011), "Đặc điểm biến động bão và áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng trực tiếp đến đất liền Việt Nam", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN*, 27, 1S, tr. 266-272.

37. Kiều Thị Xin, (2002), *Nghiên cứu áp dụng bộ mô hình số trị khu vực cho dự báo chuyển động của bão ở Việt Nam, Báo cáo kết quả thực hiện đề tài NCKH độc lập cấp Nhà nước*, Trường Đại học KHTN, Hà Nội.

### **Tiếng Anh**

38. Bell G. D, M. S. Halpert, R. C. Schnell, R. W. Higgins, J. Lawrimore, V. E. Kousky, R. Tinker, W. Thiaw, M. Chelliah, and A. Artusa, (2000), "Climate assessment for 1999", *Bull Amer Meteorol Soc*, 81, pp. 1328-1328.
39. Bell G. D, and M. Chelliah, (2006), "Leading Tropical Modes Associated with Interannual and Multi-Decadal Fluctuations in North Atlantic Hurricane Activity", *Journal of Climate*, 19(4), pp. 590-612.
40. Blunden, J. and et al., (2019) "State of the Climate in 2018". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 100 (9), PP. Si–S306.
41. Bo. X, Xinning Dong and Yonghua Li, (2020), "Climate change trend and causes of tropical cyclones affecting the South China Sea during the past 50 years", *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 13:4, pp. 301-307
42. Bradford S. Barrett and Lance M. Leslie (2009), "Links between tropical cyclone activity and madden–julian oscillation phase in the north atlantic and northeast pacific basins", *AMS*, 137; pp 727-743.
43. Camargo S. J, and A. H. Sobel, (2005), "Western North Pacific tropical cyclone intensity and ENSO", *J Climate*, 18, pp. 2996-3006.
44. Chan J. C. L, (1995), "Prediction of annual tropical cyclone activity over the western North Pacific and the South China Sea", *J Climatol*, 15, pp. 1011-1019.
45. Chan J. C. L, J.-E. Shi, and C.-M. Lam, (1998), "Seasonal Forecasting of Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific and the South China Sea", *J Climate*, 13, pp. 997-1004.
46. Chan J. C. L, (2000), "Tropical cyclone activity over the western North Pacific associated with El Niño and La Nina events", *J Climate*, 13, pp. 2960–2972.

47. Chan J. C. L, J.-E. Shi, and K. S. Liu, (2001), "Improvements in the Seasonal Forecasting of Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific", *Weather and Forecasting*, 16, pp. 491-498.
48. Chao. W and L. Wu (2016), Interannual Shift of the Tropical Upper-Tropospheric Trough and Its Influence on Tropical Cyclone Formation over the Western North Pacific, *J. Climate*, 21(11), pp. 4203–4211
49. Chen, G., and R. H. Huang, (2008), "Influence of monsoon over the warm pool on interannual variation on tropical cyclone activity over the western North Pacific". *Adv. Atmos. Sci.*, 25, 319–328.
50. Chen, G, (2011), "How Does Shifting Pacific Ocean Warming Modulate on Tropical Cyclone Frequency over the South China Sea?" *Journal of Climate*, 24, PP. 4695–4700.
51. Chen X, Z. Zhong, and W. Lu, (2017), "Association of the Poleward Shift of East Asian Subtropical Upper-Level Jet with Frequent Tropical Cyclone Activities over the Western North Pacific in Summer", *J Climate*, 30, pp. 5597-5603.
52. Chen X, Z. Zhong, and W. Lu, (2018), "Mechanism Study of Tropical Cyclone Impact on East Asian Subtropical Upper-Level Jet: a Numerical Case Investigation", *J. of Atmospheric Sciences*, 54, pp. 575-585.
53. Chen X, Z. Zhong, Y. J. Hu, Z. Zhong, W. Lu, and J. Jiang, (2019), "Role of tropical cyclones over the western North Pacific in the East Asian summer monsoon system", *Earth Planet Phys*, 3(2), pp. 147–156.
54. Chiang T. L., Wu C.R. and Oey L.Y (2011), "Typhoon KaiTak: An ocean's perfect storm", *J. of Physical Oceanography*, 41(1), PP. 221-233.
55. Choi K.-S, C.-C. Wu and E.-J. Cha, (2010), "Change of tropical cyclone activity by Pacific-Japan teleconnection pattern in the western North Pacific", *J Geophys Res*, 115, pp. D19114.
56. COMET (2016). *Introduction to Tropical Meteorology. A Comprehensive Online*. University Corporation for Atmospheric Research.
57. Deo A.A., D. W. Ganer (2013), "Variability in Tropical Cyclone Activity

- Over Indian Seas in Changing Climate”, *International Journal of Science and Research*, ISSN (Online): pp.2319-7064 .
58. Donghee Kim, Hyeong-Seog Kim, Doo-Sun R. Park, and Myung-Sook Park, (2017), "Variation of the Tropical Cyclone Season Start in the Western North Pacific", *Journal of Climate*, V30 (9), PP. 3297–3302
  59. Drews C, (2007), *Separating the ACE Hurricane Index into Number, Intensity, and Duration*. Published on the Internet, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado at Boulder.
  60. Du, Y., L. Yang, and S. P. Xie, 2011: Tropical Indian Ocean influence on northwest Pacific tropical cyclones in summer following strong El Niño. *J. Climate*, 24, pp. 315–322.
  61. Emanuel K. A, (1986), "An air-sea interaction theory for tropical cyclones. Part I", *J Atmos Sci*, 42, pp. 1062-1071.
  62. Emanuel K. A, (2005), "Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years", *Nature*, 436, pp. 686-688.
  63. Emanuel K. A, (2007), "Environmental factors affecting tropical cyclone power dissipation", *J Climate*, 20, pp. 5497-5509.
  64. Enrico Scoccimarro, Alessio Bellucci, Andrea Storto, Silvio Gualdi, Simona Masina, and Antonio Navarra (2020), "Remote subsurface ocean temperature as a predictor of Atlantic hurricane activity". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(45):pp. 11460-11464.
  65. Eric K. W. Ng, and J. C. L. Chan, (2012), "Interannual variations of tropical cyclone activity over the north Indian Ocean", *Int J Climatology*, 32, pp. 819-830.
  66. Evans J. E. (1993), Sensitivity of tropical cyclone intensity to sea surface temperature, *J. Clim.*, 6, 1133– 1140.
  67. Ferrara M, F. Groff, Z. Moon, K. Keshavamurthy, S. M. Robeson, and C. Kieu, (2017), "Large-scale control of the lower stratosphere on variability of tropical cyclone intensity", *Geophys Res Lett*, 44, pp. 4313–4323
  68. Gail Hartfield and et al., (2018), “State of the Climate in 2017”. *Bull.*

- Amer. Meteor. Soc*, 99 (8), PP. Si–S310.
69. Girishkumar M. S, and M Ravichandran, (2012), "The influences of ENSO on tropical cyclone activity in the bay of Bengal during October–December", *Journal of Geophysical Research*, vol 117, pp. C02033.
  70. Goh A. Z-C, and J. C. L. Chan, (2010), "Interannual and interdecadal variations of tropical cyclone activity in the South China Sea", *Int J Climatology*, 30, pp. 827–843.
  71. Gray W. M (1979), "Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation". *Meteorology over the Tropical Oceans*, D. B. Shaw, Ed, *Royal Meteorological Society*, pp. 155-218.
  72. Hebert C, B Weinzapfel, M Chambers (2010), *Hurricane Severity Index: A New Way of Estimating a Tropical Cyclone's Destructive Potential*, 29th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, P2H.18.
  73. Holland, G. J., 1983: Tropical cyclone motion: Environmental interaction plus a beta effect. *J. Atmos. Sci.*, 40, 328-342,
  74. Huang B, V. F. Banzon, E. Freeman, J. Lawrimore, W. Liu, T. C. Peterson, T. M. Smith, P. W. Thorne, S. D. Woodruff, and H.-M. Zhang, (2004), "Extended reconstructed sea surface temperature version 4 (ERSST.v4). Part I: upgrades and intercomparisons", *J Climate*, 28, pp. 911–930.
  75. Huang, D., Zhu, J. Y-C. Zhang. A-N. Huang, 2014: "The Different Configurations of the East Asian Polar Front Jet and Subtropical Jet and the Associated Rainfall Anomalies over Eastern China in Summer"., *Journal of climate*, 27(21), 8205-8220.
  76. Huang, F., and S. Xu, (2010), "Super typhoon activity over the western North Pacific and its relationship with ENSO". *Journal of Ocean University of China*, 9, 123–128.
  77. Huang, R. H., and Y. F. Wu, 1989: The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. *Adv. Atmos. Sci.*, 6, 21–32
  78. Huang R.H, Sun F, (1992), "Impact of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon". *J Meteor Soc Japan*. 70, pp213–56.

79. IPCC, 2007: Climate Change (2007), *The Scientific Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
80. IPCC (2013) Climate Change, (2013), *The Physical Science Basis*, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
81. Kalnay E, and Coauthors, (1996), "The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project", *Bull Amer Meteor Soc*, 77, pp. 437–471.
82. Kantha L, (2006), "Time to replace the Saffir-Simpson Hurricane Scale?", *Trans Amer Geophys*, 87, pp. 1-5.
83. Kazuto T, H. Mukougawa (2020), "Maintenance Mechanism of Rossby Wave Breaking and Pacific-Japan Pattern in Boreal Summer", *Journal of the Meteorological Society of Japan*, V 98 (6), pp 1183-1206.
84. Kazuto T, H. Mukougawa, (2020), "Dynamical Relationship between Quasi-stationary Rossby Wave Propagation along the Asian Jet and Pacific-Japan Pattern in Boreal Summer", *Journal of the Meteorological Society of Japan*, V 98 (1), pp.169-187.
85. Kevin H. G, M. L. Lance, (2010), "Interannual Variability of Northwest Australian Tropical Cyclones", *J. Climate*, 23(17), pp. 4538-4555.
86. Kim H.-M, M.-I. Lee, P. J. Webster, D. Kim, and J. H. Yoo, (2013), "A Physical Basis for the Probabilistic Prediction of the Accumulated Tropical Cyclone Kinetic Energy in the Western North Pacific", *J Climate*, 26, pp. 7981–7991.
87. Klotzbach P. J, (2014), "Prediction of Seasonal Atlantic Basin Accumulated Cyclone Energy from 1 July", *Weather and Forecasting*, 29(1), pp. 115-121.
88. Kosaka Y, and H. Nakamura, (2006), "Structure and dynamics of the summertime Pacific-Japan teleconnection pattern", *Q J R Meteorol Soc*, 132, pp. 2009–2030.
89. Kosaka Y, S. P. Xie, and H. Nakamura, (2011), "Dynamics of interannual

- variability in summer precipitation over East Asia", *J. Climate*, 24, pp. 5435–5453.
90. Kosaka, Y., S.-P. Xie, N.-C. Lau, and G. A. Vecchi, 2013, "Origin of seasonal predictability for summer climate over the Northwestern Pacific", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, 7574–7579.
  91. Kubota H, Y. Kosaka, and S.-P. Xie, (2016), "A 117-year long index of the Pacific-Japan pattern with application to interdecadal variability", *Int J Climatology*, 36, pp. 1575–1589.
  92. Kyle Davis and Xubin Zeng (2019), "Seasonal Prediction of North Atlantic Accumulated Cyclone Energy and Major Hurricane Activity", *Weather and Forecasting*, V34(1), pp. 221-232.
  93. Lea A.S, and M.A. Saunders, (2006), *Seasonal prediction of typhoon activity in the Northwest Pacific basin*, Poster presented at 27th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, USA
  94. Lee T.-Ch, C. Y. Leung, M.-H Kok, and H. -S. Chan, (2012), "The Long Term Variations of Tropical Cyclone Activity in the South China Sea and the Vicinity of Hong Kong", *Tropical Cyclone Research and Review* 1(3), pp. 277-292.
  95. Levinson, D. H and et al (2005), "State of the Climate in 2004", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(6s), 1-86.
  96. Li C., J.-T. Wang, S.-Z. Lin, and H. -R, (2004), "The relationship between East Asian summer monsoon activity and northward jump of the upper westerly jet location", *Chin J Atmos Sci*, 28, pp. 641–658.
  97. Li C. Y, (2013), *Interannual and Intraseasonal Variability of Tropical Cyclones in the Western North Pacific*, Doctor of Philosophy, City University of Hongkong.
  98. Li T, B. Wang, B. Wu, T. Zhou, Ch.-P. Chang, and R. Zhang, (2017), "Theories on formation of an anomalous anticyclone in western North Pacific during El Niño. A review", *J. Meteorological*, 31, pp. 987–1006.

99. Li X, S. Yang, H. Wang, X. Jia, and Arun Kumar, (2013), "A dynamical-statistical forecast model for the annual frequency of western Pacific tropical cyclones based on the NCEP Climate Forecast System version 2", *Journal of Geophysical Atmospheres*, Vol 118, pp. 12061–12074
100. Lin Z, and L. Riyu, (2005), "Interannual meridional displacement of the East Asian upper-tropospheric jet stream in summer", *Adv Atmos Sci*, 22(2), pp. 199-211.
101. Lin Z, R. -B. Lu, and W. Zhou, (2010), "Change in early-summer meridional teleconnection over the western North Pacific and East Asia around the late 1970s", *Int J Climatology*, 30(14), pp. 2195 – 2204.
102. Ling Z, G. Wang, and C. Wang, (2014), "Out-of-phase relationship between tropical cyclones generated locally in the South China Sea and non-locally from the Northwest Pacific Ocean", *Clim Dyn*, 45, pp. 1129–1136.
103. Lu, Riyu, 2004 "Associations among the components of the East Asian summer monsoon systems in the meridional direction". *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 155–165.
104. Lu M.-M, C.-T. Lee, and B. Wang, (2013), "Seasonal prediction of accumulated tropical cyclone kinetic energy around Taiwan and the sources of the predictability. *Int. J. Climatology*, 33, 2846–2854.
105. Lu M. -M, C. -T. Leea, and B. Wang, (2018), "Predictability of late-season tropical cyclone accumulated kinetic energy around Taiwan 2 months ahead", *Int. J. Climatol*, 38, pp. 1938–1952.
106. Misra V, S. DiNapoli, and M Powell, (2013), "The Track Integrated Kinetic Energy of Atlantic Tropical Cyclones", *Mon Wea Rev*, 141, pp. 2383–2389.
107. Murakami H, T. Li, and P.-C. Hsu, (2014), "Contributing factors to the recent high level of Accumulated Cyclone Energy (ACE) and Power Dissipation Index (PDI) in the North Atlantic", *J. Climate*, 27, pp. 3023-3034.

108. Nitta T, (1987), "Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation", *J Meteorol Sco Jpn*, 65, pp. 373–390.
109. Powell, M.D., and T.A. Reinhold (2007), "Tropical Cyclone Destructive Potential by Integrated Kinetic Energy". *Bull. Amer. Meteor. Soc*, 88, pp. 513–526.
110. Richard C. Y. Li, and W. Zhou, (2014), "Interdecadal Change in South China Sea Tropical Cyclone Frequency in Association with Zonal Sea Surface Temperature Gradient", *J. Climate*, 27, pp. 5468-5480.
111. Saha S., and Coauthors, (2014), "The NCEP Climate Forecast System version 2", *J Climate*, 27, pp. 2185–2208.
112. Sahoo B, and P. K. Bhaskaran, (2016), "Assessment on historical cyclone tracks in the Bay of Bengal, east coast of India", *Inter Journal of Climatology*, 1, pp. 95-109.
113. Saunders M. A, A. S. Lea, (2005), "Seasonal prediction of hurricane activity reaching the coast of the United States", *Nature*, 434, pp. 1005-1008.
114. Savin, S. Ch and K.J. E. Walsh (2011), "Influence of ENSO on tropical cyclone intensity in the Fiji region", *J. Climate*, (15). Pp. 4096–4108.
115. Schmidt S, K. Claudia, P. Hoppe, (2009), "The impact of socio-economics and climate change on tropical cyclone losses in the USA", *Regional Environmental Change*, 10, pp. 13-26.
116. Silvia A. Venegas, (2001), *Statistical Methods for Signal Detection in Climate*, Danish Center for Earth Science, Niels Bohr Institute for Astronomy, Physics and Geophysics, University of Copenhagen, Denmark.
117. Sobel A.H, and S.J. Camargo, (2005), "Influence of western north pacific tropical cyclones on their large-scale environment", *Journal of the atmospheric sciences*, 62, pp. 3396-3407.
118. Strobl E, (2008), "The Economic Growth Impact of Hurricanes: Evidence

- from US Coastal Counties", *IZA DP*, No. 3619.
119. Sun, Y., Z. Zhong, Y. Ha, Y. Wang, and X. Wang, 2013: The dynamic and thermodynamic effects of relative and absolute sea surface temperature on tropical cyclone intensity. *J. Meteor. Res.*, 27, 40–49.
  120. Sun Jia, Wang. G, Zu. J, Ling Z, Liu. D (2017), “Role of surface warming in the northward shift of tropical cyclone tracks over the South China Sea in November”. *Acta Oceanologica Sinica*, 36(5), PP. 67-72.
  121. Phan-Van Tan, L. Trinh-Tuan, H. Bui-Hoang, C. Kieu, (2015), "Seasonal forecasting of tropical cyclone activity in the coastal region of Vietnam using RegCM4.2", *Clim Res*, 62, pp. 115-129.
  122. Tahereh Haghroosta and Wan RuslanIsmail, (2017), “Typhoon activity and some important parameters in the South China Sea”, *Weather and Climate Extremes*, Volume 17, PP. 29-35.
  123. Thanh NT, HD Cuong, NX Hien, C Kieu, (2019), "Relationship between sea surface temperature and the maximum intensity of tropical cyclones affecting Vietnam's coastline", *Int J Climatol*, 9, pp. 1-12.
  124. Villarini G, G. A. Vecchi, (2011), "North Atlantic Power Dissipation Index (PDI) and Accumulated Cyclone Energy (ACE). Statistical Modeling and Sensitivity to Sea Surface Temperature Changes", *Journal of Climate*, 25, pp. 625-637.
  125. Villarini G, and G. A. Vecchi, (2013), "Multiseason Lead Forecast of the North Atlantic Power Dissipation Index (PDI) and Accumulated Cyclone Energy (ACE)", *Journal of climate*, 11, pp. 3642-3631.
  126. Wang B, and J. C. L. Chan, (2002), "How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific", *J. Climate*, 15, pp. 1643–1658.
  127. Wang, B., B. Xiang, and J.-Y. Lee, (2013), “Subtropical High predictability establishes a promising way for monsoon and tropical storm predictions”, *PNAS*, 110 (8), PP. 2718-2722.
  128. Wang. G, Jilan Su, Yihui Ding, Dake Chen, (2007), Tropical cyclone

- genesis over the south China sea, *J.of Marine Systems*, 68, PP.318–326.
129. Wang L, Q. Zhang, W. Li, (2012), "Diagnosis of the ENSO modulation of tropical cyclogenesis over the southern South China Sea using a genesis potential index", *Acta Oceanol Sin*, 31, pp. 54-68.
130. Wang L, and Z. Guo, (2014), "Modulation of tropical cyclogenesis over the South China Sea by ENSO Modoki during boreal summer", *J Ocean University of China*, 13, pp. 223-235.
131. Wang L, Lin Wang (2019). Impact of the East Asian winter monsoon on tropical cyclone genesis frequency over the South China Sea, *International Journal of Climatology*, 40 (2), pp. 1328-1334.
132. Wang L, R. Huang, and R. Wu, (2013), "Interdecadal variability of tropical cyclone frequency over the South China Sea and its association with the Indian Ocean sea surface temperature", *Geophys Res Lett*, 40, pp. 768–771.
133. Wang X, W. Zhou, D. Wang and C. Li (2012), "Effects of the East Asian summer monsoon on tropical cyclone genesis over the South China Sea on an interdecadal time scale", *Adv Atmos Sci*, 29, pp. 249–262.
134. Waple, A. M., J. H. Lawrimore, M. S. Halpert, G. D. Bell, W. Higgins, and B. Lyon (2002), "Climate assessment for 2001". *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 83, 938-938.
135. Wilks D.S, (2006), *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, ISBN13: 978-0-12-751966-1.
136. WMO, (2010), *Guidelines for converting between various wind averaging periods in tropical cyclone conditions*, WMO/TD5, No. 1555.
137. Wu B, T. Li, and T. Zhou, (2010), "Relative contributions of the Indian Ocean and local SST anomalies to the maintenance of the western North Pacific anomalous anticyclone during the El Niño decaying summer", *J Climate*, 23, pp. 2974–2986.
138. Wu L, B. Wang, S. A. Braun, (2007), "Implications of tropical cyclone power dissipation index", *Inter Journal of Climatology*, 6, pp. 727–731.

139. Wu, L. and H. Zhao, 2012: Dynamically Derived Tropical Cyclone Intensity Changes over the Western North Pacific. *J. Clim.*, 25, 89-98.
140. Wu, L., Z. Wen, R. Huang, and R. Wu, 2012: Possible Linkage between the Monsoon Trough Variability and the Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific. *Mon. Weather Rev.*, 140, 140-150.
141. Xie S-P, Kosaka Y, Du Y, Hu K, Chowdary J, Huang G, (2016) Indo-western Pacific ocean capacitor and coherent climate anomalies in post-ENSO summer: a review. *Adv Atmos Sci*, 33, pp.411–32.
142. Xiao-Tong Zheng (2019). “Indo-Pacific Climate Modes in Warming Climate: Consensus and Uncertainty Across Model Projections”, *Climate Change Reports* (2019) 5:308–321.
143. Yan, Y., C. Li; R. Lu, 2019: Meridional Displacement of the East Asian Upper-tropospheric Westerly Jet and Its Relationship with the East Asian Summer Rainfall in CMIP5 Simulations. *Advances in Atmospheric Sciences*, 11, 1203-1216.
144. Ying. M, Eun-Jeong Cha, H. Joe Kwon (2011), “Comparison of Three Western North Pacific Tropical Cyclone Best Track Datasets in a Seasonal Context”, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 89, No. 3, pp. 211–224.
145. Yu J. Y, C. Chou, and P. G. Chiu, (2009), "A revised accumulated cyclone energy index", *Geophys Res Lett*, 36, pp. L14710.
146. Yu J.-Y, and P.-G. Chiu, (2012), "Contrasting Various Metrics for Measuring Tropical Cyclone Activity", *Terr Atmos Ocean Sci*, 23, pp. 303-316.
147. Yanjie Wu, Fei Huang, Shibin Xu, Wen Xing, (2020), "Prediction of accumulated cyclone energy in tropical cyclone over the western North Pacific in autumn", *Climate Dynamics*, 55(11-12), PP. 1-16.
148. Zhang Y, D. Wang, and X. Ren, (2008), "Seasonal variation of the meridional wind in the temperate jet stream and its relationship to the Asian Monsoon", *Journal of Meteorological Research*, 24, pp. 446–454

149. Zhou B.T, and X. Cui, (2011), "Sea surface temperature east of Australia: A predictor of tropical cyclone frequency over the western North Pacific?", *Chinese Sci Bull*, 56, pp. 196-201.
150. Zuki Z. M, and Anthony R. Lupo, (2008), "Interannual variability of tropical cyclone activity in the southern South China Sea", *J Geophys Res*, 113, pp. D06106. 06101.
151. Zhan R, Y. Wang, and X.-T. Lei, (2011a), "Contributions of ENSO and east Indian Ocean SSTA to the interannual variability of Northwest Pacific tropical cyclone frequency", *J Climate*, 24, pp. 509–521.
152. Zhan R, Y. Wang, and C.-C. Wu, (2011b), "Impact of SSTA in East Indian Ocean on the frequency of Northwest Pacific tropical cyclones: A regional atmospheric model study", *J. Climate*, 24, pp. 6227–6242
153. Zhan R, Y. Wang, and M. Wen, (2013), "The SST gradient between the southwestern Pacific and the western Pacific warm pool: A new factor controlling the northwestern Pacific tropical cyclone genesis frequency", *J. Climate*, 26, pp. 2408–2415.
154. Zhan R, Y. Wang, and L. Tao, (2014), " Intensified Impact of East Indian Ocean SST Anomaly on Tropical Cyclone Genesis Frequency over the Western North Pacific", *J Climate*, 27, pp. 8724-8739.
155. Zhan R, and Y. Wang, (2015), "CFSv2-Based Statistical Prediction for Seasonal Accumulated Cyclone Energy (ACE) over the Western North Pacific", *J. Climate*, 29, pp. 525-541.
156. Gao. S, and Tao Shiyan, (1991), "Acceleration of upper-tropospheric jet stream and low-tropospheric frontogenesis", *Chinese J. Atmos. Sci*, 15, pp.11–21.