

Bài báo khoa học

Đánh giá bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển Bắc Bộ trong bối cảnh biến đổi khí hậu

Nguyễn Phương Anh¹, Nguyễn Bá Thủy^{1*}, Phạm Khánh Ngọc¹, Sooyoul Kim²

¹ Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; npanh2504@gmail.com;
thuybanguyen@gmail.com; ngocpkchibo@gmail.com

² Trường đại học Kumamoto, Nhật Bản; sooyoulkim@kumamoto-u.ac.jp

*Tác giả liên hệ: thuybanguyen@gmail.com; Tel.: +84-975853471

Ban Biên tập nhận bài: 06/4/2022; Ngày phản biện xong: 11/5/2022; Ngày đăng: 25/6/2022

Tóm tắt: Trong nghiên cứu này, bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển Bắc Bộ được đánh giá trong giai đoạn khí hậu hiện tại (1951–2010) và khí hậu tương lai (2051–2110) để phục vụ xây dựng phương án ứng phó và quy hoạch. Trong đó, số liệu bão trong hai giai đoạn này được thu thập từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3, thuộc dự án các mô hình khí hậu lần 5 (*CMIP5 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*). Với giai đoạn 2051–2110, mô hình MRI–CGCM3 được áp dụng cho kịch bản phát thải cao nhất (RCP 8.5) để mô phỏng bão tương lai. Kết quả mô phỏng bão trên Biển Đông từ mô hình trong giai đoạn 1951–2010 được đánh giá với số liệu bão thực tế và đã cho thấy có sự tương đồng giữa 2 nguồn số liệu. Về xu thế biến đổi của bão trong khí hậu tương lai, bão mạnh có xu hướng dịch xuống phía Nam, tập trung nhiều tại ven biển Thanh Hóa–Hà Tĩnh và xuất hiện muộn hơn, số lượng bão yếu và trung bình có xu thế giảm, số lượng bão mạnh và rất mạnh có xu thế tăng so với giai đoạn khí hậu hiện tại. Khu vực có nước dâng do bão lớn dịch chuyển xuống phía Nam, ven biển các tỉnh Thanh Hóa–Hà Tĩnh là nơi sẽ có nước dâng bão lớn nhất với độ cao nước dâng lớn nhất có thể lên tới 4,0m.

Từ khóa: Bão; Nước dâng do bão; Biến đổi khí hậu; MRI–CGCM3.

1. Mở đầu

Bão là một thiên tai có nguồn gốc khí tượng thủy văn nguy hiểm mà hệ quả là hiện tượng ngập lụt, xói lở bờ biển và xâm nhập mặn do nước biển dâng cao kết hợp triều cường và sóng lớn, đặc biệt là trong bối cảnh biến đổi khí hậu, được nhận định sẽ có nhiều bão mạnh/siêu bão với diễn biến bất thường có thể ảnh hưởng tới đất liền Việt Nam.

Trên thế giới, lịch sử đã chứng kiến nhiều cơn bão gây nước biển dâng cao kèm theo sóng lớn làm ngập vùng ven bờ trên diện rộng như bão Katrina (8/2005) đổ bộ vào bang New Orleans, Hoa Kỳ, bão Nargis (5/2008) đổ bộ vào Myanmar, bão Haiyan (11/2013) đổ bộ vào Philipin [1]. Tại Việt Nam, lịch sử cũng đã ghi nhận nhiều cơn bão gây gió mạnh, nước biển dâng cao kèm theo sóng lớn làm tràn, vỡ đê, gây ngập lụt trên diện rộng. Trong đó, vùng biển ven biển Bắc Bộ (từ Quảng Ninh–Hà Tĩnh) là nơi đông dân cư và có nhiều khu vực kinh tế trọng điểm, đây cũng là nơi có nguy cơ cao nhất về bão và nước dâng do bão. Riêng giai đoạn từ năm 2005 đến nay tại khu vực này đã có một loạt cơn bão đổ bộ vào thời điểm triều cường với nước dâng bão cao từ 1–2m làm vỡ đê, gây ngập úng nghiêm trọng (Washi–2005 tại Hải Phòng; Damrey–2005 tại Nam Định; Kalmaegye–2014 tại Quảng Ninh, Doksuri–2017 tại Nghệ An–Hà Tĩnh [1]).

Chính vì sự tàn khốc của bão nên nghiên cứu về bão và nước dâng đã được thực hiện theo nhiều hướng tiếp cận khác nhau để phục vụ dự báo, cảnh báo, quy hoạch và thiết kế các công trình trên biển, ven biển. Với hướng nghiên cứu để phục vụ dự báo cảnh báo nước dâng do bão, gần đây đã có nhiều mô hình, công nghệ dự báo được xây dựng và phát triển cả ở trong và ngoài nước để nâng cao độ tin cậy và chi tiết của thông tin dự báo, ví dụ như một số nghiên cứu sử dụng mô hình tích hợp trong dự báo nước dâng do bão [2–5]. Gần đây, bão và nước dâng bão ở Việt Nam được tập trung theo hướng tính toán nguy cơ theo các kịch bản cho tương lai. Theo hướng nghiên cứu này có thể kể đến các công trình [6–7]. Nghiên cứu [8] đã tính toán, xây dựng một bộ số liệu cơ bản về thủy triều, nước dâng bão và mực nước tổng hợp do thủy triều và nước dâng bão dọc ven biển Việt Nam để phục vụ thiết kế đê biển. Trong đó, tập hợp bão phát sinh thống kê được xây dựng theo phương pháp Monte–Carlo dựa trên phân bố xác suất của các tham số bão đã xuất hiện trong quá khứ. Cũng theo hướng này, nghiên cứu [9] đã kết hợp nhiều phương pháp khác nhau như thống kê, mô hình số trị để tính toán và đánh giá biến động mực nước biển cực trị do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu tại các khu vực ven biển miền và hải đảo Việt Nam. Nghiên cứu [10] đã sử dụng số liệu bão phát sinh thống kê trong 1000 năm để tính tần suất xuất hiện nước dâng do bão theo các chu kỳ lặp tại dải ven biển từ Quảng Bình đến Quảng Nam.

Nghiên cứu này sẽ tập trung đánh giá bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển Bắc Bộ trong tương lai (giai đoạn 2051–2110). Các kết quả tính toán, phân tích được đánh giá so với giai đoạn hiện tại (giai đoạn 1951–2010) để cho thấy xu thế biến về bão và nước dâng do bão tại khu vực nghiên cứu trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Trong đó, số liệu bão dùng để phân tích và tính toán được thu thập từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3, thuộc dự án các mô hình khí hậu lần 5 (CMIP5 – *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*) [11].

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu phục vụ nghiên cứu

2.1.1. Dữ liệu bão từ mô hình toàn cầu

Dữ liệu bão từ mô hình toàn cầu, bao gồm dữ liệu bão trong khí hậu hiện tại (giai đoạn 1951–2010) và khí hậu tương lai (giai đoạn 2051–2110) được thu thập để đánh giá, so sánh bão trên Biển Đông và nước dâng do bão tại ven biển vịnh Bắc Bộ trong hai giai đoạn này. Đây là số liệu bão mô phỏng thuộc dự án đối chứng các mô hình khí hậu lần 5 (CMIP5 – *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*). CMIP5 là dự án được xây dựng tiếp nối trên sự thành công của các pha CMIP trước đó. CMIP5 được thực hiện với tổ hợp hơn 50 mô hình toàn cầu ứng với hơn 20 nhóm mô hình khác nhau [11].

Dự án CMIP5 đã cung cấp bộ kịch bản khí nhà kính RCPs (Representative Concentration Pathways) gồm: RCP2.6 tương ứng với mức phát thải thấp nhất (2.6Wm^{-2}), RCP4.5 mức phát thải trung bình thấp (4.5Wm^{-2}), RCP6.0 mức phát thải trung bình cao (6.0Wm^{-2}) và RCP8.5 mức phát thải cao nhất (8.5Wm^{-2}) để dự đoán khí hậu trong tương lai vào cuối thế kỷ 21. Các mô hình hoàn lưu chung khí quyển (AGCM) sau khi ra đời đã trở thành công cụ chủ yếu trong nghiên cứu mô phỏng khí hậu. Do tầm quan trọng của đại dương đối với hệ thống khí hậu nên việc tích hợp mô hình hoàn lưu chung đại dương (OGCM) với mô hình hoàn lưu chung khí quyển (AGCM) để tạo thành hệ thống mô hình kết hợp đại dương khí quyển (AOGCM). Các mô hình AOGCM sau đó không ngừng được nghiên cứu và hoàn thiện thông qua việc tăng độ

phân giải không gian cũng như cải tiến các modul động lực học và các sơ đồ tham số hóa. Khả năng của các mô hình AOGCM trong mô phỏng các sự kiện cực trị đã được cải thiện đáng kể, đặc biệt là những đợt nắng nóng, đợt rét. Mô phỏng các xoáy thuận nhiệt đới cũng được cải thiện. Hiện tại đã có tổng số 8 mô hình CMIP5 AOGCM cho ra kết quả mô phỏng bão trong quá khứ và tương lai với kịch bản RCP 8.5. Chi tiết về các mô hình như trên bảng 1.

Bảng 1. Danh sách các mô hình AOGCM mô phỏng bão từ Dự án CMIP5.

TT	Tên mô hình	Độ phân giải (vĩ độ x kinh độ)	Tổ chức
1	ACCESS1.0	1.25×1.875	Cơ quan nghiên cứu Khoa học và Công nghệ/ Cục khí tượng, Úc
2	BCC-CSM1.1	2.8×2.8	Trung tâm Khí hậu Bắc Kinh – Cục khí tượng Trung Quốc
3	CNRM-CM5	1.4×1.4	Trung tâm Nghiên cứu khí tượng Thủy văn Quốc gia Pháp
4	GFDL-CM3	2×2.5	Phòng thí nghiệm Địa vật lý Động lực học chất lỏng NOAA
5	HadGEM2-ES	1.25×1.875	Trung tâm Nghiên cứu Khí tượng Thủy văn Hadley – Anh
6	INMCM4	1.5×2	Viện toán học số trị – Nga
7	MIROC5	1.4×1.4	Viện nghiên cứu đại dương và khí quyển đại học Tokyo – Nhật bản
8	MRI-CGCM3	1.125×1.125	Viện nghiên cứu khí tượng – Nhật Bản

Trong nghiên cứu này sử dụng mô hình MRI-CGCM3 vì có độ phân giải cao nhất trong 8 mô hình thích hợp cho khu vực nghiên cứu. Ngoài ra, đây là mô hình có độ tin cậy cao được phát triển bởi Viện nghiên cứu Khí tượng Nhật Bản và đã đóng góp vào Báo cáo đánh giá lần thứ năm của Ủy ban liên chính phủ về biến đổi khí hậu (CMIP5). Chi tiết về mô hình được trình bày [11]. Dữ liệu đầu ra của mô hình bao gồm 6 thông tin về bão/ATNĐ được trích xuất bằng phương pháp SimpleDM [12–14] gồm (1): thời gian (ngày, tháng, năm giờ quốc tế UTC) với bước thời gian 06 giờ (0 giờ, 6 giờ, 12 giờ, 18 giờ), (2) kinh độ tại tâm bão, (3) vĩ độ tại tâm bão, (4) khí áp thấp nhất tại tâm bão tính bằng (hPa), (5) bán kính nhỏ nhất của gió 50kt (6) vận tốc gió cực đại tính bằng m/s.

2.1.2. Số liệu bão thực tế

Thông tin về bão thực tế hoạt động trên Biển Đông trong giai đoạn 1951–2010 được thu thập để kiểm chứng kết quả mô phỏng bão của mô hình MRI-CGCM3 trong giai đoạn 1951–2010. Các tham số bão chính thu thập bao gồm quỹ đạo và khí áp tại tâm bão. Các tiêu chí để so sánh kết quả mô phỏng bão từ mô hình mô hình MRI-CGCM3 với dữ liệu thực tế bao gồm số lượng bão, quỹ đạo bão, tỷ lệ các cấp bão và phân bố bão theo tháng trong năm. Các kết quả phân tích dưới đây sẽ chủ yếu tập trung cho bão (cường độ cấp 8 trở lên theo cấp Bô Pho).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, mô hình tích hợp thủy triều, sóng biển và nước dâng do bão (SuWAT–Surge Wave and Tide) được sử dụng để tính nước dâng do bão tại khu vực ven biển Bắc Bộ trong 2 giai đoạn, 1951–2010 và 2051–2110 để đánh giá xu thế nước dâng trong bối

cảnh biến đổi khí hậu. Trong đó, dữ liệu bão trong hai giai đoạn này là kết quả mô phỏng từ mô hình MRI–CGCM3. Mô hình SuWAT được xây dựng tại đại học Kyoto Nhật Bản, bao gồm 2 mô hình thành phần là mô hình thủy triều và nước dâng dựa trên hệ phương trình nước nông 2 chiều có tính đến nước dâng do ứng suất sóng và mô hình quen thuộc SWAN tính toán sóng. Chi tiết về cơ sở lý thuyết của mô hình cũng như kết quả đánh giá mô phỏng trong tính toán nước dâng do bão tại khu vực nghiên cứu đã được trình bày trong nghiên cứu [15].

Để mô phỏng nước dâng tại ven biển Bắc Bộ, mô hình SuWAT được thiết kế trên lưới vuông và lồng 2 lớp với thông tin về miền tính và độ phân giải của lưới tính như trên bảng 2. Trong đó, lưới tính Biển Đông (lưới D1) là miền tính lớn nhất được xây dựng với độ phân giải ngang 4 phút (khoảng 7400 m), bao phủ từ vĩ độ $6^{\circ} - 22^{\circ}\text{N}$, kinh độ $103^{\circ} - 120^{\circ}\text{E}$. Lưới lồng kế tiếp (lưới tính khu vực – D2) được thiết lập cho ven biển Bắc Bộ với cùng độ phân giải 1 phút (khoảng 1850m) trong phạm vi $16.0^{\circ} - 22.5^{\circ}\text{N}$, $106.0^{\circ} - 110.5^{\circ}\text{E}$.

Bảng 2. Miền tính và độ phân giải lưới tính ven biển Bắc Bộ.

Lưới	Miền tính	Số điểm tính theo kinh & vĩ tuyến	Độ phân giải ($\Delta x \times \Delta y$)
D1	$103^{\circ} - 120^{\circ}\text{E}$, $6 - 22^{\circ}\text{N}$	368×377	5000×5000
D2	$105.0^{\circ} - 108^{\circ}\text{E}$, $18.0^{\circ} - 22^{\circ}\text{N}$	300×300	1850×1850

3. Kết quả và thảo luận

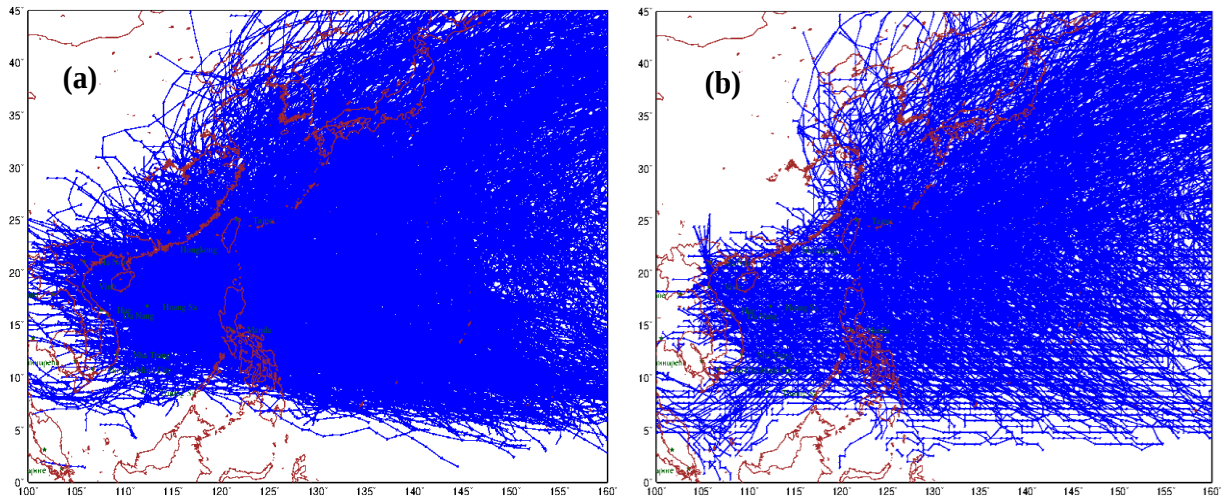
3.1. Bão trên Biển Đông dưới tác động của biến đổi khí hậu

3.1.1. Đánh giá dữ liệu bão từ kết quả mô hình toàn cầu trên Biển Đông

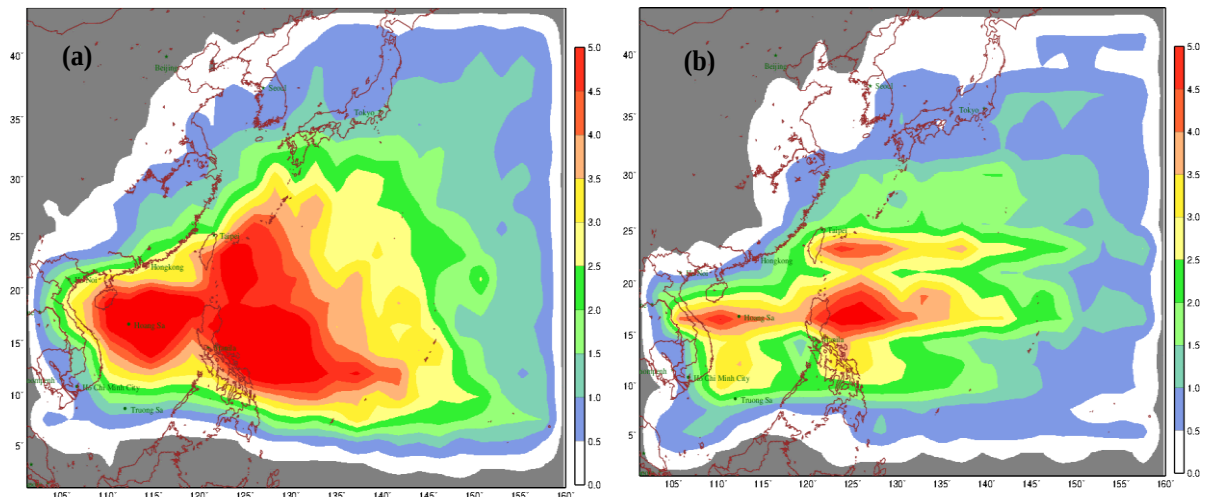
Để đánh giá dữ liệu bão mô phỏng từ mô hình toàn cầu trên Biển Đông, dữ liệu bão và áp thấp nhiệt đới cùng thời kỳ trong giai đoạn 1951–2010 được thu thập từ JMA, Nhật Bản. Trong đó, toàn bộ các cơn bão có tâm nằm trong kinh tuyến 120°E sẽ được tính. Về số lượng bão trên Biển Đông, kết quả phân tích cho thấy số lượng cơn bão của mô hình khá sát với số lượng bão thực tế với số cơn bão thực tế có 983 cơn, trong khi đó kết quả từ mô hình là 952 cơn. Phân bố theo không gian số lượng cơn bão đổ bộ vào khu vực Biển Đông cũng khá đồng nhất, thường hình thành chủ yếu ở khu vực từ $5^{\circ}\text{N} - 30^{\circ}\text{N}$ và hoạt động chủ yếu trong vùng $10^{\circ}\text{N} - 40^{\circ}\text{N}$; $110^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$ với hai dạng quỹ đạo chính là: Di chuyển theo hướng Tây đến Tây Bắc và di chuyển theo hướng Đông Bắc (Hình 1). Kết quả tính mật độ bão xuất hiện theo các ô lưới trên Biển Đông tại hình 2 cũng cho thấy sự tương đồng, mặc dù kết quả phân tích từ 2 nguồn dữ liệu có sự khác biệt về độ phân giải không gian của xác định tọa độ bão (từ mô hình độ phân giải $1,125^{\circ} \times 1,125^{\circ}$, thưa hơn thực tế).

Thống kê tỷ lệ bão theo từng tháng từ số liệu của mô hình và thực tế trên hình 3 cho thấy cả hai nguồn đều có số lượng bão nhiều từ các tháng 7 đến tháng 12, các tháng còn lại ít hơn. Xét về cấp bão, kết quả phân tích trên bảng 3 cho thấy hai bộ số liệu cũng cho kết quả khá đồng nhất về tỷ lệ số lượng bão theo cấp, với bão từ cấp 8 đến cấp 11 tỷ lệ đều trên 80%, cấp 12 – 13 trên 10% và trên cấp 13 đều trên 2%. Chi tiết về tần suất cấp bão theo tháng trong năm trên hình 4a

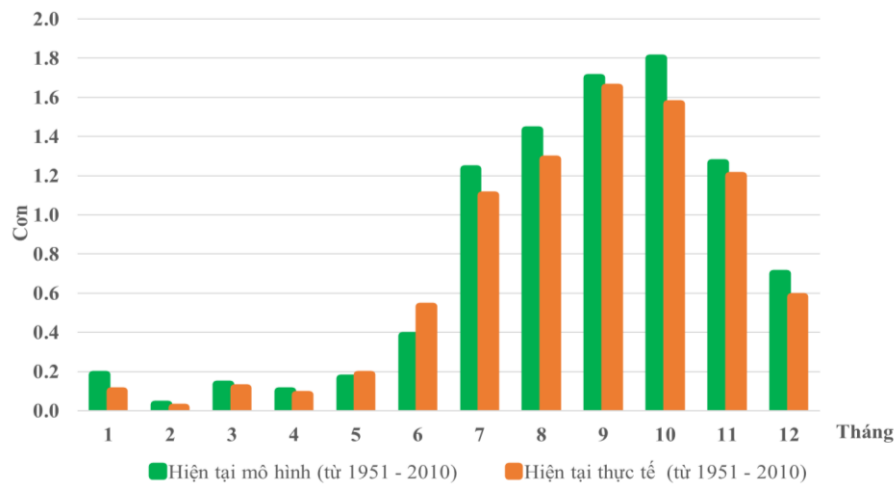
(bão thực tế) và hình 4b (bão từ mô hình) cũng cho thấy sự tương đồng giữa kết quả của mô hình với số liệu thực tế.



Hình 1. Quỹ đạo di chuyển của bão và áp thấp nhiệt đới thực tế (a) và mô hình (b) đổ bộ vào khu vực Biển Đông giai đoạn năm 1951–2010.



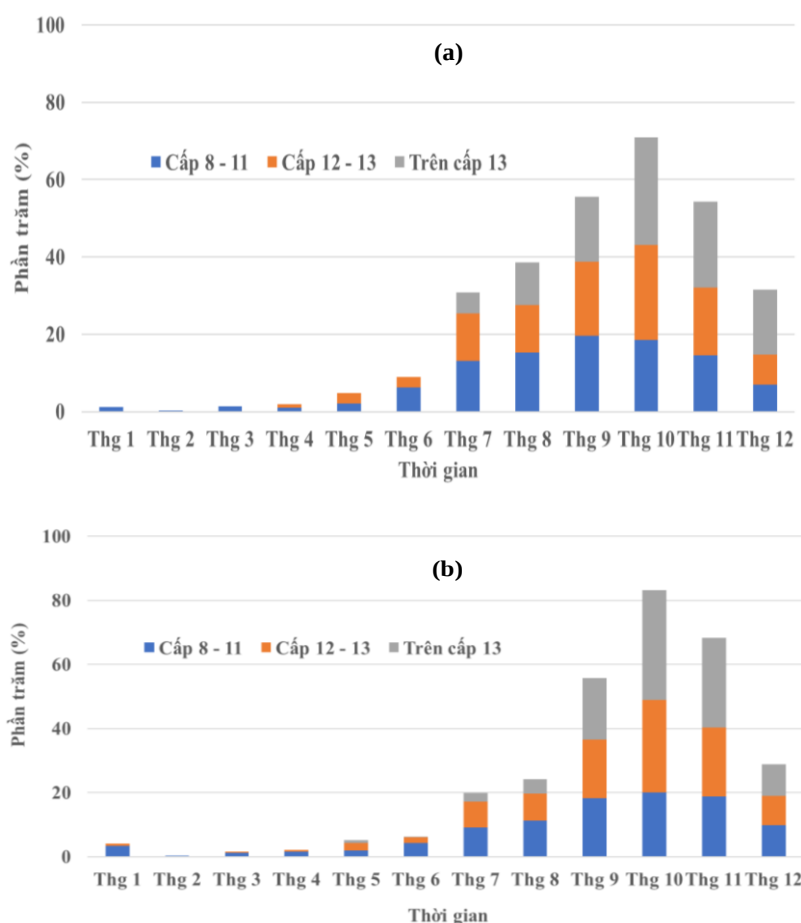
Hình 2. Phân bố tần suất số lượng cơn bão, áp thấp nhiệt đới thực tế (a) và mô hình (b) trên Biển Đông giai đoạn 1951–2010.



Hình 3. So sánh phân bố bão theo số liệu khí hậu mô hình hiện tại và số liệu theo thực tế.

Bảng 3. Tỷ lệ (%) số lượng bão hoạt động trên Biển Đông theo cấp bão từ số liệu thực tế và mô hình MRI–CGCM3 giai đoạn 1951–2010.

Cấp bão	Giai đoạn (1951 – 2010) (Thực tế)	Giai đoạn (1951 – 2010) (Mô hình)
Cấp 8 – 11 (17.2–32.6 m/s)	81	83
Cấp 12 – 13 (32.7–41.4 m/s)	17	13
Trên cấp 13 (Trên cấp 41.4 m/s)	2	4



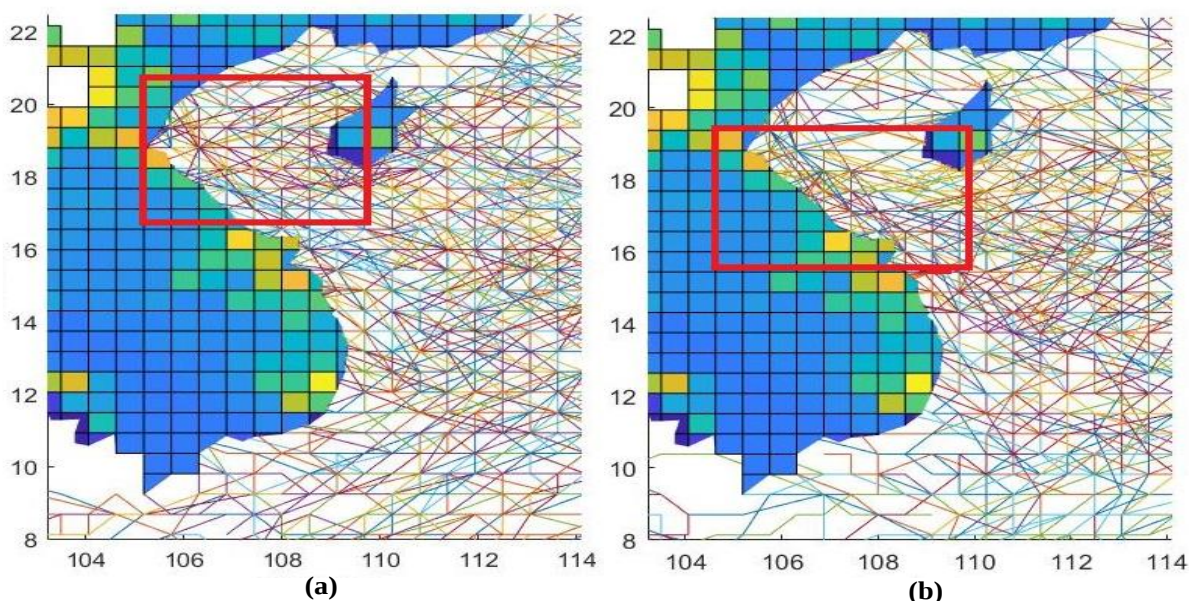
Hình 4. Tỷ lệ (%) số lượng bão theo cấp trong các tháng giai đoạn 1951–2010. (a) Số liệu thực tế, (b) số liệu mô hình.

Những phân tích ở trên có thể thấy rằng sản phẩm dự báo bão trong giai đoạn 1951–2010 từ mô hình MRI–CGCM3 tương đối sát với thực tế kể cả về số lượng bão, quỹ đạo và tần suất theo các cấp bão mặc dù độ phân giải của mô hình trong xác định vị trí tâm bão còn thô. Do vậy, kết quả dự tính bão từ mô hình MRI–CGCM3 sẽ được sử dụng để đánh giá bão và nước dâng do bão trong khí hậu hiện tại (giai đoạn 1951–2010) và khí hậu tương lai (2051–2100) ở nội dung tiếp theo.

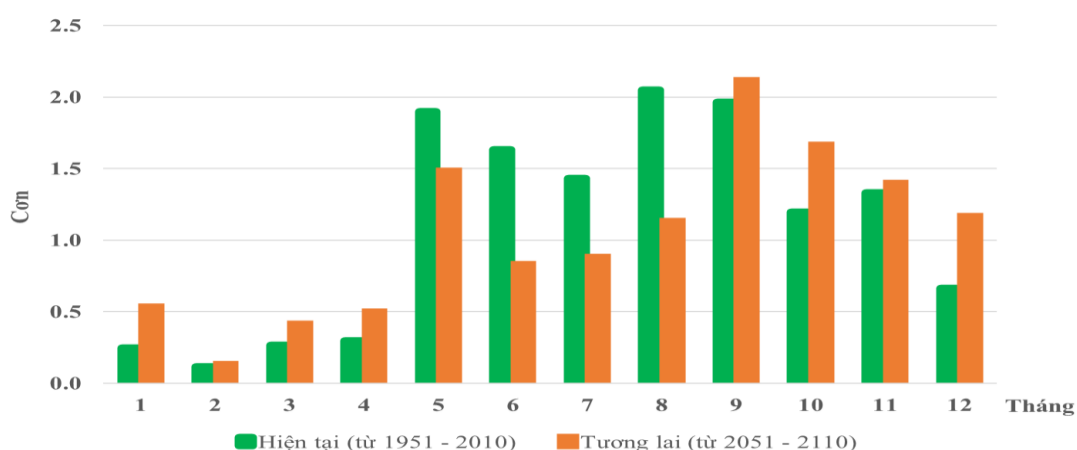
3.1.2. Đặc điểm bão trên Biển Đông ở khí hậu hiện tại và tương lai

Kết quả mô phỏng quỹ đạo bão từ mô hình trong khí hậu hiện tại (1951–2010) thể hiện trên hình 5a và khí hậu tương lai (2051–2110) trên hình 5b cho có sự khác biệt với bão trong giai đoạn 2051–2110 khu vực đổ bộ có xu hướng tập trung nhiều xuống phía Nam hơn bão so với

giai đoạn 1951–2010. Tại khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ có sự thay đổi về vị trí ảnh hưởng của các cơn bão khi khu vực ven biển ngoài khơi Thái Bình–Nam Định là nơi có mật độ bão nhiều nhất ở giai đoạn 1951–2010 và trong giai đoạn 2051–2110 mật độ bão cao có xu hướng dịch chuyển xuống phía Nam, khu vực ven biển Thanh Hóa–Nghệ An. Kết quả phân bố số lượng bão trên Biển Đông theo tháng giữa hai giai đoạn trên hình 6 cho thấy giai đoạn 2051–2110 số lượng bão có xu thế giảm trong các tháng đầu mùa bão (tháng 6,7,8) nhưng lại có xu thế tăng ở cuối mùa bão so với giai đoạn 1951–2010. Như vậy có thể thấy trong tương lai, thời gian hoạt động của bão có xu thế dịch chuyển muộn hơn, khoảng thời gian bão trong giai đoạn hiện tại hoạt động chủ yếu ở phía Nam.



Hình 5. Quỹ đạo bão trong giai đoạn 1951–2010 (a) và giai đoạn 2051–2110 (b). Sản phẩm từ mô hình MRI–CGCM3.



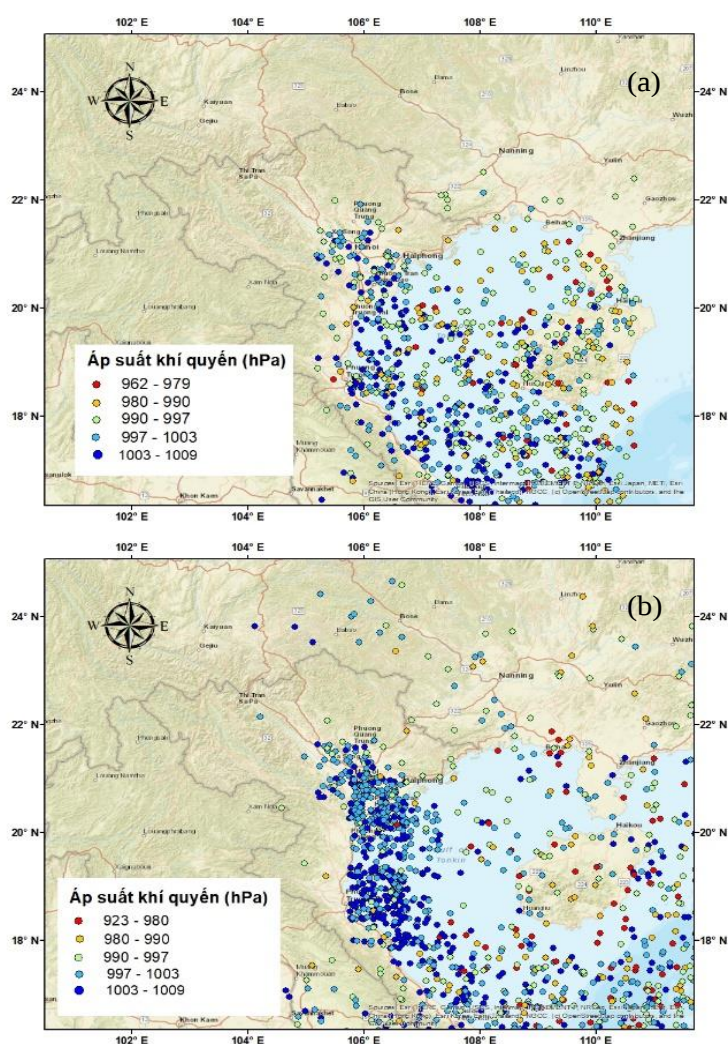
Hình 6. Phân bố theo tháng của bão ở khí hậu hiện tại (1951–2010) và tương lai (2051–2110). Sản phẩm từ mô hình MRI–CGCM3.

So sánh phân bố theo tỷ lệ % số lượng bão hoạt động trên Biển Đông theo các cấp bão thể hiện trên bảng 4 cho thấy so với giai đoạn 1951–2010, số lượng bão yếu và trung bình trong giai đoạn 2051–2010 có xu thế giảm trong khi số lượng bão mạnh đến rất mạnh có xu thế tăng rõ rệt, đặc biệt tập trung vào các tháng 9,10,11 trong năm.

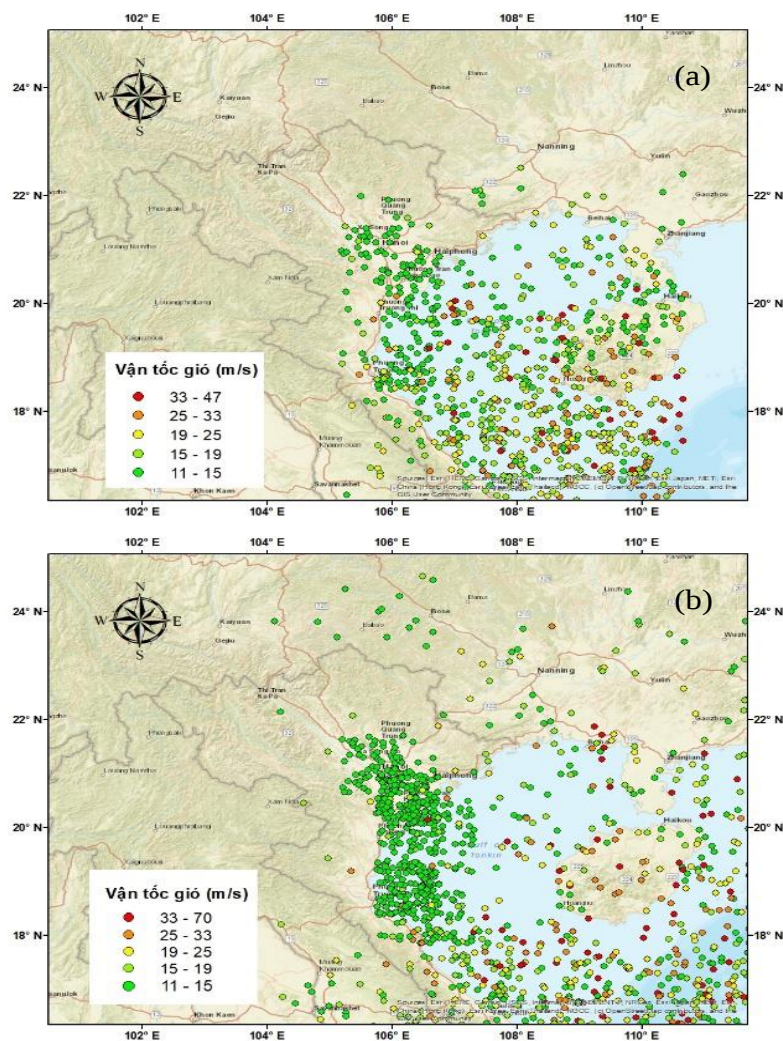
Bảng 4. Tỷ lệ (%) số lượng bão hoạt động trên Biển Đông theo cấp bão trong giai đoạn khí hậu hiện tại và tương lai. Kết quả từ mô hình MRI–CGCM3.

Cấp bão	Giai đoạn (1951 – 2010) (Mô hình)	Giai đoạn (2051 – 2110) (Mô hình)
Cấp 8 – 11 (17.2–32.6m/s)	83	82
Cấp 12 – 13 (32.7–41.4m/s)	13	11
Trên cấp 13 (Trên cấp 41.4m/s)	4	7

Phân bố không gian của khí áp tại tâm bão và vận tốc gió mạnh nhất trong bão giữa 2 giai đoạn thể hiện trên hình 7 (khí áp tâm bão) và hình 8 (vận tốc gió mạnh nhất trong bão). Kết quả cho thấy, so với giai đoạn hiện tại, giai đoạn 2051–2110 vùng bão mạnh có xu hướng dịch xuống phía Nam và tại đây cũng xuất hiện nhiều cơn bão có cường độ mạnh hơn. Trong số liệu mô phỏng khí hậu giai đoạn hiện tại, có trường hợp bão có khí áp tại tâm nhỏ nhất là 962 hPa, trên thực tế, trong giai đoạn này đã ghi nhận bão Harriet đổ bộ vào khu vực Quảng Trị tháng 7 năm 1971 với khí áp tâm bão thấp nhất 960hPa, tương đương với gió cấp 14 theo thang Bô Pho. Trong khi đó, số liệu bão tương lai có trường hợp khí áp tâm bão tới 920hPa, vận tốc gió lớn nhất trong bão 72 m/s, tương đương cấp 17 theo thang Bô pho.



Hình 7. Phân bố áp suất tâm bão trong giai đoạn 1951–2010 (a) và giai đoạn 2051–2110 (b). Sản phẩm từ mô hình MRI–CGCM3.

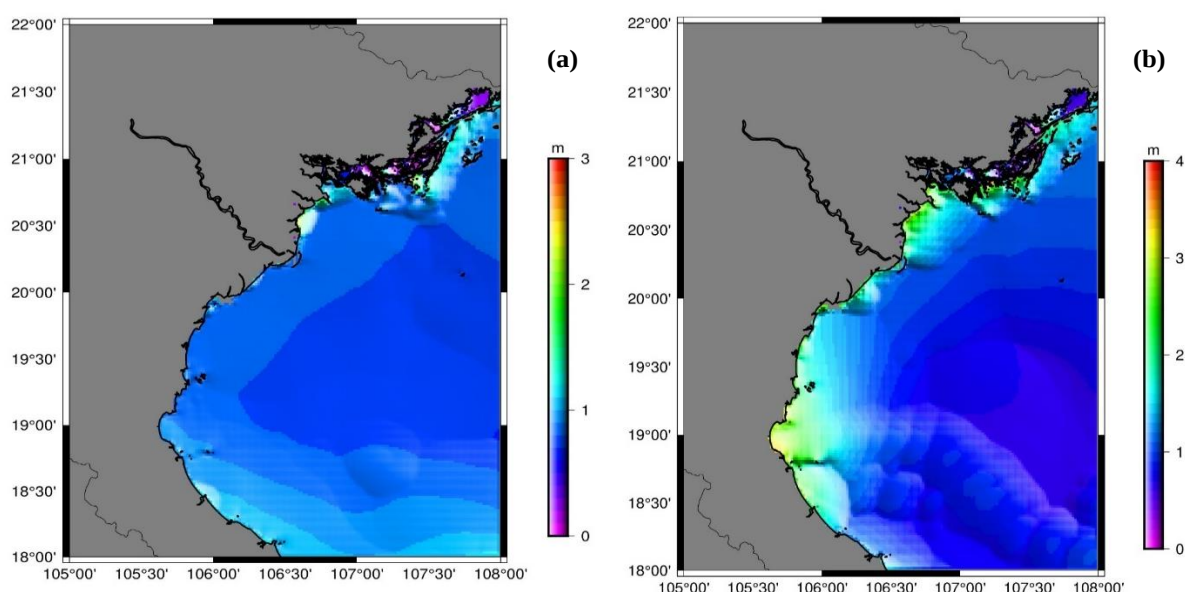


Hình 8. Phân bố vận tốc gió lớn nhất trong bão trong giai đoạn 1951–2010 (a) và giai đoạn 2051–2110 (b). Sản phẩm từ mô hình MRI–CGCM3.

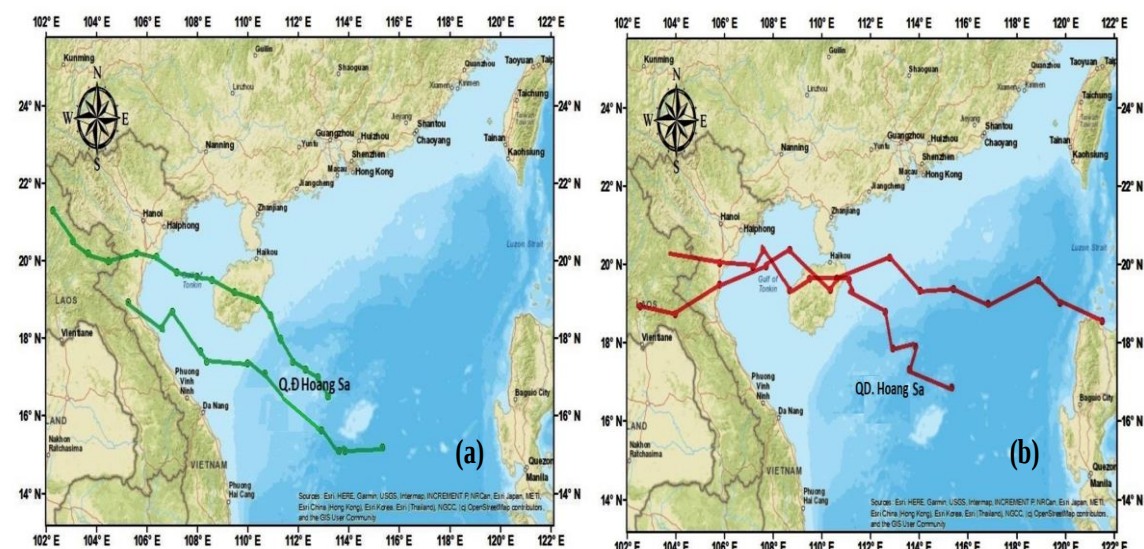
3.2. Nước dâng trên khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ ở khí hậu hiện tại và tương lai

Để có được bức tranh đầy đủ về nước dâng bão trong 2 giai đoạn 1951–2010 và 2051–2110, nghiên cứu này sử dụng mô hình SuWAT để tính nước dâng bão cho tất cả các cơn bão được mô phỏng từ mô hình MRI–CGCM3 đổ bộ vào khu vực trong 2 giai đoạn này. Trên hình 9 thể hiện phân bố nước dâng bão lớn nhất tại dải ven biển Vịnh Bắc Bộ trong giai đoạn 1951–2010 (hình 9a) và giai đoạn 2051–2110 (Hình 9b). Trong đó toàn bộ các cơn bão ảnh hưởng và gây nước dâng tại khu vực trong 2 giai đoạn này được tính toán. Tại hình 9a, có thể thấy trong giai đoạn này khu vực có nước dâng bão lớn tập trung ở phía bắc của Vịnh Bắc Bộ (Quảng Ninh–Nam Định) với độ lớn nước dâng lớn nhất lên tới gần 3,0 m. Trên thực tế, trong giai đoạn này số liệu quan trắc tại trạm Hòn Dấu đã ghi nhận nhiều cơn bão gây nước dâng hơn 1,0 m như bão Frankie (7/1996) là 1,2 m, bão Niki (8/1996) 1,3 m, bão Damrey (9/2005) là 1,3 m. Nhiều vị trí khác trong khu vực có thể ghi nhận nước dâng do bão tới gần 3,0m nhưng đã không ghi nhận được do không có trạm đo. Kết quả mô phỏng nước dâng bão lớn nhất giai đoạn 2051–2110 trên hình 9b cho thấy so với giai đoạn 1951–2010 nước dâng do bão lớn hơn tại hầu hết các vị trí trong khu vực và vùng nước dâng lớn nhất dịch xuống phía Nam (Nghệ An–Hà Tĩnh) với nước dâng lớn nhất tới gần 3,5 m. Khu vực ven biển Nghệ An–Hà Tĩnh trong giai đoạn 2051–2110 có nước dâng do bão lớn bởi trong giai đoạn này tập trung nhiều cơn bão mạnh đổ

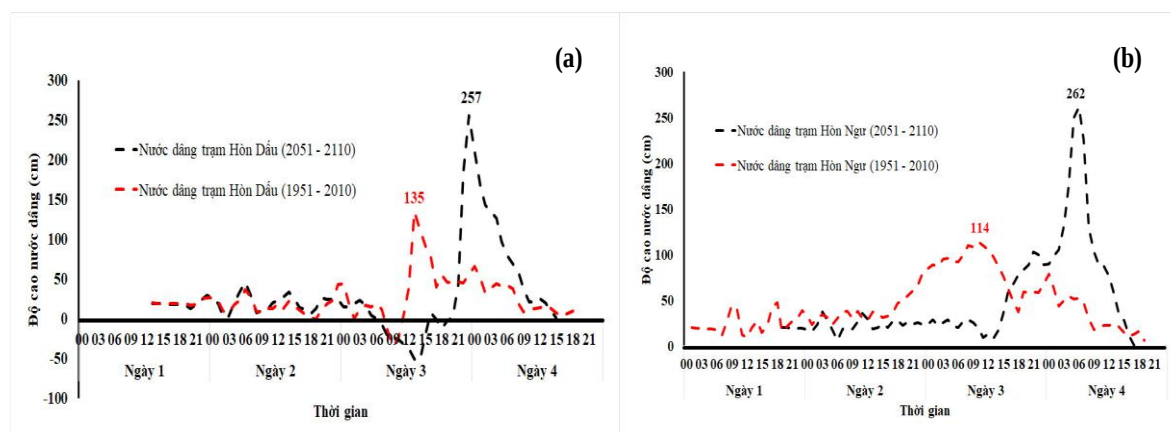
bộ vào khu vực, ngoài ra đây là vùng biển hõm, thuận lợi cho nước dâng cao hơn so với khu vực ven biển lân cận. Đối với nước dâng tại Hòn Dấu và Hòn Ngự, nghiên cứu đã lựa chọn mỗi trạm 02 cơn bão điển hình gây nước dâng lớn nhất tại mỗi trạm cho 2 giai đoạn. Quỹ đạo 02 cơn bão gây nước dâng lớn nhất tại Hòn Dấu Hòn Dấu và Hòn Ngự trong giai đoạn 1951–2010 và giai đoạn 2051–2110 thể hiện trên hình 10a (giai đoạn 1951–2010) và 10b (giai đoạn 2051–2010). Diễn biến nước dâng do bão tại Hòn Dấu và Hòn Ngự ứng với 02 cơn bão trong hai giai đoạn thể hiện trên hình 11a (trạm Hòn Dấu) và 11b (trạm Hòn Ngự). Có thể thấy rằng tại trạm Hòn Dấu, nước dâng lớn nhất giai đoạn 2051–2110 (257 cm) cao hơn giai đoạn 1951–2010 (135 m), tăng 122 cm. Trong khi đó tại trạm Hòn Ngự mức độ tăng của nước dâng giai đoạn 2051–2110 (262cm) cao hơn so với giai đoạn 1951–2010 (110 cm), tăng 152cm. Kết quả phân tích độ lớn nước dâng do bão trong 2 giai đoạn trên toàn bộ ven biển vịnh Bắc Bộ cũng như tại trạm Hòn Dấu và Hòn Ngự cho thấy giai đoạn 2051–2110 sẽ có nước dâng do bão cao hơn hẳn so với hiện tại do bởi với giai đoạn 2051–2110, mô hình MRI–CGCM3 sử dụng kịch bản phát thải cực đoan nhất (kịch bản RCP 8.5).



Hình 9. Phân bố nước dâng bão lớn nhất tại Vịnh Bắc Bộ trong giai đoạn 1951–2010 (a) và 2051–2110 (b). Số liệu bão từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3.



Hình 10. Quỹ đạo 02 cơn bão gây nước dâng lớn nhất tại Hòn Dấu và Hòn Ngự giai đoạn 1951–2010 (a) và 2051–2110 (b). Số liệu bão từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3.



Hình 11. Diễn biến dâng tại trạm Hòn Dấu (a) và Hòn Ngư (b) trong giai đoạn 1951 – 2010 và 2051 – 2110. Số liệu bão từ kết quả của mô hình MRI–CGCM3.

Nước dâng trong bão kèm sóng lớn là nguyên nhân chính gây ra thiệt hại nghiêm trọng đến đô thị ven biển và các công trình ven biển, đặc biệt nguy hiểm nếu xảy ra ở thời kỳ triều cường. Mặc dù trong nghiên cứu này chưa xét đến ảnh hưởng của thủy triều và sóng, tuy nhiên thông tin về nước dâng trong tương lai do biến đổi khí hậu đã phân tích ở trên sẽ góp phần xây dựng phương án ứng phó cũng như quy hoạch trong tương lai.

4. Kết luận và kiến nghị

4.1. Kết luận

Trong nghiên cứu này, số liệu bão từ mô hình mô hình kết hợp đại dương khí quyển MRI–CGCM3 đã được thu thập để phân tích các đặc trưng bão trên Biển Đông và hệ quả nước dâng do bão tại ven biển Vịnh Bắc Bộ ở giai đoạn khí hậu hiện tại (1951–2010) và khí hậu tương lai (2051–2010). Số liệu bão thực tế trong giai đoạn 1951–2010 được thu thập để đánh giá kết mô phỏng bão quả từ mô hình. Mô hình tích hợp SuWAT được ứng dụng để tính toán nước dâng do bão ở cả 2 giai đoạn. Những kết quả chính đạt được từ nghiên cứu này có thể tóm tắt như sau:

- Đã thu thập số liệu bão mô phỏng từ mô hình MRI–CGCM3 cho giai đoạn 1951–2010 và 2051–2110. So sánh kết quả mô phỏng bão trong giai đoạn 1951–2010 từ mô hình với số liệu thực tế cho thấy tương đồng cả về số lượng, quỹ đạo, phân bố số lượng và cường độ bão theo không gian và thời gian.
- Về xu thế biến đổi của bão, so với giai đoạn 1951–2010, trong giai đoạn 2051–2110 bão mạnh có xu hướng dịch xuống phía Nam và thường xuất hiện muộn hơn, từ tháng 8 đến tháng 12, cao điểm vào các tháng 9, 10. Số lượng bão yếu và trung bình có xu thế giảm trong khi đó số lượng bão mạnh đến rất mạnh có xu thế tăng (4% lên 7%).
- Trong giai đoạn ở khí hậu hiện tại, nước dâng bão lớn nhất ghi nhận được tập trung tại các tỉnh từ Quảng Ninh–Nam Định với nước dâng lớn nhất tới gần 3,0m. Trong khi đó ở giai đoạn khí hậu tương lai, vùng có nước dâng do bão lớn dịch chuyển xuống phía Nam, ven biển các tỉnh Thanh Hóa–Hà Tĩnh sẽ có nước dâng lớn nhất, độ cao nước dâng có thể cao tới 4,0m.

4.2. Kiến nghị

- Nghiên cứu nước dâng do bão tại ven biển Việt Nam cho khí hậu tương lai cần tiếp tục với các sản phẩm dự báo bão từ các mô hình kết hợp khí quyển đại dương khác của dự án CMIP5 AOGCM.
- Trong nghiên cứu này, chỉ tập trung đánh giá nước dâng do bão tại khu vực ven biển Vịnh Bắc Bộ. Các khu vực khác của dải ven biển Việt Nam cần được triển khai thực hiện ở các nghiên cứu tiếp theo.

- Hệ quả chính của nước dâng do bão là gây ngập lụt vùng ven biển, do vậy cần triển khai nghiên cứu, đánh giá nguy cơ ngập lụt vùng ven biển do nước dâng bão theo các kịch bản biến đổi khí hậu để phục vụ quy hoạch và ứng phó trong dài hạn.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.B.T., S.K., N.P.A.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.B.T., S.K.; Xử lý số liệu: N.P.A., P.K.N.; Phân tích mẫu: N.P.A., P.K.N.; Lấy mẫu: N.P.A., S.K., N.B.T.; Viết bản thảo bài báo: N.P.A., P.K.N.; Chỉnh sửa bài báo: N.B.T., P.K.N.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số TNMT.2022.06.04, tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Thủy, N.B. Nghiên cứu lựa chọn mô hình dự báo nước dâng do bão vào dự báo nghiệp vụ tại Việt Nam. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2017.
2. Chiến, Đ.Đ.; Thủy, N.B.; Sáo, N.T.; Thái, T.H.; Kim, S. Nghiên cứu tương tác sóng và nước dâng do bão bằng mô hình số trị. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 647, 19–24.
3. Thủy, N.N. Nghiên cứu cơ chế gây nước dâng sau khi bão đổ bộ tại ven biển Bắc Bộ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2017**, 17(4B), 208–216.
4. Thuy, N.B.; Kim, S.; Dang, V.H.; Cuong, H.D.; Wettre, C.; Hole, L.R. Assessment of Storm Surge along the coast of Central Vietnam. *J. Coastal Res.* **2017**, 33, 518–530.
5. Thuy, N.B.; Kim, S.; Anh, T.N.; Cuong, N.K.; Thuc, P.T.; Hole, L.H. The influence of moving speeds, wind speeds, and sea level pressures on after–runner storm surges in the Gulf of Tonkin, Vietnam. *Ocean Eng.* **2020**, 212, 107613.
6. Thông, B.X.; Lai, N.V. Phương pháp xác định mực nước dâng cực đại có thể xảy ra do bão tại khu vực công trình đê biển. *Tạp chí Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2008**, 23, 48–57.
7. Mạnh, Đ.V. và cs. Tính toán cao độ mực nước biển phục vụ thiết kế công trình ven biển. Nxb Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 2014.
8. Mạnh, Đ.V. và cs. Nghiên cứu đề cập nhật, chi tiết hóa bộ số liệu cơ bản về triều, nước dâng dọc bờ biển từ Quảng Ninh đến Quảng Nam phục vụ tính toán thiết kế, củng cố nâng cấp đê biển. Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Cơ học, Hà Nội, 2008.
9. Ưu, Đ.V. và cs. Đánh giá biến động mực nước biển cực trị do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu phục vụ chiến lược kinh tế biển. Báo cáo tổng kết đề tài KC–09.23/06–10, Đại học QGHN, Hà Nội, 2010.
10. Chiến, Đ.Đ. Nghiên cứu đánh giá nước dâng do bão tại ven biển từ Quảng Trị đến Quảng Nam. Luận án Tiến sĩ khoa học, Trường Đại học khoa học tự nhiên, Đại học quốc gia Hà Nội, 2016.
11. Shimura, T.; Mori, N.; Mase, H. Future projections of extreme ocean wave climates and the relation to tropical cyclones–Ensemble experiments of MRI–AGCM3.2H. *J. Clim.* **2015**, 28, 9838–9856.
12. Yasuda, T.; Nakajo, S.; Kim, S.; Mase, H.; Mori, N.; Horsburgh, K. Evaluation of future storm surge risk in East Asia based on state-of-the-art climate change projection. *Coastal Eng.* **2014**, 83, 65–71. doi:10.1016/j.coastaleng.2013.10.003.
13. Shimura, T.; Mori, N. (2016). Projection of tropical cyclone–generated extreme wave climate based on CMIP5 multi–model ensemble in the Western North Pacific. *Clim. Dyn.* 2017, 49, 1449–1462. doi:10.1007/s00382-016-3390-2.

14. Yasuda, T.; Mase, H.; Mori, N. Projection of future typhoons landing on Japan based on a stochastic typhoon model utilizing AGCM projection. *Hydrol. Res. Lett.* **2010**, 4, 65–69. <http://dx.doi.org/10.3178/HRL.4.65>.
15. Kim, S.Y.; Yasuda, T.; Mase, H. Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves. *Appl. Ocean Res.* **2010**, 28, 311–322.

Assessment of storms in Bien Dong (the East Sea) and storm surge in the North Coast of Viet Nam affecting by climate change

Nguyen Phuong Anh¹, Nguyen Ba Thuy^{1*}, Pham Khanh Ngoc¹, Sooyoul Kim²

¹ National Center for Hydro–Meteorological Forecasting;
npanh2504@gmail.com, thuybanguyen@gmail.com, ngocpkchibo@gmail.com

² Kumamoto University, Japan; sooyoulkim@kumamoto-u.ac.jp

Abstract: In this study, storms in the Bien Dong Sea (the East Sea) and storm surge in the North coast of Viet Nam are assessed in the present climate (1951–2010) and future climate (2051–2110). Storm data in the two periods are collected from the results of the MRI–CGCM3 model, Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). For the period 2051–2110, the MRI–CGCM3 model simulated future storms with the highest emission scenario (RCP 8.5). There are similarities when comparing storm simulation data from the model with actual storm data in the period 1951–2010 in the East Sea. In the future climate, while the number of weak and moderate storms tends to decrease, the number of strong and very strong storms tends to increase compared to the current climate period. In addition, strong storms tend to shift to the south. At the same time, the area where the max storm surge occurs also tends to move to the south and along the coast of Thanh Hoa–Ha Tinh provinces is the places where will have the largest storm surge which possible up to 4.0 m. The results of the study will serve as a basis for developing a plan to respond to storms and storm surge in the future.

Keywords: Storm; Storm surge; Climate change; MRI–CGCM3.