



Original Article

# Sea Surface Temperature Changes Over the Twentieth and Twenty-First Centuries in East Vietnam Sea Simulated by Multi CMIP5 Models

Le Van Thien\*

*Hanoi University of Natural Resources and Environment, 41A Phu Dien, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam*

Received 06 October 2021

Revised 06 December 2021; Accepted 09 December 2021

**Abstract:** The East Vietnam Sea plays important roles in the Pacific Northwest region. The projection of changes in sea surface temperature (SST) in these regions is an important research topic in marine science. However, this is a very difficult problem due to the lack of available long-term projection data. Recently, with the development of numerical modeling technology, it has become an important way to help us understand climate change. This paper focuses on studying the SST changes in the East Vietnam Sea during the history of the 20th century and the change under 3 emission scenarios in the 21st century based on a combination of 20 global models (GCM) from Phase 5 of the the Climate Model Intercomparison Project (CMIP5) and together with the observed data set. Compared with the observed data, most of the global GCMs models can simulate well the spatial and seasonal changes of the SST over the East Vietnam Sea regions. The spatial and annual SST trends over the the 20th century based on both observations and multimodel ensemble averages show that the warming trend of SST over most of the East Vietnam Sea with the largest warming trend occurred in the center and southern regions of the East Vietnam Sea. However, compared with the observation, CMIP5 underestimated SST trends over most regions of East Vietnam Sea. In addition, there is a consistency between the CMIP5 and the spatial and seasonal observations of the SST trend in the East Vietnam Sea areas. The future SST projections for East Vietnam Sea indicate that RCP 4.5 and RCP 8.5 exhibit a gradual increase in annual SST during the 21st century at a rate of 0.1 °C and 0.3 °C per 10 years respectively. The lowest emission mitigation scenario, RCP 2.6, produces the lowest rate of warming. By the end of the 21st century, the annual SST is projected to increase by 0.5-2.0 °C in 3 emission scenarios of typical representative concentration pathways (RCP) 8.5, 4.5 and 2.6.

**Keywords:** Sea Surface Temperature, East Vietnam Sea, CMIP5.

\* Corresponding author.

*E-mail address:* lvthien@hunre.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4850>

# Sự thay đổi của nhiệt độ bề mặt biển trong thế kỷ 20 và thế kỷ 21 trên khu vực Biển Đông Việt Nam được mô phỏng bởi nhiều mô hình Cmp5

Lê Văn Thiện\*

*Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 41A Phú Diễn, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 06 tháng 10 năm 2021

Chỉnh sửa ngày 06 tháng 12 năm 2021; Chấp nhận đăng ngày 09 tháng 12 năm 2021

**Tóm tắt:** Biển Đông Việt Nam có vai trò quan trọng trong khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương. Dự báo sự thay đổi của nhiệt độ bề mặt biển (SST) đang là một chủ đề nghiên cứu quan trọng trong khoa học biển. Tuy nhiên đây là một vấn đề rất khó khăn do thiếu số liệu dự báo hạn dài. Gần đây với sự phát triển mạnh của công nghệ mô hình số mà nó đã trở thành phương tiện quan trọng giúp cho chúng ta hiểu biết về sự thay đổi của khí hậu tương lai. Bài báo này tập trung nghiên cứu sự biến đổi của nhiệt độ bề mặt biển trên Biển Đông Việt Nam trong lịch sử suốt thế kỷ 20 và dự báo sự thay đổi dưới 3 kịch bản phát thải trong thế kỷ 21 trên cơ sở tổ hợp của 20 các mô hình toàn cầu (GCM) từ pha 5 của dự án đối chứng mô hình kết hợp (CMIP5) và cùng với tập hợp số liệu quan trắc. So sánh với số liệu quan trắc, thì hầu hết các mô hình toàn cầu GCMs đều có thể mô phỏng tốt các đặc trưng biến đổi theo không gian và sự thay đổi theo mùa của SST trên khu vực biển Đông trong lịch sử. Kết quả tổ hợp nhiều mô hình của CMIP5 cho thấy các mô hình đã nắm bắt tốt được xu thế nóng lên của SST trên hầu khắp Biển Đông với giá trị lớn hơn ở khu vực giữa và nam biển Đông trong thế kỷ 20. Tuy nhiên độ lớn của xu thế tăng SST trung bình hằng năm từ các mô hình thì thấp hơn so với quan trắc. Ngoài ra cũng có sự thống nhất giữa CMIP5 và số liệu quan trắc theo không gian và theo mùa của xu thế SST trên các khu vực Biển Đông. Dự tính SST tương lai chỉ ra rằng các kịch bản phát thải nồng độ khí nhà kính đặc trưng (RCP) 4,5 và 8,5 thể hiện một sự tăng dần của SST trung bình hằng năm trong suốt thế kỷ 21 với tốc độ là khoảng 0,1° và 0,3 °C/10 năm tương ứng với 2 kịch bản phát thải. Đối với kịch bản giảm thiểu phát thải thấp nhất, RCP 2,6 thì kết quả cho thấy tốc độ tăng nhiệt độ thấp nhất. Vào thế kỷ 21, SST trung bình năm ở khu vực được dự báo tăng khoảng 0,5-2,0 °C trong 3 kịch bản phát thải nồng độ khí nhà kính đặc trưng (RCP) 8,5, 4,5 và 2,6.

*Từ khóa:* Nhiệt độ bề mặt biển, Biển Đông Việt Nam, CMIP5.

## 1. Mở đầu

Đại dương đóng vai trò lớn trong việc hấp thụ hầu hết lượng nhiệt dư thừa từ những phát thải khí nhà kính, chủ yếu từ việc tiêu thụ nhiên liệu hoá thạch và dẫn đến tăng nhiệt độ trên biển. Theo báo cáo của Ủy ban Liên chính phủ về Biển

đổi Khí hậu (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) năm 2013, đại dương đã hấp thụ hơn 93% lượng nhiệt dư thừa từ những phát thải khí nhà kính kể từ những năm 1970 [1]. Điều này đang làm cho nhiệt độ ở đại dương tăng lên.

\* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: lvthien@hvnre.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4850>

Số liệu từ Cơ quan khí quyển và đại dương Hoa Kỳ (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) chỉ ra rằng nhiệt độ bề mặt biển trung bình toàn cầu đã tăng xấp xỉ  $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ /thập kỷ trong vòng hơn 100 năm qua [2]. Một nghiên cứu được xuất bản năm 2012 chỉ ra rằng đại dương ở lớp dưới sâu cũng bị ảnh hưởng [3].

Nhiều các nghiên cứu bằng mô hình hóa xuất bản trong báo cáo năm 2013 của IPCC dự báo rằng dường như có một sự tăng nhiệt độ đại dương trung bình trên toàn cầu khoảng  $1\text{-}4\text{ }^{\circ}\text{C}$  vào năm 2100 [4]. Khả năng hấp thụ nhiệt dư thừa của đại dương đã che chở cho con người khỏi những thay đổi thậm chí nhanh hơn của khí hậu. Nếu không có bề mặt của đại dương, thì nhiệt độ toàn cầu đã tăng hơn nhiều. Báo cáo đánh giá lần thứ 4 của IPCC xuất bản năm 2007 đã ước tính là trái đất đã bị nóng lên khoảng  $0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$  kể từ những năm 1970 [5].

Các rạn san hô và rừng ngập mặn mà chúng được biết là bảo vệ cho các đường ven biển khỏi bị xói mòn cũng bị ảnh hưởng đặc biệt đến các quốc gia vùng đất thấp ở Thái Bình Dương, phá hủy nhà cửa và cơ sở hạ tầng làm con người phải di cư sang nơi khác bởi tăng nhiệt độ biển vì nó làm tẩy trắng và tăng nguy cơ chết rạn san hô [6].

Việc dự báo sự thay đổi của khí hậu và các điều kiện của đại dương cho các khu vực biển là có tính cấp thiết để giúp cho việc quản lý, đánh giá, chuẩn bị ứng phó từ những tác động có thể có trong tương lai đến hệ sinh thái và đánh bắt cá. Điều này cũng là biện pháp hữu ích cho những nhà quản lý có thể dùng để đưa ra các quyết định.

Do đó chúng ta cần phân tích sự biến đổi của SST, đặc biệt là dự báo sự biến đổi hạn dài theo không gian và thời gian trong tương lai. Tuy nhiên, điều này là một nhiệm vụ rất khó khăn do thiếu độ tin cậy cao của số liệu dự báo SST hạn dài. Gần đây với sự phát triển nhanh của các mô hình toàn cầu trên thế giới, đặc biệt là pha 5 của dự án đối chứng đa mô hình kết hợp (Coupled Model Intercomparison Project 5, CMIP5) đã trở thành công cụ quan trọng trong nghiên cứu thay đổi khí hậu cho nhiều quốc gia. CMIP5 là một khuôn khổ hợp tác quốc tế nhằm cung cấp nhiều

mô hình để giúp đỡ hiểu biết được những sự thay đổi của khí hậu và nước biển dâng của IPCC [7]. CMIP5 đã trở thành công cụ để nghiên cứu ảnh hưởng của SST trong lịch sử và dự báo biến đổi khí hậu tương lai [8, 9].

Trong các tạp chí công bố trên thế giới gần đây, đã có một số nghiên cứu về SST bằng CMIP5. Ví dụ như, Fathrio và cộng sự (CS) (2017) [10] đã sử dụng tổ hợp 21 mô hình toàn cầu từ CMIP5 để mô phỏng SST cho khu vực phía Tây Ấn Độ dương. Nghiên cứu này đã cho biết CMIP5 mô phỏng cho giá trị SST cao hơn so với giá trị quan trắc được trong thời kỳ mùa gió mùa hè ở khu vực này. Một nghiên cứu khác đã sử dụng 22 mô hình toàn cầu từ CMIP5 để đánh giá sự tương tác giữa biển và khí quyển cho khu vực gió mùa Ấn Độ [11]. Ngoài ra một nghiên cứu khác là dùng CMIP5 để nghiên cứu vai trò của SST trên khu vực phía biên Bắc Á Rập trong mô phỏng và dự tính mưa do gió mùa mùa hè Ấn Độ [12]. Ở Việt Nam, những nghiên cứu mô phỏng SST dựa trên tổ hợp đa mô hình bằng CMIP5, đặc biệt cho toàn bộ khu vực Biển Đông Việt Nam vẫn chưa được thực hiện nhiều. Bài báo này là kết quả lần đầu tiên được nghiên cứu ở Việt Nam đã sử dụng tổ hợp số liệu độ phân giải cao của 20 mô hình toàn cầu trong dự án CMIP5 và các số liệu quan trắc toàn cầu để nghiên cứu đánh giá sự biến đổi của SST trong lịch sử suốt thế kỷ 20 và dự tính sự thay đổi SST trong thế kỷ 21 dưới 3 kịch bản phát thải khí nhà kính RCPs (Representative Concentration Pathways) gồm: RCP 2,6 tương ứng với mức bức xạ thấp nhất ( $2,6\text{ Wm}^{-2}$ ), RCP 4,5 mức trung bình ( $4,5\text{ Wm}^{-2}$ ) và RCP 8,5 mức cao nhất ( $8,5\text{ Wm}^{-2}$ ) đại diện được mô tả để dự đoán khí hậu trong tương lai vào cuối thế kỷ 21.

## 2. Khu vực nghiên cứu, số liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Khu vực nghiên cứu và số liệu

Khu vực nghiên cứu trong bài báo này là khu vực Biển phía Đông Việt Nam. Số liệu SST trung bình tháng từ 20 mô hình toàn cầu (GCM) trong dự án CMIP5. Bốn thực nghiệm nghiên cứu đã

được sử dụng trong bài báo này. Một là nghiên cứu sự đánh giá sự biến đổi của SST được mô phỏng bởi tổ hợp 20 mô hình trong CMIP5 trong lịch sử suốt thế kỷ 20 (1911-2005) và dự tính sự biến đổi của SST từ tổ hợp 20 mô hình trong CMIP5 ứng với ba kịch bản phát thải tương lai cho thế kỷ 21 là phát thải cao (RCP 8,5), trung bình (RCP 4,5) và thấp (RCP 2,6) tương ứng. Thực nghiệm nghiên cứu cho lịch sử cung cấp các mô phỏng của SST trong khoảng thời gian 1911-2005 trên cơ sở các tác động của con người và tự nhiên quan trắc được. Các dự tính SST tương lai cho thời gian 2006-2100 bao gồm 3 RCPs được thông qua bởi báo cáo đánh giá lần thứ 5 (Fifth Assessment Report, AR5) của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC) như RCP 8,5, RCP 4,5 và RCP 2,6. Cụ thể hơn là kịch bản RCP 8,5 giả thiết là tăng dân số cao và nhu cầu năng lượng cao mà không có các

chính sách về biến đổi khí hậu. Do đó nó dẫn đến con đường phát thải khí nhà kính cao nhất, mang lại tác động bức xạ  $8,5 \text{ Wm}^{-2}$  vào năm 2100 [13]. Còn dưới kịch bản RCP 4,5 thì tác động bức xạ ổn định khoảng  $4,5 \text{ Wm}^{-2}$  vào năm 2100 mà không vượt giá trị đó [14], điều này mang đến kịch bản ổn định trung bình. Cuối cùng, RCP 2,6 có tác động bức xạ cực đại là  $3 \text{ Wm}^{-2}$  trước 2100 và sau đó giảm xuống còn  $2,6 \text{ Wm}^{-2}$  vào năm 2100 và đây là kịch bản phát thải thấp [15]. Số liệu đầu ra của SST trung bình tháng từ CMIP5 được lấy từ trên mạng internet (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/index.html>).

Để đánh giá sự chính xác của mô hình, tập hợp số liệu quan trắc từ 1911-2005 của nhiệt độ bề mặt biển trung bình tháng từ số liệu SST toàn cầu Hadley (HadISST) [16]. Số liệu quan trắc lưu trữ này chứa SST trung bình tháng với độ phân giải  $1,0^\circ \times 1,0^\circ$ .

Bảng 1. Danh sách 20 CMIP5 GCM được sử dụng trong nghiên cứu

Tên các mô hình	Độ phân giải theo phương ngang (Vĩ độ x Kinh độ)	Số mực thẳng đứng trong mô hình	Tên các quốc gia phát triển mô hình
ACCESS1.0	1,875x1,25	38	Úc
ACCESS-1.3	1,875x1,25	38	Úc
Can-ESM2	2,8x2,8	35	Canada
CCSM4	1,25x0,94	26	Mỹ
CESM1-BGC	1,4x1,4	26	Mỹ
CESM1-CAM5	1,4x1,4	26	Mỹ
CMCC-CM	1,4x1,4	31	Pháp
CSIRO MK3.6.0	1,8x1,8	18	Úc
GFDL-CM3	2,5x2,0	48	Mỹ
GFDL-ESM2G	2,5x2,0	48	Mỹ
GFDL-ESM2M	2,5x2,0	48	Mỹ
GISS-E2-H	2,5x2,0	40	Mỹ
GISS-E2H/E2-R	2,5x2,0	40	Mỹ
HADGEM2-A0	1,875x1,25	60	Anh
HADGEM2-ES	1,875x1,25	60	Anh
IPSL-CM5A-MR	2,5x1,25	21	Pháp
IPSL-CM5A-LR	3,75x1,8	39	Pháp
MIROC5	1,4x1,4	40	Nhật Bản
MPI-ESM-LR	1,9x1,9	47	Đức
MPI-ESM-MR	1,9x1,9	47	Đức

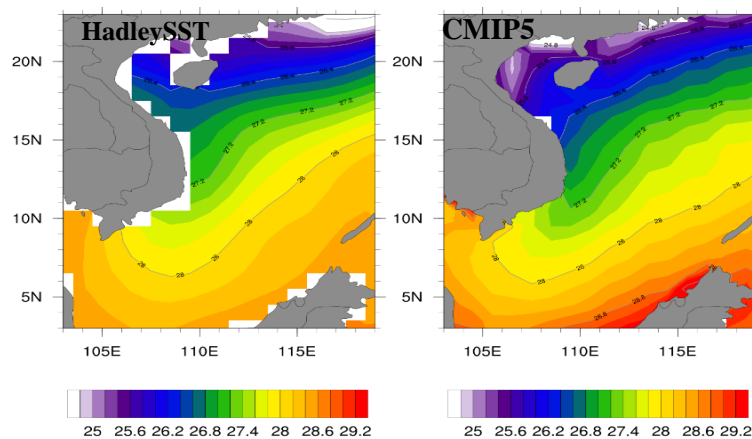
## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong mục này, chúng tôi cung cấp tổng quan về các mô hình được phân tích, các mô phỏng lịch sử và phương pháp luận chung để phân tích và đánh giá các kết quả. Chúng tôi sử dụng dữ liệu từ nhiều mô phỏng từ các mô hình từ kho lưu trữ CMIP5. Các thực nghiệm CMIP5 được thực hiện bởi hơn 20 nhóm mô hình với mục đích tìm hiểu sâu hơn về biến đổi SST trong quá khứ và tương lai trong các khu vực trên biển Đông. CMIP5 được cải tiến nhiều hơn so với các thử nghiệm ở giai đoạn trước (CMIP3). Cụ thể CMIP5 có nhiều trung tâm mô hình hơn tham gia, các mô hình chạy ở độ phân giải không gian cao hơn với một số mô hình có quy trình toàn diện hơn, do đó hy vọng sẽ mang lại kỹ năng tốt hơn [17]. Bảng 1 cung cấp tổng quan về các mô hình được sử dụng. Các loại mô hình là các dạng kết hợp khí quyển-đại dương, kết hợp đại dương-khí quyển-hóa học, kết hợp mô hình hệ thống Trái đất và kết hợp hóa học và hệ thống Trái đất.

Các mô hình đã được chọn để bao gồm một loạt các loại mô hình. Các mô phỏng lịch sử được

thực hiện theo mô hình kết hợp đại dương - khí quyển. Các kết quả mô phỏng SST từ CMIP5 trong thời gian từ 1901 đến 2005 được đánh giá trong nghiên cứu này. Các kết quả dự tính cho tương lai cho thời gian 2006-2100 được phân tích cho 3 kịch bản phát thải RCP. Do có độ phân giải không gian khác nhau giữa các GCM, tất cả số liệu đầu ra của mô hình được nội suy thành độ phân giải đồng nhất  $1,0^{\circ} \times 1,0^{\circ}$  thông qua nội suy song tuyến, là một phương pháp đã được sử dụng phổ biến ở nhiều nghiên cứu [18-22]. Để giảm những sai số có thể liên quan đến việc chọn ngẫu nhiên các mô hình, thì trung bình tổ hợp của nhiều mô hình trong CMIP5 được tính toán.

Các xu thế biến đổi của SST cho từng 10 năm được tính toán dựa trên phương pháp bình phương tối thiểu trong phân tích hồi quy tuyến tính được sử dụng để xác định xu thế biến động của trường SST trung bình mùa và năm tại từng điểm lưới số liệu cho khu vực ở Biển Đông Việt Nam trong nhiều năm suốt thế kỷ 20 và thế kỷ 21. Để đánh giá mô hình, một phương pháp thống kê đã được sử dụng trong nghiên cứu này là sai số tuyệt đối trung bình (MAE).



Hình 1. So sánh SST (°C) Biển Đông trung bình hằng năm tính toán từ quan trắc HadleySST (trái) và kết quả trung bình tổ hợp nhiều mô hình từ CMIP5 (phải).

## 3. Kết quả nghiên cứu

### 3.1. Nhiệt độ bề mặt biển trong thế kỷ 20

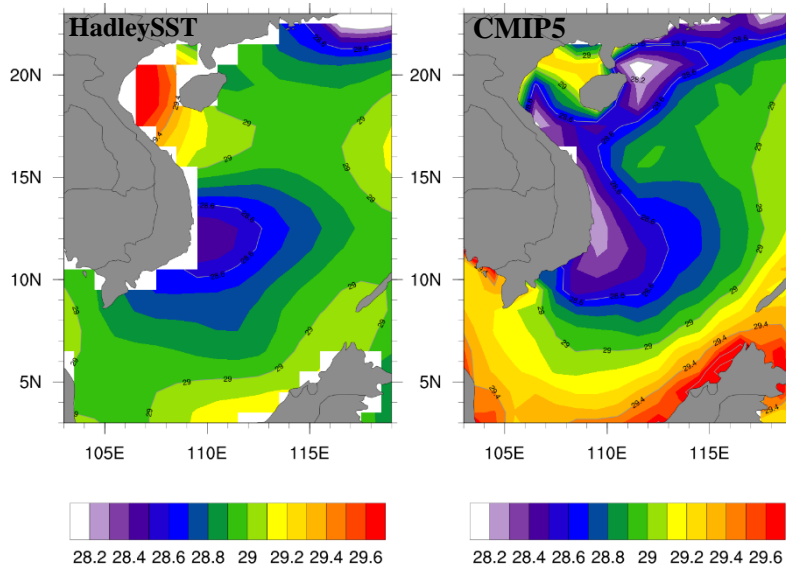
Hình 1 so sánh sự phân bố SST Biển Đông trung bình hằng năm tính toán từ quan trắc (hình

bên trái) và kết quả từ trung bình tổ hợp nhiều mô hình từ CMIP5 (hình bên phải) cho các khu vực của Biển Đông Việt Nam. Nhìn chung CMIP5 đã nắm bắt được tốt các đặc trưng biến đổi của SST trung bình hằng năm với sự phân bố tăng dần từ Bắc vào Nam Biển Đông với giá trị

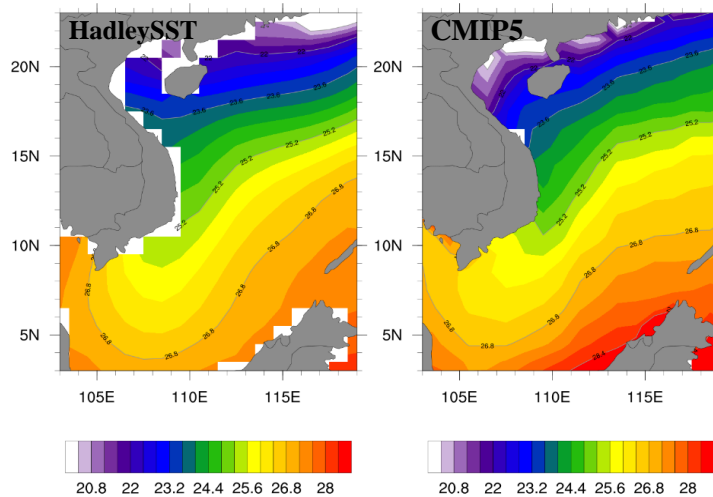
SST trung bình dao động từ 25-29 °C. Tuy nhiên so với giá trị quan trắc thì CMIP5 có giá trị thấp hơn trên hầu hết các khu vực ở Biển Đông khoảng 0,2-0,3 °C.

Hình 2 so sánh giá trị phân bố SST Biển Đông trung bình các tháng mùa hè (6-7-8) tính toán từ quan trắc (hình bên trái) và kết quả trung bình tổ hợp nhiều mô hình từ CMIP5 (hình bên phải) cho các khu vực của Biển Đông Việt Nam.

Đặc trưng nổi bật nhất trong mùa này của SST trên Biển Đông là có sự hình thành khu vực nước trời ở vùng Biển Nam Trung Bộ với sự giảm đột ngột của SST xuống còn trung bình khoảng 28 °C. CMIP5 đã nắm bắt được tốt các đặc trưng này trong mùa này. Tuy nhiên so với giá trị quan trắc thì CMIP5 có giá trị thấp hơn trên hầu hết các khu vực ở Biển Đông khoảng 0,2-0,3 °C.



Hình 2. So sánh SST (°C) Biển Đông cho trung bình các tháng mùa hè (6-7-8) tính toán từ quan trắc HadleySST (trái) và kết quả trung bình tổ hợp nhiều mô hình từ CMIP5 (phải).

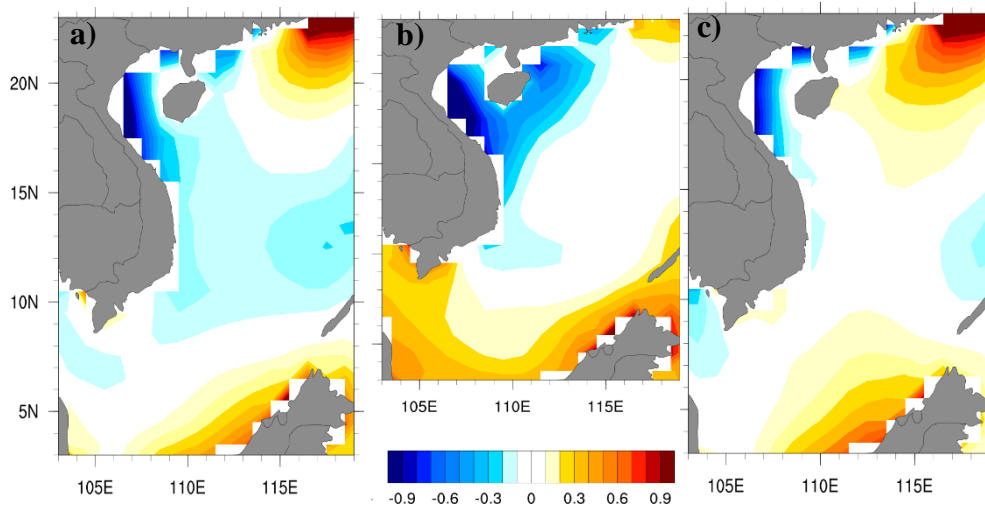


Hình 3. So sánh SST (°C) Biển Đông cho trung bình các tháng mùa đông (12-1-2) tính toán từ quan trắc HadleySST (trái) và kết quả trung bình tổ hợp nhiều mô hình từ CMIP5 (phải).

Hình 3 so sánh sự phân bố SST Biển Đông trung bình các tháng mùa đông (12-1-2) tính toán từ quan trắc (hình bên trái) và kết quả trung bình tổ hợp nhiều mô hình từ CMIP5 (hình bên phải) cho các khu vực của Biển Đông Việt Nam. Không giống như mùa hè, SST trong thời kỳ này có sự phân bố rõ rệt với đặc điểm điềm là tăng dần từ Bắc vào Nam. CMIP5 cũng đã cho được tốt các đặc trưng biến đổi này của SST. Tuy nhiên so với giá trị quan trắc thì CMIP5 có giá trị thấp hơn trên hầu hết các khu vực ở Biển Đông khoảng 0,2-0,3 °C.

Để biết chính xác hơn về phân bố sự chênh lệch giá trị phân bố SST Biển Đông giữa CMIP5 và quan trắc HadleySST, chúng tôi đã tính toán sự chênh lệch về giá trị SST trung bình hàng năm (Hình 4a) và các mùa hè (Hình 4b) và mùa đông (Hình 4c) giữa CMIP5 và quan trắc HadleySST.

Đối với SST trung bình hàng năm và theo các mùa, CMIP5 có độ lệch thấp hơn giá trị quan trắc HadleySST khoảng -0,2 đến -0,8 °C trên hầu hết các khu vực, đặc biệt là ở phía bắc và giữa Biển Đông. Trong CMIP5, xu hướng lạnh lớn nhất xảy ra trên các khu vực thuộc vịnh Bắc Bộ vào cả mùa đông và mùa hè, trong khi xu hướng ấm lớn nhất xảy ra ở các vùng phía nam vào mùa hè. Sự khác nhau này có thể là do các mô hình trong CMIP5 được lựa chọn để tổ hợp ở nghiên cứu này có độ phân giải khác nhau và độ chính xác mô phỏng SST khác nhau cho từng vị trí khác nhau ở biển Đông. Tuy nhiên do khuôn khổ nghiên cứu này có hạn, chi tiết nghiên cứu đánh giá từng mô hình để đưa vào tổ hợp chưa được thực hiện trong nghiên cứu này và sẽ là chủ đề để thực hiện nghiên cứu sau trong tương lai.



Hình 4. Độ chênh lệch giá trị SST (°C) Biển Đông từ CMIP5 so với các quan trắc HadleySST cho trung bình (a) hàng năm, (b) mùa hè (tháng 6 – tháng 8 (JJA)) và (c) mùa đông (tháng 12 – tháng 2 (DJF)).

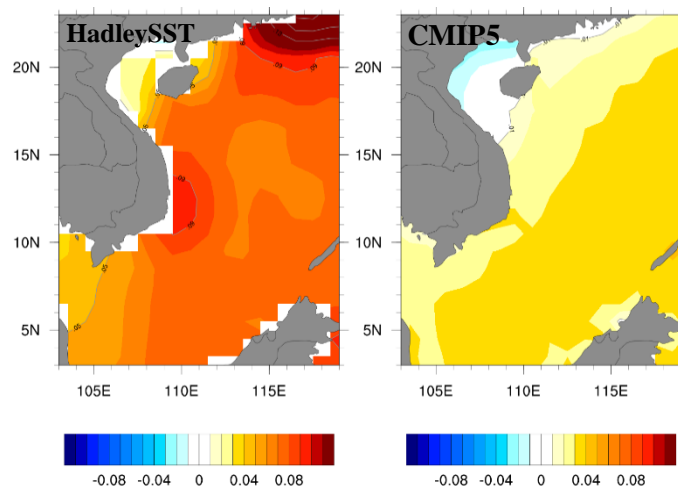
Hình 5 thể hiện xu thế SST trên Biển Đông trung bình hàng năm theo không gian trong thế kỷ 20 được tính toán dựa trên các quan trắc HadleySST và trung bình tổ hợp nhiều mô hình CMIP5. Cả quan trắc và các mô hình đều cho thấy xu thế nóng lên trên hầu hết trên các khu vực Biển Đông. Tốc độ tăng SST hàng năm quan trắc được có giá lớn nhất xảy ra ở giữa và đông bắc của Biển Đông khoảng 0,09 °C/10 năm. So với các quan trắc, CMIP5 đều cho giá trị tốc độ

tăng SST thấp hơn ở hầu hết các khu vực của Biển Đông. Riêng một số khu vực ven biển vịnh Bắc Bộ CMIP5 cho xu thế lạnh hơn.

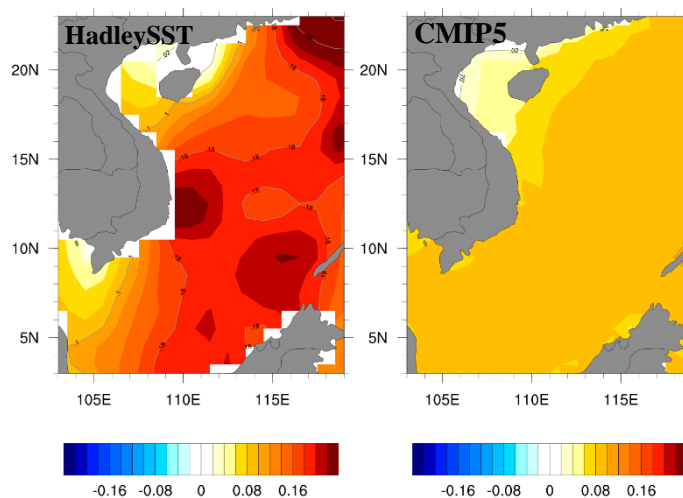
Do có những hạn chế cố hữu trong các quan trắc vào đầu thế kỷ 20, xu hướng nhiệt độ trong nửa sau của thế kỷ 20 (1956-2005) đã được tính toán và phân tích riêng thêm (Hình 6). Trong nửa thế kỷ qua, sự ấm lên ngày càng nhanh ở hầu hết các khu vực của Biển Đông. Kết quả quan trắc cho thấy sự ấm lên lớn nhất xảy ra ở phía giữa và

đông bắc của Biển Đông. Có những xu hướng ấm lên đáng kể trên vùng biển vịnh Bắc Bộ và Nam Bộ. Đối với toàn bộ thế kỷ 20, CMIP5 đều

đánh giá thấp các xu hướng ấm lên ở phía bắc và hầu hết trên Biển Đông.



Hình 5. Xu thế SST ( $^{\circ}\text{C}/10$  năm) trên Biển Đông trung bình hằng năm trong thế kỷ 20 (1911-2005) được tính toán từ (a) quan sát HadleySST, và (b) CMIP5.



Hình 6. Xu thế SST ( $^{\circ}\text{C}/10$  năm) trên Biển Đông trung bình hằng năm cho nửa cuối của thế kỷ 20 (1956-2005) được tính toán từ (a) quan sát HadleySST, và (b) CMIP5.

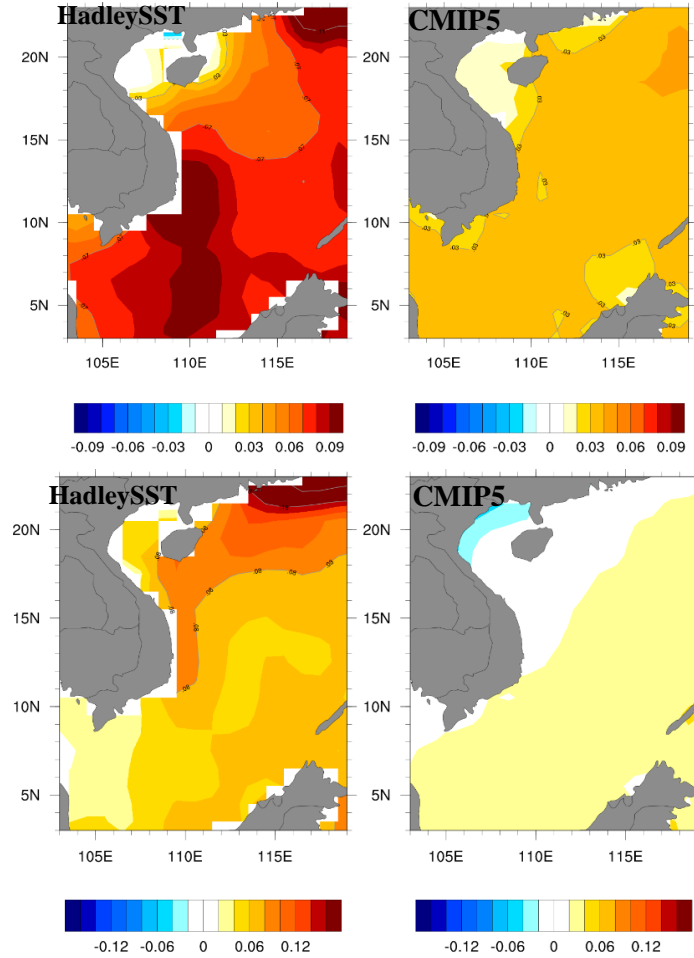
Để phân tích về sự thay đổi theo mùa của xu thế SST trong thế kỷ 20, chúng tôi tính toán xu thế SST trung bình các tháng mùa hè và mùa đông từ các quan sát HadleySST và so với tổ hợp đa mô hình CMIP5 (Hình 7). Từ cả các số liệu quan trắc và mô hình, SST đều luôn có xu hướng nóng lên nhiều trong suốt cả 2 mùa. Các xu thế nóng lên của SST có tốc độ lớn hơn xảy ra ở

phía nam Biển Đông vào mùa hè khoảng  $0,07-0,09$   $^{\circ}\text{C}/10$  năm. Ngược lại vào mùa đông thì tốc độ tăng SST nhanh hơn xảy ra ở các khu vực phía Bắc Biển Đông khoảng  $0,08-0,2$   $^{\circ}\text{C}/10$  năm. Riêng khu vực thuộc vịnh Bắc Bộ thì xu thế tăng SST trong thế kỷ 20 chậm hơn so với các khu vực khác ở cả 2 mùa. Tuy nhiên trong toàn bộ thế kỷ 20, so với giá trị quan trắc thì CMIP5



cho xu thế tăng SST thấp hơn HadleySST cho tất cả 2 mùa đông và mùa hè trong năm. Trong giai đoạn nửa cuối thế kỷ 20 (1956-2005),

HadleySST thể hiện sự gia tăng SST trong tất cả 2 mùa, với sự nóng lên mạnh nhất vào tháng mùa đông.



Hình 7. Xu thế SST ( $^{\circ}\text{C}/10$  năm) Biển Đông trung bình các tháng mùa hè (trên) và mùa đông (dưới) từ các quan sát HadleySST, trung bình tổng hợp đa mô hình CMIP5.

Xu thế biến động SST trên các vùng khác nhau của biển Đông đã thể hiện sự khác nhau rõ rệt. Tuy nhiên hạn chế của nghiên cứu này là chưa tìm ra được những cơ chế gây ra biến động của SST cho từng mùa trên từng khu vực ở biển Đông. Đây có thể sẽ là những chủ đề nghiên cứu trong thời gian tiếp theo.

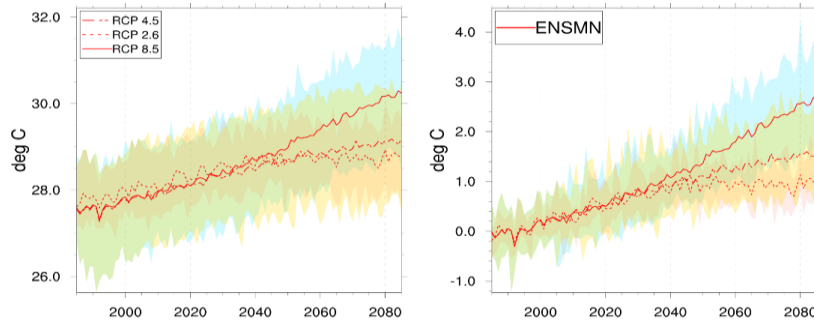
### 3.2. Nhiệt độ bề mặt biển trong thế kỷ 21

SST được dự tính trong tương lai trên khu vực Biển Đông nói chung theo ba kịch bản phát

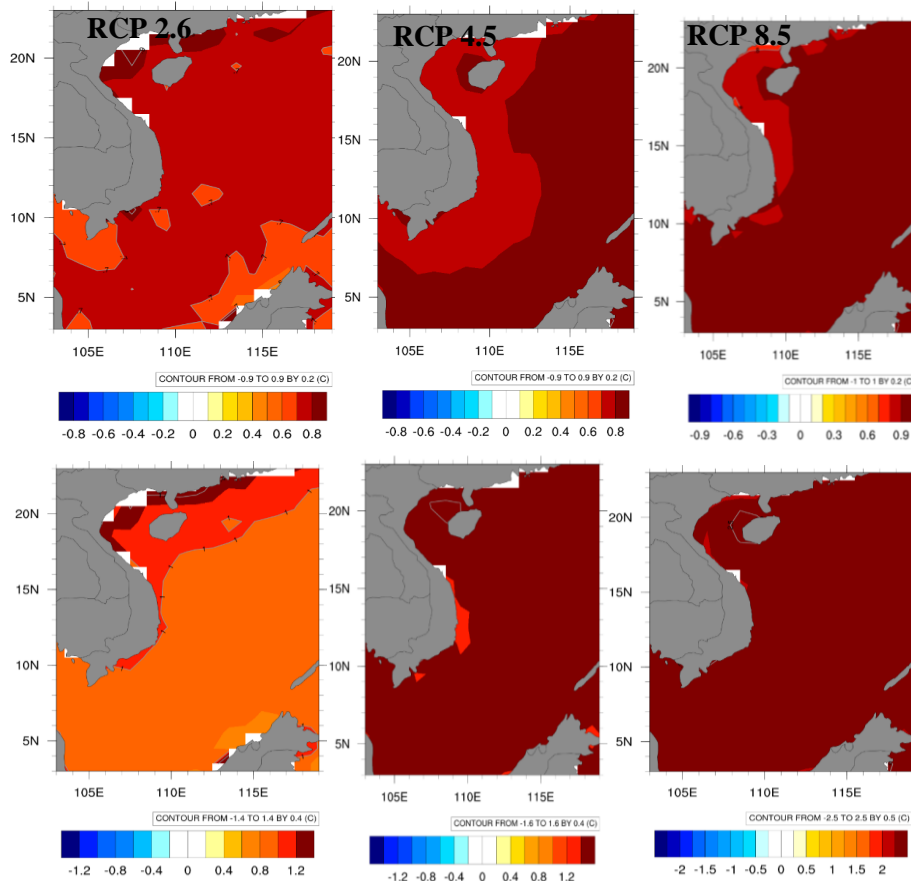
thải được thể hiện trong Hình 8. Hai kịch bản RCP 8,5 và RCP 4,5 đều cho thấy sự tăng dần SST hàng năm trong thế kỷ 21. Trong khi đó RCP 2,6 là kịch bản phát thải thấp nhất, kết quả dự báo cho thấy tốc độ tăng SST thấp nhất. Nhìn chung từ 3 kịch bản trên thì vào cuối thế kỷ 21, SST trung bình hàng năm trên Biển Đông sẽ tăng 0,5-2,5  $^{\circ}\text{C}$  so với trung bình nhiều năm. Trong đó theo kịch bản RCP 2,6, SST sẽ tăng cho đến năm 2040, sau đó vẫn ổn định hoặc thậm chí giảm nhẹ. Điều này cho thấy hiệu quả của các

chiến lược giảm thiểu phát thải dự kiến trong các kịch bản, đồng thời phản ánh được mức độ tác động của bức xạ trong các kịch bản RCP trong dự tính SST. Ngoài ra, trong thời gian ngắn

(trước những năm 2030), giá trị của SST theo RCP 2,6 lớn hơn theo RCP 4,5 và RCP 8,5 mặc dù bức xạ thấp hơn.



Hình 8. Chuỗi thời gian của SST Biển Đông trung bình hằng năm trong giai đoạn 1976-2099. Các kịch bản phát thải RCP 8,5, RCP 4,5 và RCP 2,6 cho dự báo trong tương lai (2006 đến 2099) tương ứng với màu xanh lam, đỏ và vàng. Hình bên trái hiển thị các giá trị trung bình SST và bên phải hiển thị các dị thường SST so với khí hậu.



Hình 9. Chênh lệch SST (°C) Biển Đông trung bình hằng năm trong các giai đoạn 2006-2055 (trên) và 2050-2099 (dưới) thế kỷ 21 đối với ba kịch bản phát thải dựa trên các dự báo CMIP5: RCP (trái) 2,6, (giữa) 4,5, và (phải) 8,5.

Hình 9 minh họa kết quả tính toán sự chênh lệch SST trung bình hàng năm giữa các giai đoạn nửa đầu (2006-2055) và nửa cuối (2050-2099) thế kỷ 21 so với số liệu lịch sử nền trong giai đoạn 1956-2005 để xác định nơi nào sẽ có những thay đổi lớn nhất theo ba kịch bản phát thải. Chúng tôi nhận thấy SST cao hơn đáng kể vào cuối thế kỷ 21. Sự chênh lệch nhiệt độ thể hiện một mô hình không gian nhất quán giữa ba kịch bản. Đối với RCP 4,5 và 8,5, mức tăng nhiệt độ lớn nhất sẽ xảy ra trên hầu khắp Biển Đông, với mức tăng nhỏ hơn ở nửa đầu của thế kỷ 21. Trong khi thay đổi SST tất nhiên là nhỏ nhất theo kịch bản RCP 2,6, nửa đầu của thế kỷ sẽ trải qua sự thay đổi SST tương đối nhỏ hơn so với nửa cuối của thế kỷ.

#### 4. Thảo luận

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả của của 20 CMIP5 GCM trong việc mô phỏng sự thay đổi nhiệt độ bề mặt biển (SST) ở Biển Đông Việt Nam trong thế kỷ 20 liên quan đến hai bộ dữ liệu quan trắc. So với các quan trắc, kết quả từ CMIP5 cho giá trị SST trung bình hàng năm và 2 mùa đều nhỏ hơn trong hầu hết các khu vực trên Biển Đông với giá trị lớn nhất ở phía Bắc Biển Đông như vịnh Bắc Bộ. Theo mùa, chênh lệch lạnh này lớn nhất vào mùa hè và nhỏ nhất vào mùa đông, ngụ ý rằng các mô hình có thể không thể hiện tốt vào mùa hè đặc biệt khu vực phía Bắc Biển Đông. Sự chênh lệch này của các mô hình chỉ ra rằng một sự thiếu hụt trong các mô hình CMIP5 vẫn còn tồn tại và việc đánh giá từng mô hình GCM để xác định tổ hợp tốt nhất sẽ là chủ đề để nghiên cứu trong tương lai. Sự chênh lệch giữa các mô hình CMIP5 so với giá trị quan trắc cũng đã được tìm ra trong một vài nghiên cứu trước đây. [23] đã cho biết một nửa trong số 21 các mô hình CMIP5 cho chênh lệch âm so với quan trắc trên khu vực Ấn Độ Dương. Sai số trong mô phỏng SST cho khu vực phía Tây Ấn Độ Dương là được cho biết liên quan đến sự yếu đi của gió mùa mùa hè [24, 25]. Trong kết quả của nghiên cứu này, đối với xu thế SST trung bình theo mùa và hàng năm trên Biển Đông thì cả CMIP5 và số liệu quan trắc đều cho

thấy xu thế SST ấm lên trên toàn khu vực nghiên cứu, nhưng tốc độ nóng lên của SST từ CMIP5 là nhỏ hơn so với các giá trị tính toán từ quan trắc HadleySST. Xu thế biến động SST trên các vùng khác nhau của Biển Đông đã thể hiện sự khác nhau rõ rệt. Tuy nhiên các cơ chế gây ra sai số trong mô phỏng SST từ CMIP5 trên khu vực Biển Đông vẫn chưa được nghiên cứu nhiều. Sự khác nhau giữa xu thế biến động của nhiệt độ bề mặt biển hằng năm và theo mùa trên các khu vực khác nhau ở biển Đông này có thể liên quan đến nhiều yếu tố như lượng nhiệt nhận được từ bề mặt biển, hoạt động của gió mùa, vai trò của khí nhà kính cùng với xôn khí do con người tạo ra và tác động mang tính địa phương của các khối nước. Tuy nhiên việc tìm hiểu chi tiết những cơ chế gây ra biến động của SST cho từng mùa trên từng khu vực ở biển Đông không được đề cập trong nghiên cứu này và sẽ là những chủ đề nghiên cứu trong thời gian tiếp theo.

Các dự báo về SST trong tương lai cho thấy Biển Đông sẽ tiếp tục nóng lên trong thế kỷ 21. Xu hướng nóng lên lớn nhất sẽ xảy ra trong nửa cuối của thế kỷ 21. Vào cuối thế kỷ 21, SST được dự báo sẽ tăng 0,5 - 2,5 °C, với sự nóng lên lớn hơn ở phía Đông Biển Đông. Sự gia tăng SST nghiêm trọng như dự báo trong khuôn khổ RCP 8,5 có thể sẽ làm trầm trọng tình trạng suy thoái môi trường biển ở khu vực này.

Nghiên cứu chi tiết về quá trình như các dòng chảy trên đại dương, sự khác nhau về thông lượng ẩn nhiệt và thông lượng hiện nhiệt trong thời kỳ gió mùa, độ sâu của đường nhiệt, sự thay đổi độ phân giải của các mô hình có thể gây ra những thay đổi SST trên Biển Đông sẽ là những chủ đề nghiên cứu quan trọng trong tương lai.

#### 5. Kết luận

Nghiên cứu này đã đánh giá hiệu quả của 20 CMIP5 GCM trong việc mô phỏng sự thay đổi nhiệt độ bề mặt biển ở Biển Đông Việt Nam trong thế kỷ 20 so với dữ liệu quan trắc. Đối với nhiệt độ trung bình theo mùa và hàng năm, GCM cho thấy kết quả mô phỏng thấp hơn so giá trị quan trắc trên hầu hết các khu vực trên Biển Đông, đặc biệt là ở các khu vực phía Tây Bắc

Biển Đông. Cả số liệu quan trắc và CMIP5 đều biểu hiện xu thế nóng lên của SST trong thế kỷ 20 với sự nóng lên nhanh chóng trong nửa sau của thế kỷ. Tuy nhiên, xu thế SST trung bình hàng năm từ CMIP5 tăng với tốc độ nhỏ hơn tốc độ tăng tính từ số liệu quan trắc.

Các dự báo về SST trong tương lai cho thấy Biển Đông sẽ tiếp tục nóng lên trong thế kỷ 21. Các kịch bản RCP 8,5 và RCP 4,5 cho thấy sự gia tăng ổn định của nhiệt độ hàng năm trong thế kỷ 21 với tốc độ lần lượt là 0,3 °C và 0,1 °C/10 năm. Xu hướng nóng lên lớn nhất sẽ xảy ra trong nửa cuối của thế kỷ 21. Vào cuối thế kỷ 21, SST được dự báo sẽ tăng 0,5-2,5 °C, với sự nóng lên lớn hơn ở phía đông Biển Đông. Sự gia tăng SST nghiêm trọng như dự báo trong khuôn khổ RCP 8,5 có thể sẽ làm trầm trọng tình trạng suy thoái môi trường biển ở khu vực này.

### Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn các tổ chức đã cung cấp số liệu mô phỏng đầu ra từ các mô hình và số liệu quan trắc mà nghiên cứu đã được sử dụng trong bài báo này. Tác giả cũng chân thành cảm ơn phản biện và ban biên tập về những nhận xét chỉnh sửa mang tính xây dựng quan trọng để làm cho nghiên cứu này được hoàn thiện tốt hơn.

### Tài liệu tham khảo

- [1] T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley, IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, pp. 1535, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1> (accessed on: June 2<sup>nd</sup>, 2021).
- [2] Climate at a Glance, Global Ocean, <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global/globe/ocean/ytd/12/1880-2017>, 2017 (accessed on: June 2<sup>nd</sup>, 2021).
- [3] S. Levitus, J. I. Antonov, T. P. Boyer, O. K. Baranova, H. E. Garcia, and Co-Authors, World Ocean Heat Content and Thermocline Sea Level Change (0–2000 m), 1955-2010, *Geophys. Res. Lett.*, 2012, pp. 1955-2010, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2012GL051106> (accessed on: June 2<sup>nd</sup>, 2021).
- [4] T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen et al., The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change, 2013: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [5] S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change, 2007: Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [6] Food and Agriculture Organization of the United Nations: The State of World Fisheries and Aquaculture 2012, Rome, FAO, 2012, pp. 209, <https://www.fao.org/publications/card/es/c/81ea54da-0f65-56c6-91d2-8257b8ac4136/> (accessed on: June 2<sup>nd</sup>, 2021).
- [7] T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. M. B. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley, The Physical Science Basis, The Agu Fall Meeting, 2014, pp. 1022-1025, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5\\_Frontmatter\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf) (accessed on: June 2<sup>nd</sup>, 2021).
- [8] G. A. Meehl, C. Covey, K. E. Taylor, T. Delworth, R. J. Stouffer, M. Latif, B. McAvaney, J. F. Mitchell, The Wcrp Cmp3 Multimodel Dataset: A New Era In Climate Change Research, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, Vol. 88, 2007, pp. 1383-1394, <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-9-1383>
- [9] K. E. Taylor, J. S. Ronald, G. A. Meehl, An Overview of Cmp5 and The Experiment Design, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, Vol. 93, 2012, pp. 485-498, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>.
- [10] I. Fathrio, S. Iizuka, A. Manda, Y. M. Kodama, S. Ishida, Q. Moteki, H. Yamada, Y. Tachibana, Assessment of Western Indian Ocean SST Bias of CMIP5 Models, *J. Geophys. Res. Oceans*, Vol. 122, 2017 pp. 3123-2140, <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2019.101503>.

- [11] G. Konda, N. K. Vissa, Assessment of Ocean-Atmosphere Interactions for the Boreal Summer Intraseasonal Oscillations in CMIP5 Models over the Indian Monsoon Region, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, Vol. 57, No. 4, 2021, pp. 717-739, <https://doi.org/10.1007/s13143-021-00228-3>.
- [12] R. C. Levine, A. G. Turner, D. Marathayil, G. M. Martin, The Role of Northern Arabian Sea Surface Temperature Biases in CMIP5 Model Simulations and Future Projections of Indian Summer Monsoon Rainfall, *Clim. Dyn.*, Vol. 41, 2013, pp. 155-172, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-017-3953-x> (accessed on: June 2<sup>nd</sup>, 2021).
- [13] K. Riahi et al., Rcp 8.5-a Scenario of Comparatively High Greenhouse Gas Emissions, *Climatic Change*, 109, 2011, pp. 33-57, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-011-0149-y>.
- [14] A. Thomson et al., Rcp4.5: a Pathway for Stabilization of Radiative Forcing by 2100, *Climatic Change*, 109, 2011, pp. 77-94, <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4>.
- [15] D. P. Van Vuuren, and et al., The Representative Concentration Pathways: an Overview, *Climatic change*, Vol. 109, 2011, pp. 5-31, <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.
- [16] N. A. Rayner, D. E. Parker, E. B. Horton, C. K. Folland, L. V. Alexander, D. P. Rowell, E. C. Kent, A. Kaplan, Global Analyses of Sea Surface Temperature, Sea Ice, and Night Marine Air Temperature Since the Late Nineteenth Century, *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, 2003, pp. 4407, <http://dx.doi.org/10.1029/2002JD002670>.
- [17] K. R. Sperber, H. Annamalai, I. S. Kang, A. Kitoh, A. Moise, A. Turner, B. Wang, T. Zhou, The Asian Summer Monsoon: An Intercomparison of CMIP5 vs. CMIP3 Simulations of the Late 20<sup>th</sup> Century, *Clim. Dyn.*, Vol. 41, No. 9-10, 2013, pp. 2711-2744, <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1607-6>.
- [18] R. Alkama, L. Marchand, A. Ribes, B. Decharme, Detection of Global Runoff Changes: Results from Observations and Cmp5 Experiments, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol. 17, No. 7, 2013, pp. 2967-2979, <http://dx.doi.org/10.5194/hessd-10-2117-2013>.
- [19] P. C. Hsu, T. Li, H. Murakami, A. Kitoh, Future Change of The Global Monsoon Revealed from 19 Cmp5 Models, *J. Geophys. Res. Atmos.*, Vol. 118, 2013, pp. 1247-1260, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50145>.
- [20] D. Q. Huang, J. Zhu, Y. C. Zhang, A. N. Huang, Uncertainties on the Simulated Summer Precipitation Over Eastern China From The Cmp5 Models, *J. Geophys. Res. Atmos.*, Vol. 118, 2013, pp. 9035-9047, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50695>.
- [21] X. Qu, G. Huang, W. Zhou, Consistent Responses of East Asian Summer Mean Rainfall to Global Warming in Cmp5 Simulations, *Theor. Appl. Climatol.*, 2013, pp. 1-9, <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0995-9>.
- [22] L. Wang, W. Chen, A Cmp5 Multimodel Projection of Future Temperature, Precipitation, and Climatological Drought in China, *Int. J. Climatol.*, 2013, <http://dx.doi.org/10.1002/joc.3822>
- [23] Y. Tachibana, S. Iizuka, Y. M. Kodama, Q. Moteki, A. Manda, H. Yamada, S. Ishida, I. Fathrio, Assessment of Western Indian Ocean SSTst Bias of Cmp5 Models, *J. Geophys. Res. Ocean*, Jgr122, 2017, pp. 3123-3140, <https://doi.org/10.1002/2016JC012443>.
- [24] R. C. Levine, A. G. Turner, D. Marathayil, G. M. Martin, The Role of Northern Arabian Sea Surface Temperature Biases in Cmp5 Model Simulations and Future Projections of Indian Summer Monsoon Rainfall, *Clim. Dyn.*, Vol. 41, 2013, pp. 155-172, [https://ui.adsabs.harvard.edu/link\\_gateway/2013CIDy...41..155L/doi.org/10.1007/s00382-012-1656-x](https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2013CIDy...41..155L/doi.org/10.1007/s00382-012-1656-x).
- [25] G. Li, S.P. Xie, Y. Du, Monsoon-Induced Biases of Climate Models Over the Tropical Indian Ocean, *J. Clim.*, Vol. 28, 2015, pp. 3058-3072, <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00740.1>.