

Biến động không gian - thời gian của nhiệt độ nước biển tầng mặt vùng biển Khánh Hòa giai đoạn 2010-2019

Nguyễn Trịnh Đức Hiệu¹, Nguyễn Hữu Huân¹, Hoàng Trung Du¹, Nguyễn Minh Hiếu¹, Võ Hải Thi¹, Nguyễn Kim Hạnh¹, Trần Thị Vân^{2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Nhiệt độ nước biển tầng mặt (SST - Sea Surface Temperature) được xem là thông số quan trọng nhất trong hải dương học. SST không chỉ là một thông số vật lý để nghiên cứu trao đổi hơi nước, nhiệt giữa bề mặt nước và khí quyển, mà nó còn cung cấp những thông tin hữu ích cho các nghiên cứu hải dương học như tuần hoàn đại dương, khối lượng nước, xáo trộn lớp nước, nước trôi, nước chìm, và môi trường sinh thái biển. Bài báo sử dụng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm (EOF - Empirical Orthogonal Function) và phân tích chuỗi số liệu theo thời gian để đánh giá biến động không gian - thời gian trường nhiệt độ nước biển tầng mặt từ bộ dữ liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt độ phân giải cao đa tỉ lệ (MUR SST - Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature) tại vùng biển Khánh Hòa trong 10 năm giai đoạn 2010-2019. Kết quả cho thấy bốn thành phần EOF đầu tiên giải thích 99,8% tổng biến động không gian - thời gian của SST. Thành phần EOF đầu tiên giải thích 98,1% tổng biến thiên chuỗi số liệu SST, đại diện cho phân bố và biến động SST trong mùa hè với xu hướng giảm từ bắc xuống nam. Thành phần EOF thứ hai chiếm 1,1% biến động của chuỗi số liệu, đại diện cho phân bố và biến động SST trong mùa đông và mùa xuân với xu hướng tăng từ bờ ra khơi. SST có chu kỳ biến thiên theo mùa, đạt giá trị cực đại trong mùa hè và cực tiểu trong mùa đông. Phân tích xu hướng chuỗi số liệu cho thấy SST nóng lên theo thời gian trong thập kỉ 2010-2019 với tốc độ tăng khoảng 0,03°C/năm. Xu hướng và tốc độ tăng/giảm của SST khác nhau theo mỗi giai đoạn khác nhau. Kết quả nghiên cứu là tài liệu hữu ích hỗ trợ quản lý và khai thác hệ sinh thái biển.

Từ khóa: hàm trực giao thực nghiệm (EOF), nhiệt độ nước biển tầng mặt (SST), phân tích chuỗi thời gian, xu thế

¹Phòng Sinh thái biển, Viện Hải dương học, VAST, Việt Nam

²Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM, Việt Nam

Liên hệ

Trần Thị Vân, Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM, Việt Nam

Email: tranthivank@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 01-9-2020
- Ngày chấp nhận: 8-12-2020
- Ngày đăng: 31-12-2020

DOI: 10.32508/stdjet.v3i4.750



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



GIỚI THIỆU

Nhiệt độ nước biển tầng mặt (SST - Sea Surface Temperature) là thông số đại diện cho nhiệt độ nước biển tại độ sâu khoảng 1m tính từ bề mặt nước, nó có vai trò quan trọng trong hệ thống khí hậu của trái đất, và nó được xem là thông số quan trọng nhất trong hải dương học^{1,2}. SST ảnh hưởng nhiều đến tính chất vật lý, hóa học và sinh học của đại dương thông qua các quá trình tương tác biển - khí quyển, và được sử dụng trong hầu hết các mô hình dự báo thời tiết, bão, dòng chảy, và biến đổi khí hậu...³. Với những vai trò quan trọng như trên, SST đã được giám sát liên tục trên quy mô toàn cầu bởi các thiết bị vệ tinh kể từ tháng 9 năm 1981. Cùng với sự phát triển của vệ tinh viễn thám hồng ngoại nhiệt trong hơn 30 năm gần đây, SST thu thập từ vệ tinh với độ phủ không gian rộng và thời gian dài sẽ là nguồn dữ liệu hữu ích cho nghiên cứu hải dương học⁴, đặc biệt cho các nghiên cứu về sinh thái học trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về xu thế biến động SST trong khoảng thời gian dài hàng thập kỷ

bằng nguồn dữ liệu SST thu thập từ các thiết bị vệ tinh. Năm 1991, Paden và cộng sự sử dụng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm để đánh giá biến động SST khu vực phía bắc vịnh California (Mỹ) dựa trên nguồn ảnh hồng ngoại trong 2 năm 1984-1986⁵. Năm 2015, Liu và cộng sự đã có nghiên cứu đánh giá biến động không gian - thời gian chlorophyll-a và SST vùng phía bắc biển nam Trung Hoa giai đoạn 2002-2012 dựa vào dữ liệu MODIS và sử dụng phân tích hàm trực giao thực nghiệm để phân tích các biến động đặc trưng của chlorophyll-a và SST⁶. Năm 2016, Goela và cộng sự đánh giá xu hướng biến động của SST theo xu hướng và theo mùa trong khoảng thời gian 26 năm tại vùng biển tây nam Bồ Đào Nha bằng phương pháp phân tích chuỗi dữ liệu theo thời gian⁷. Năm 2018, tác giả Robles-Tamayo và cộng sự đã đánh giá đặc trưng phân bố và phân tích chuỗi số liệu theo thời gian nhằm đánh giá biến động không gian - thời gian SST vùng biển phía đông California bằng nguồn dữ liệu thu được từ các vệ tinh trong giai đoạn 1981 đến 2016¹. Năm 2019, nhóm tác giả Yu và cộng sự đã

Trích dẫn bài báo này: Hiệu N T D, Huân N H, Du H T, Hiếu N M, Thi V H, Hạnh N K, Vân T T. **Biến động không gian - thời gian của nhiệt độ nước biển tầng mặt vùng biển Khánh Hòa giai đoạn 2010-2019.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 3(4):531-541.

phân tích xu hướng thay đổi theo thời gian của chuỗi số liệu SST giai đoạn 2003-2017 tại vùng biển nam Trung Hoa bằng nguồn dữ liệu MODIS⁸.

Tại vùng biển Việt Nam, đã có một số nghiên cứu đánh giá biến động SST ở quy mô thập kỷ sử dụng nguồn dữ liệu viễn thám. Năm 2005, Sơn và cộng sự đã phân tích các đặc trưng chính trong phân bố SST tại vùng biển nam Trung Hoa bằng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm trên dữ liệu viễn thám màu đại dương⁹. Năm 2016, tác giả Trần Văn Chung và cộng sự đã có nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của trường nhiệt độ và biến đổi bất thường của mực nước tại biển Đông liên quan đến biến đổi khí hậu trong giai đoạn 1979-2014¹⁰. Cũng trong năm 2016, tác giả Vũ Văn Tắc đã đánh giá và phân tích các đặc trưng của yếu tố nhiệt độ và độ muối tầng mặt tại vùng biển Nam Trung Bộ dựa trên nguồn số liệu MODIS trong 10 năm (2006-2014) nhằm hỗ trợ các nhà quản lý và người nuôi trồng thủy sản chọn lựa giống loài thích hợp trong nuôi trồng thủy sản, bảo vệ đa dạng sinh học, bảo vệ môi trường tại vùng nghiên cứu¹¹. Trong năm 2017, Vũ Văn Tắc và cộng sự đã đánh giá tác động của hiện tượng El Nino - Dao động Nam (ENSO - El Nino Southern Oscillation) đến nhiệt độ nước biển tầng mặt tại vùng biển Nam Trung Bộ từ cơ sở dữ liệu nhiệt độ nội suy tối ưu SST (OISST - Optimum Interpolation Sea Surface Temperature) trong khoảng thời gian 1981-2014¹². Bên cạnh đó, năm 2017 tác giả Tống Phước Hoàng Sơn và cộng sự đã đánh giá các đặc trưng mang tính chế độ của trường nhiệt độ nước biển tầng mặt vùng biển Nam Trung Bộ bằng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm dựa trên tư liệu ảnh viễn thám màu hải dương giai đoạn 1997-2016¹³. Năm 2018, Nguyễn Thùy Linh đã có công trình đánh giá xu thế biến động nhiệt độ bề mặt nước biển vùng biển tây nam Việt Nam dựa vào nguồn dữ liệu liên nhiệt độ nước biển tầng mặt độ phân giải cao đa tỉ lệ trong giai đoạn 2002-2017³. Hầu hết các nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm hoặc phân tích chuỗi số liệu theo thời gian để đánh giá biến động không gian - thời gian nhiệt độ nước biển tầng mặt. Nghiên cứu này bổ sung thêm những phân tích về thời điểm thay đổi cấu trúc trong chuỗi số liệu SST nhằm xác định xu hướng và tốc độ thay đổi của SST trong mỗi phân đoạn thời gian tại vùng biển Khánh Hòa.

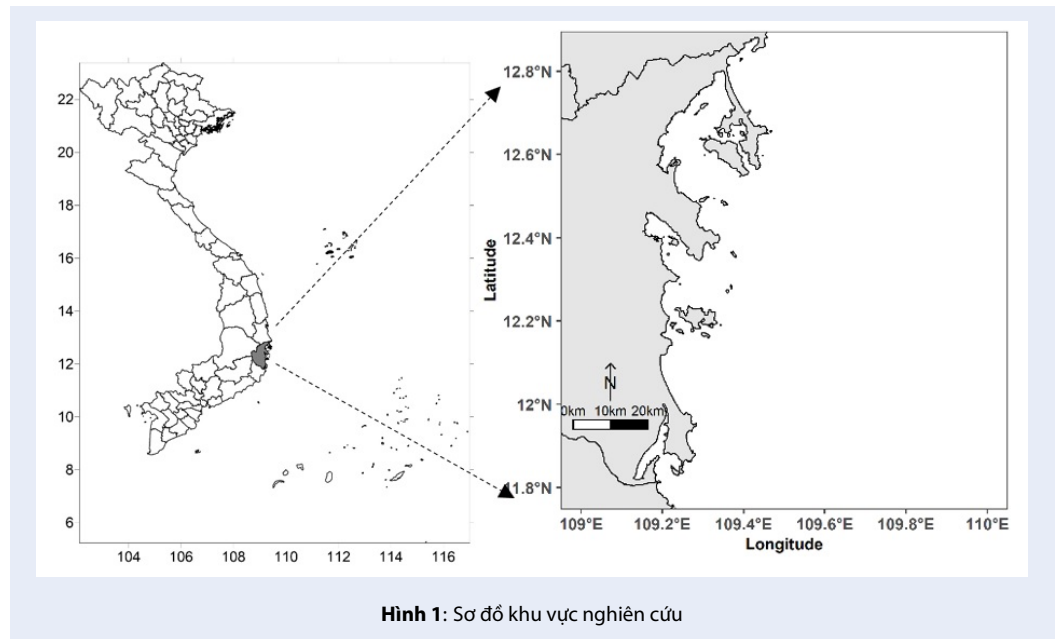
Khánh Hòa là một tỉnh duyên hải có 385 km đường bờ biển, có vị trí đặc biệt hướng ra biển Đông với điều kiện tự nhiên thuận lợi cho tính đa dạng sinh học cao¹⁴. Tuy nhiên, phát triển kinh tế biển tại Khánh Hòa phát sinh một số vấn đề môi trường như khai thác quá mức, mất mát và suy thoái hệ sinh thái, ô nhiễm, suy thoái cảnh quan¹⁴. Trong những năm gần

đây, mặc dù đã có một số hoạt động giám sát nhiệt độ nước biển tầng mặt trong khuôn khổ của một số đề tài, dự án, tuy nhiên hoạt động giám sát này không được tiến hành liên tục hoặc chỉ được tiến hành ở quy mô hạn hẹp (ví dụ: trong chương trình giám sát của Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Khánh Hòa, chỉ quan trắc SST tại 18 trạm ven bờ với tần suất 1 tháng – 2 tháng/lần, từ năm 2015 đến nay¹⁵) nên chưa phản ánh được đặc trưng phân bố và xu hướng biến động của nhiệt độ nước biển tầng mặt trong khoảng thời gian dài và liên tục. Thêm vào đó, các số liệu quan trắc chỉ là số liệu tức thời, lại khác nhau thời điểm khảo sát trong ngày nên có những khó khăn trong việc đánh giá diễn biến nhiệt độ theo thời gian. Vì vậy trong bài báo này, nhiệt độ nước biển tầng mặt tại vùng biển Khánh Hòa được giám sát đồng bộ, có hệ thống trong 10 năm qua từ nguồn dữ liệu SST trung bình tháng. Những phân tích về tổng quan tình hình nghiên cứu ở phần trên cho thấy phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm và phân tích chuỗi số liệu theo thời gian được sử dụng phổ biến và có hiệu quả trong đánh giá biến động không gian - thời gian nhiệt độ nước biển tầng mặt. Do đó, bài báo này sử dụng kết hợp cả hai phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm và phân tích chuỗi số liệu theo thời gian nhằm mục đích (1) xác định các đặc trưng phân bố và biến động theo không gian - thời gian của SST, (2) phân tích xu hướng thay đổi theo thời gian chuỗi số liệu SST trung bình hàng tháng trong giai đoạn 2010-2019 tại vùng biển Khánh Hòa, cung cấp dữ liệu hỗ trợ quản lý và khai thác hệ sinh thái biển.

DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại vùng biển Khánh Hòa với giới hạn khu vực nghiên cứu trong khoảng tọa độ từ 11,80o – 12,84oN và 109,05o – 110,00oE (Hình 1). Vùng bờ tỉnh Khánh Hòa nằm trong vùng duyên hải Nam Trung Bộ, thuộc phần nhô ra xa nhất của đất liền Việt Nam ra vùng giữa bờ tây Biển Đông. Vùng bờ biển Khánh Hòa có thêm lục địa phía ngoài sâu và dốc; hình thể và cấu trúc không gian đa dạng và phức tạp với hệ thống các bán đảo, đảo, vụng vịnh, đầm và cửa sông, tạo ra tiềm năng to lớn về tài nguyên địa - tự nhiên, mà nổi bật là giá trị của hệ thống các vụng vịnh và đảo ven bờ¹⁶. Vùng biển Khánh Hòa chịu sự chi phối của khí hậu nhiệt đới gió mùa mùa đông (gió mùa đông bắc) và gió mùa mùa hạ (gió mùa tây nam). Gió mùa mùa đông có hướng gió thịnh hành là bắc đến đông bắc, thời kỳ hoạt động của gió mùa mùa đông trùng với thời kỳ mùa mưa tỉnh Khánh Hòa, đặc biệt khi gió mùa đông bắc kết hợp với hoạt động



của rãnh thấp xích đạo, dải hội tụ nhiệt đới, bão, áp thấp nhiệt đới sẽ gây mưa lớn sinh lũ cho tỉnh Khánh Hòa¹⁷. Gió mùa mùa hạ thường xảy ra vào đầu mùa hạ với hướng gió thịnh hành là hướng tây nam, gió này mang không khí nóng, khô, nhiệt độ cao và độ ẩm thấp làm cho thời tiết trên lưu vực trong thời kỳ này nóng và khô nhất trong năm¹⁷.

Dữ liệu

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu trung bình tháng, độ phân giải không gian 0,01 độ x 0,01 độ từ bộ số liệu nhiệt độ nước biển tầng mặt độ phân giải cao đa tỉ lệ (MUR SST - Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature) để đánh giá biến động không gian - thời gian trường nhiệt độ nước biển tầng mặt tại vùng biển Khánh Hòa trong 10 năm, giai đoạn 1/2010-12/2019. Bộ dữ liệu MUR SST cấp độ 4 (Level 4) được phân tích dựa trên các quan trắc nhiệt độ nước biển tầng mặt từ một số vệ tinh của Cơ quan Hàng không và Không gian Hoa Kỳ (NASA - National Aeronautics and Space Administration), Cơ quan Quản lý Khí quyển và Đại dương Hoa Kỳ (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration), và các quan sát SST ngoài thực địa từ dự án iQuam của NOAA. Tập dữ liệu này được tài trợ bởi NASA, do Trung tâm Lưu trữ Phân phối Hải dương học vật lý (PO.DAAC - Physical Oceanography Distributed Active Archive Center) thuộc Phòng thí nghiệm Sức đẩy Phản lực (JPL - Jet Propulsion Laboratory) của NASA cung cấp, dữ liệu được thu thập miễn phí từ trang web: <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/files/>.

Dữ liệu MUR SST sau khi tải về được lưu trữ mặc định với định dạng netCDF (Network Common Data Form) với phần tập tin mở rộng có dạng *.nc. Ngôn ngữ lập trình mã nguồn mở R được sử dụng để xử lý, bao gồm: đọc, cắt dữ liệu theo khu vực nghiên cứu, trích xuất dữ liệu và xây dựng sơ đồ phân bố SST từ dữ liệu MUR SST.

Phương pháp

Phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm

Kỹ thuật phân tích hàm trực giao thực nghiệm (EOF - Empirical Orthogonal Function) đã được sử dụng trong lĩnh vực khoa học trái đất từ những năm 1940. Ngày nay EOF đã trở thành công cụ phân tích phổ biến và được sử dụng rộng rãi trong những nghiên cứu khí tượng, hải dương học^{18,19}. Mục đích ban đầu khi sử dụng phân tích EOF nhằm phân rã một chuỗi dữ liệu đa biến theo không gian - thời gian $\{Z(m, T)\}$ thành các hàm trực giao, hoặc các “modes”. Những “modes” này đại diện cho các thay đổi mang tính không gian và thời gian của bộ dữ liệu ban đầu. Để phân tích EOF, bộ dữ liệu SST ban đầu $\{SST(m, T)\}$ được biến đổi thành một ma trận $Z_{T \times m}$ theo phương trình (1)⁶:

$$Z_{T \times m} = (z_1, z_2, \dots, z_T)' = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{T1} & z_{T2} & \dots & z_{Tm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Với: m là số lượng phần tử ảnh (pixel) của mỗi cảnh ảnh; T là số lượng ảnh sử dụng.

Để loại bỏ ảnh hưởng của biến động không gian - thời gian của giá trị SST, ma trận $Z_{T \times m}$ được hiệu chỉnh bằng cách loại bỏ trung bình không gian, sau đó được chuẩn hóa bằng cách chia cho hằng số $\sqrt{T-1}$. Phương pháp phân rã giá trị đơn (SVD - Singular value decomposition) được sử dụng nhằm phân rã ma trận $Z_{T \times m}$ thành tích của ba ma trận như công thức (2)^{18,20,21}:

$$Z_{T \times m} = U_{T \times T} \Sigma_{T \times m} (V_{m \times m})' \quad (2)$$

Trong đó:

- $U_{T \times T}$ là một ma trận trực giao, mỗi cột của ma trận $U_{T \times T}$ là một left-singular vector của ma trận $Z_{T \times m}$ - đặc trưng phân bố SST theo thời gian.

- $V_{m \times m}$ là một ma trận trực giao, mỗi cột của ma trận $V_{m \times m}$ là một right-singular vector của ma trận $Z_{T \times m}$ - đặc trưng phân bố SST theo không gian.

- $\Sigma_{T \times m}$ là một ma trận đường chéo, các phần tử trên đường chéo chính (σ_k) của $\Sigma_{T \times m}$ là những số không âm và được xếp theo chiều giảm dần: $\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_k > 0$.

Phương sai giải thích hay còn gọi là giá trị riêng (ký hiệu PSGT) của mỗi "modes" (thành phần chính) được tính theo công thức (3)²¹:

$$\%PSGT = \frac{\sigma_k^2}{\sum_{k=1}^N \sigma_k^2} \times 100 \quad (3)$$

Trong đó, σ_k là các phần tử trên đường chéo chính của ma trận đường chéo trong phương trình (2).

Phương pháp phân tích xu hướng biến động chuỗi số liệu SST theo thời gian

Phân tích dữ liệu theo thời gian bao gồm các phương pháp trích xuất các chỉ số thống kê phản ánh những đặc điểm của dữ liệu nhằm chia nhỏ chuỗi dữ liệu thành các thời kỳ nhỏ hơn để dễ dàng phân tích. Trong bài báo này, giá trị SST trung bình theo thời gian giai đoạn 2010-2019 được phân rã thành ba thành phần đặc trưng: phần xu hướng (T_t - trend), phần mùa (S_t - seasonal) và phần ngẫu nhiên (I_t - random) theo phương trình (4)⁷:

$$Y_t = T_t + S_t + I_t \quad (4)$$

Thành phần mùa trong chuỗi thời gian gây khó khăn trong việc đánh giá xu hướng biến động của chuỗi số liệu⁷, do đó, việc xác định và loại bỏ thành phần mùa trong chuỗi thời gian là cần thiết phải thực hiện khi phân tích xu hướng SST giai đoạn 2010-2019. Thành phần mùa được loại bỏ theo phương trình (5)⁷:

$$Y_t^* = Y_t - S_t = T_t + I_t \quad (5)$$

Phân tích tương quan giữa SST và thời gian t bằng cách xây dựng mô hình hồi quy tuyến tính theo phương trình (6)⁷:

$$Y_t^* = \alpha t + \beta + \varepsilon_t \quad (6)$$

Với α là hệ số góc của phương trình (6), β là hằng số, ε_t là sai số ngẫu nhiên và t là thời gian. Thông số α và β được xác định bằng phương pháp bình phương tối thiểu²². Kiểm định Pearson được sử dụng nhằm kiểm định mối tương quan tuyến tính giữa Y_t^* và t ²³. Sử dụng phương pháp phá vỡ cấu trúc (structural break) chuỗi Y_t^* để làm nổi bật các xu hướng tăng hoặc giảm của chuỗi số liệu theo từng khoảng thời gian nhỏ⁷. Dựa vào chỉ số thông tin Bayesian (BIC - Bayesian information criterion) số lượng điểm thay đổi cấu trúc của chuỗi dữ liệu có giá trị BIC thấp nhất thì được chọn⁷. Nếu phát hiện được m điểm thay đổi cấu trúc thì chuỗi thời gian được phân chia thành $(m+1)$ phân đoạn thời gian nhỏ. Kết quả của phân tích phá vỡ cấu trúc sẽ phân chia chuỗi số liệu SST thành các giai đoạn nóng lên và lạnh đi, tùy thuộc vào hệ số góc của phương trình hồi quy được xây dựng trong mỗi phân đoạn thời gian.

Kiểm định Mann - Kendall, hệ số độ dốc Sen's (Sen's slope) và kiểm định tương quan Pearson được sử dụng trong nghiên cứu để xác định xu hướng thay đổi của giá trị SST. Kiểm định Mann - Kendall thường được sử dụng để phát hiện xu hướng đơn điệu (tăng/giảm) trong chuỗi dữ liệu môi trường, dữ liệu khí hậu hoặc dữ liệu thủy văn²⁴. Tất cả các tính toán và kiểm định thống kê được thực hiện trên ngôn ngữ mã nguồn mở R.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Đặc trưng phân bố và biến động không gian - thời gian của SST

Nghiên cứu đã xử lý chuỗi giá trị SST trong giai đoạn 2010-2019 tại vùng biển Khánh Hòa, kết quả cho thấy chúng dao động trong khoảng rộng từ 22,48 - 30,81°C, với giá trị trung bình đạt $27,65 \pm 1,65^\circ\text{C}$. Kết quả phân rã chuỗi số liệu SST bằng phương pháp SVD cho thấy, bốn thành phần EOF đầu tiên giải thích xấp xỉ 100% (99,8%) tổng biến động không gian - thời gian của chuỗi số liệu SST trong 10 năm qua. Nghiên cứu đã sử dụng 2 thành phần trực giao đầu tiên (giải thích 99,2%) để đánh giá những thay đổi của giá trị SST tại vùng biển Khánh Hòa. Có sự giảm đáng kể của giá trị riêng giữa thành phần trực giao 1 (EOF1) và thành phần trực giao 2 (EOF2) với các giá trị tương ứng đạt 98,1% và 1,1%. Điều này chỉ ra rằng SST tại vùng biển Khánh Hòa biến động mạnh theo thời gian và không gian. Sự chênh lệch lớn của giá trị riêng giữa

EOF1 và EOF2 cũng từng được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu tương tự, khi phân tích EOF cho chuỗi số liệu SST ở vùng biển phía tây Địa Trung Hải, với EOF1 giải thích 97,7% và EOF2 giải thích 0,6%²⁵, hay ở vùng vịnh Maine - Mỹ với EOF1 giải thích 92,4% và EOF2 giải thích 1,2%²⁶, hay tại vùng biển California - Mỹ với EOF1 giải thích 98% và EOF2 giải thích 1,1%⁵. Hình 2A, Hình 3A trình bày kiểu phân bố không gian tương ứng của tải EOF1 và tải EOF2 (EOF loading), được sử dụng để mô tả sự thay đổi về mặt không gian của giá trị SST. Hình 2B, Hình 3B mô tả sự thay đổi của hệ số chuỗi thời gian của thành phần EOF1 (PC1) và thành phần EOF2 (PC2), cho biết khả năng xảy ra của kiểu phân bố không gian của tải EOF tương ứng. Hình 2C, Hình 3C trình bày giá trị trung bình hóa theo tháng của hệ số chuỗi thời gian của 2 thành phần EOF đầu tiên.

Thành phần EOF đầu tiên giải thích 98,1% tổng biến thiên chuỗi số liệu SST. Phân bố không gian của tải EOF1 có xu hướng giảm từ bắc xuống nam tại vùng nghiên cứu, trong đó tải EOF1 có giá trị lớn nhất tại vịnh Vân Phong và có giá trị thấp nhất tại vịnh Cam Ranh. Đặc biệt, Hình 2A cho thấy tải EOF1 có giá trị dương trên toàn bộ vùng biển Khánh Hòa. Diễn biến theo thời gian của thành phần trực giao đầu tiên cho thấy PC1 biến đổi mang tính chu kỳ, cụ thể PC1 đạt giá trị dương trong khoảng thời gian từ tháng 4 đến tháng 10 và đạt giá trị âm từ tháng 11 đến tháng 3 năm sau (Hình 2B, Hình 2C). Kết hợp EOF1 và PC1 cho thấy, trong khoảng thời gian PC1 có giá trị dương (tháng 4 đến tháng 10) thì nhiệt độ nước biển tăng mặt trên toàn vùng nghiên cứu lớn hơn so với nhiệt độ trung bình; khi đó nhiệt độ nước biển có xu hướng giảm từ bắc xuống nam trong toàn vùng nghiên cứu. Trong mùa hè (tháng 6 đến tháng 8) xu hướng giảm từ bắc xuống nam của nhiệt độ nước biển tăng mặt đã được tìm thấy dọc theo vùng biển Khánh Hòa^{27,28}. Nguyên nhân có thể là do ảnh hưởng của nước trời Nam Trung Bộ, theo đó vào mùa hè, vùng biển phía nam tỉnh Khánh Hòa (vịnh Cam Ranh) chịu ảnh hưởng lớn của nước trời với sự xâm nhập của khối nước lạnh từ các tầng sâu đi lên tầng mặt làm giảm nhiệt độ nước biển tầng mặt tại đây²⁷. Vào những thời điểm giá trị PC1 đổi dấu từ dương sang âm thì nhiệt độ nước biển tầng mặt có giá trị nhỏ hơn giá trị trung bình; và nhiệt độ nước biển tầng mặt tại khu vực phía nam lớn hơn khu vực phía bắc của vùng nghiên cứu. Từ những phân tích trên cho thấy thành phần trực giao đầu tiên đại diện cho phân bố và biến động SST trong mùa hè với xu hướng giảm từ bắc xuống nam tại vùng biển Khánh Hòa.

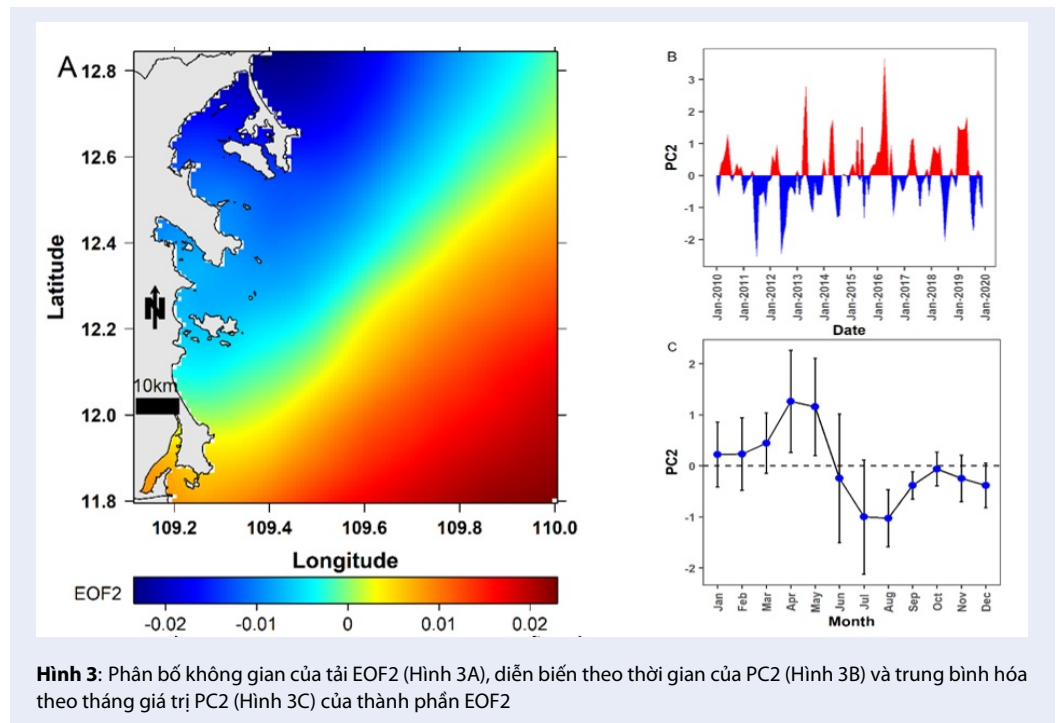
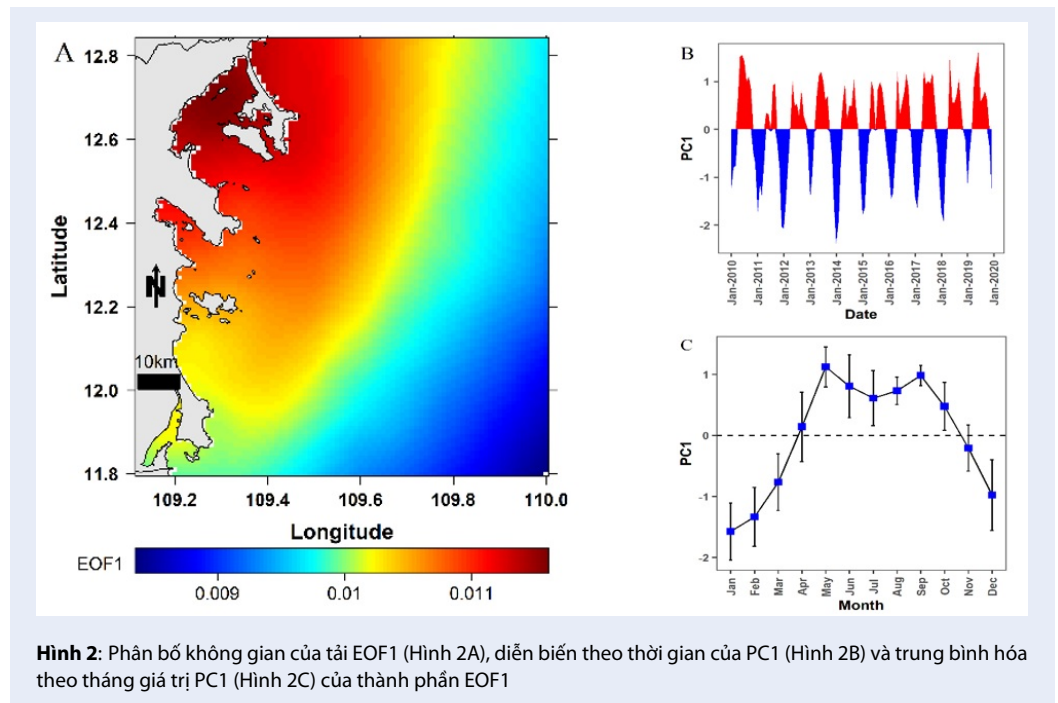
Thành phần EOF thứ hai chiếm 1,1% biến động của chuỗi số liệu SST. Phân bố không gian của tải EOF2

tại vùng biển Khánh Hòa có xu hướng tăng từ bắc xuống nam, và tăng từ bờ ra ngoài khơi, ngược lại với xu hướng phân bố của tải EOF1 (Hình 3A). Tải EOF2 có giá trị dương tại khu vực phía đông và phía đông nam, và có giá trị âm tại khu vực phía bắc của vùng nghiên cứu (Hình 3A). Diễn biến theo thời gian của thành phần trực giao thứ hai cho thấy PC2 cũng có xu hướng biến đổi mang tính chu kỳ, trong đó PC2 đạt giá trị dương trong khoảng thời gian từ tháng 1 đến tháng 5 và đạt giá trị âm từ tháng 6 đến tháng 12 hằng năm (Hình 3B và Hình 3C). Tại các khu vực như vịnh Cam Ranh, khu vực ngoài khơi phía đông và phía đông nam vùng nghiên cứu có xu hướng nóng hơn và SST lớn hơn SST trung bình trong những khoảng thời gian mà PC2 có giá trị dương; ngược lại tại các khu vực trên sẽ có xu hướng lạnh hơn và SST nhỏ hơn SST trung bình khi PC2 đạt giá trị âm. Từ đó cho thấy thành phần trực giao thứ hai đại diện cho phân bố và biến động SST tại vùng biển Khánh Hòa trong mùa đông và mùa xuân với xu hướng tăng từ bờ ra khơi.

Xu hướng thay đổi của chuỗi số liệu SST theo thời gian

Tập số liệu SST trung bình tháng trong giai đoạn 2010-2019 tại vùng biển Khánh Hòa thu thập (observed) (Hình 4A) được phân rã và phân tích thành 3 thành phần đặc trưng: thành phần xu hướng (trend) (Hình 4B), thành phần mang tính mùa (seasonal) (Hình 4C) và thành phần ngẫu nhiên (random) (Hình 4D). Kết quả phân rã cho thấy SST thu thập có sự biến động giữa các năm, đạt cực đại trong các năm 2010, năm 2019, và đạt cực tiểu trong năm 2011 (Hình 4A). Theo đồ thị Hình 4B, thành phần xu hướng biến thiên mạnh giữa các năm, cụ thể SST giảm mạnh trong giai đoạn 2010-2011, tuy nhiên SST lại tăng mạnh từ năm 2012 đến giữa năm 2013, trong giai đoạn sau năm 2013 đến cuối năm 2019 giá trị SST tăng - giảm xen kẽ không rõ ràng. Đồ thị Hình 4C mô tả thành phần mùa của chuỗi SST, biểu đồ cho thấy SST có chu kỳ biến thiên theo mùa, đạt giá trị cao nhất trong mùa hè và thấp nhất trong mùa đông, xu hướng biến thiên theo mùa này lặp lại trong từng năm trong suốt giai đoạn 2010-2019. Trong khi đó thành phần ngẫu nhiên thì độc lập với thời gian, nghĩa là SST thay đổi xen kẽ giữa các khoảng thời gian mà không theo xu hướng hay chu kỳ nhất định (Hình 4D). Nhìn chung, qua kết quả phân rã chuỗi thời gian cho thấy có thể giá trị SST thay đổi mang tính xu hướng, có sự tăng giảm giá trị SST qua từng khoảng thời gian trong giai đoạn 2010-2019; và giá trị SST có chu kỳ tăng giảm rõ ràng giữa các mùa trong mỗi năm.

Thành phần mùa trong chuỗi số liệu SST có tính chu kỳ và gây khó khăn trong việc đánh giá xu hướng biến



động của chuỗi số liệu. Do đó, phân tích xu hướng được thực hiện trên chuỗi số liệu SST đã loại bỏ yếu tố mùa (như đã mô tả ở phần phương pháp 2.3.2). Hình 5A mô tả xu hướng thay đổi chuỗi số liệu SST (sau khi loại bỏ yếu tố mùa) trong thập kỉ vừa qua theo phương trình $Y_t^* = 0,032t - 37,463$. Giá trị hệ số góc α và hệ số đường dốc Sen's trong Bảng 1 chỉ ra rằng nhiệt độ nước biển tăng mặt tại vùng biển Khánh Hòa nóng lên theo thời gian trong thập kỉ 2010-2019 với tốc độ gia tăng khoảng $0,03^\circ\text{C}/\text{năm}$, tương đương với tốc độ gia tăng SST trung bình giai đoạn 2003-2017 tại vùng biển nam Trung Hoa ($0,31^\circ\text{C}/\text{thập kỷ}$) và thấp hơn đáng kể so với tốc độ gia tăng tại biển nam Việt Nam ($0,56^\circ\text{C}/\text{thập kỷ}$)⁸. Tuy nhiên, kiểm định Pearson cho thấy mối tương quan tuyến tính giữa Y_t^* và t không có ý nghĩa về mặt thống kê (Pearson, $P = 0,16$, $R^2 = 0,02$). Bên cạnh đó, kiểm định Mann - Kendall cũng chỉ ra rằng chuỗi số liệu SST là chuỗi không có xu hướng trong 10 năm qua (Mann - Kendall, $P = 0,22$). Mặc dù chuỗi SST được mô tả ở Hình 5A là chuỗi không có xu hướng trong thời gian 10 năm, tuy nhiên khi quan sát ở mỗi phân đoạn thời gian nhỏ hơn thì chuỗi SST có thể có xu hướng tăng hoặc giảm. Do đó, sử dụng phương pháp phá vỡ cấu trúc (structural break) chuỗi Y_t^* để làm nổi bật các xu hướng tăng hoặc giảm của chuỗi số liệu trong từng khoảng thời gian nhỏ. Kết quả phân tích phá vỡ cấu trúc đã xác định được 2 điểm thay đổi cấu trúc (bước nhảy) vào tháng 12/2011 và tháng 7/2013; và chuỗi thời gian 10 năm được phân chia thành 3 phân đoạn thời gian nhỏ, phân đoạn 1 từ tháng 1/2010 đến tháng 12/2011 theo phương trình $Y_{t1}^* = -1,27t_1 + 2581,28$; phân đoạn 2 từ tháng 1/2012 đến tháng 7/2013 theo phương trình $Y_{t2}^* = 0,96t_2 - 1914,30$; và phân đoạn 3 từ tháng 8/2013 đến tháng 12/2019 theo phương trình $Y_{t3}^* = 0,13t_3 - 243,28$ (Bảng 2, Hình 5B). Xây dựng mô hình hồi quy tuyến tính và kiểm định Mann - Kendall trong 3 phân đoạn thời gian nhỏ nhằm xác định xu hướng nóng lên hay lạnh đi trong mỗi phân đoạn thời gian được trình bày trong Bảng 1. Hình 5B và Bảng 1 cho thấy trong giai đoạn C1 (1/2010-12/2011), nhiệt độ nước biển tăng mặt có xu hướng lạnh đi theo thời gian với $\alpha = -1,27$; $R^2 = 0,60$ và tốc độ giảm khoảng $1,32^\circ\text{C}/\text{năm}$. Kết quả này tương đương với kết quả phân tích nhiệt độ bề mặt biển trong giai đoạn từ năm 1979-2014 trong vùng biển Đông - năm 2010 có sự tăng bất thường của nhiệt độ và sau đó nhiệt độ giảm thấp nhất trong thời gian phân tích vào năm 2011¹⁰. Tuy nhiên sang giai đoạn W1 (1/2012-7/2013) và W2 (8/2013-12/2019) thì nhiệt độ nước biển tăng mặt lại có xu hướng nóng lên theo thời gian với α lần lượt bằng 0,96 và 0,13; và R^2 lần lượt bằng 0,54 và 0,14. Cụ thể giá trị nhiệt độ nước biển tăng

mặt gia tăng $0,96^\circ\text{C}/\text{năm}$ trong giai đoạn W1 và gia tăng $0,13^\circ\text{C}/\text{năm}$ trong giai đoạn W2. Kết quả kiểm định Pearson và Mann - Kendall trong mỗi phân đoạn thời gian nhỏ cho thấy có sự tương quan giữa SST với thời gian, và chuỗi số liệu SST là chuỗi có tính xu hướng (Bảng 1). Những phân tích trên chỉ ra rằng nhiệt độ nước biển tăng mặt vùng biển Khánh Hòa nóng lên theo thời gian trong thập kỉ 2010 - 2019, với xu hướng và tốc độ tăng/giảm khác nhau theo mỗi giai đoạn khác nhau.

KẾT LUẬN

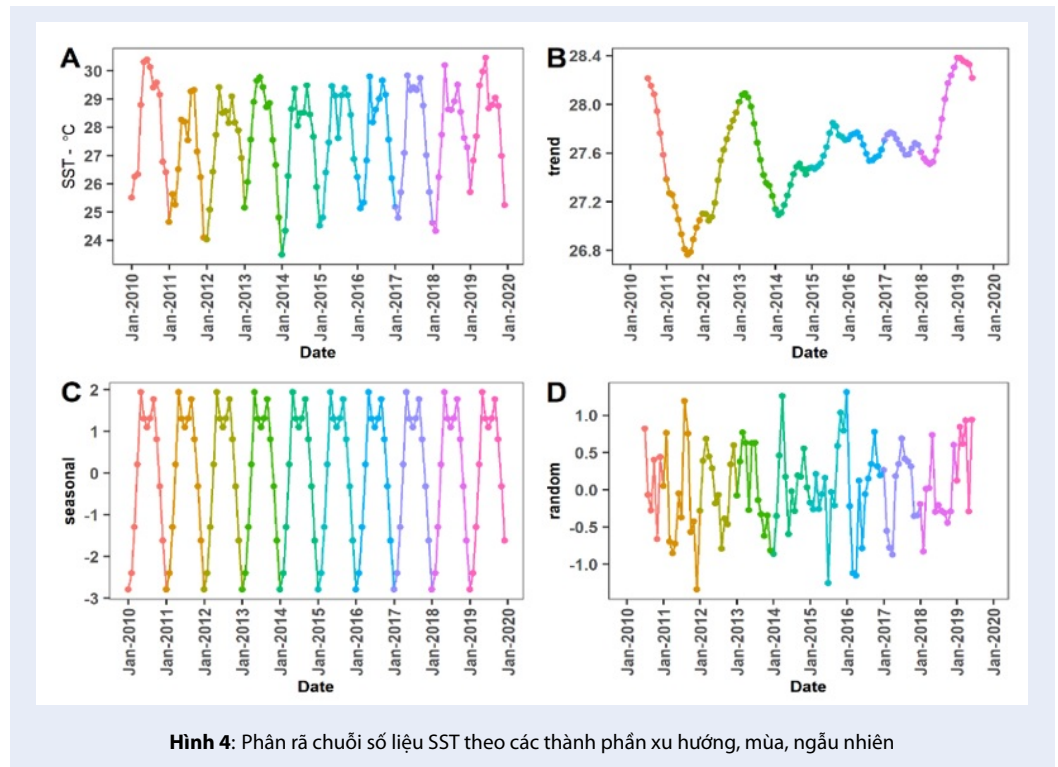
Phương pháp phân tích hàm trực giao thực nghiệm và phân tích chuỗi số liệu theo thời gian trong nghiên cứu biến động SST tại vùng biển Khánh Hòa cho biết, bốn thành phần EOF đầu tiên giải thích 99,8% tổng biến động không gian - thời gian của chuỗi số liệu SST trong 10 năm qua. Thành phần EOF1 giải thích 98,1% tổng biến thiên chuỗi số liệu SST, đại diện cho phân bố và biến động SST trong mùa hè với xu hướng giảm từ bắc xuống nam tại vùng biển Khánh Hòa. Thành phần EOF2 chiếm 1,1% biến động của chuỗi số liệu SST, đại diện cho phân bố và biến động SST tại vùng biển Khánh Hòa trong mùa đông và mùa xuân với xu hướng tăng từ bờ ra khơi.

Trong giai đoạn 2010-2019, giá trị SST biến động giữa các năm, đạt cực đại trong các năm 2010 và năm 2019, và đạt cực tiểu trong năm 2011. SST có chu kì biến thiên theo mùa trong mỗi năm, đạt giá trị cao nhất trong mùa hè và thấp nhất trong mùa đông. Nhiệt độ nước biển tăng mặt vùng biển Khánh Hòa nóng lên theo thời gian trong thập kỉ 2010-2019 với tốc độ tăng khoảng $0,03^\circ\text{C}/\text{năm}$. Xu hướng và tốc độ tăng/giảm khác nhau theo mỗi giai đoạn khác nhau. Trong giai đoạn C1 (1/2010-12/2011) nhiệt độ nước biển tăng mặt có xu hướng lạnh đi theo thời gian với tốc độ giảm khoảng $1,32^\circ\text{C}/\text{năm}$. Trong giai đoạn W1 (1/2012-7/2013) và W2 (8/2013-12/2019) thì nhiệt độ nước biển tăng mặt lại có xu hướng nóng lên theo thời gian với tốc độ gia tăng lần lượt là $0,96^\circ\text{C}/\text{năm}$ và $0,13^\circ\text{C}/\text{năm}$.

Kết quả thu được từ bài báo cũng cung cấp những dữ liệu hữu ích cho nghiên cứu hải dương học, đặc biệt cho các nghiên cứu sinh thái học trong bối cảnh biến đổi khí hậu, góp phần hỗ trợ các cơ quan ban ngành tỉnh Khánh Hòa quản lý và khai thác hệ sinh thái biển tại địa phương.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo nhận được sự hỗ trợ từ đề tài cơ sở năm 2020 của phòng Sinh thái biển, Viện Hải dương học: “Đánh giá biến động đa thời gian nhiệt độ tăng mặt vùng biển Khánh Hòa từ nguồn dữ liệu Multi-scale Ultra-high



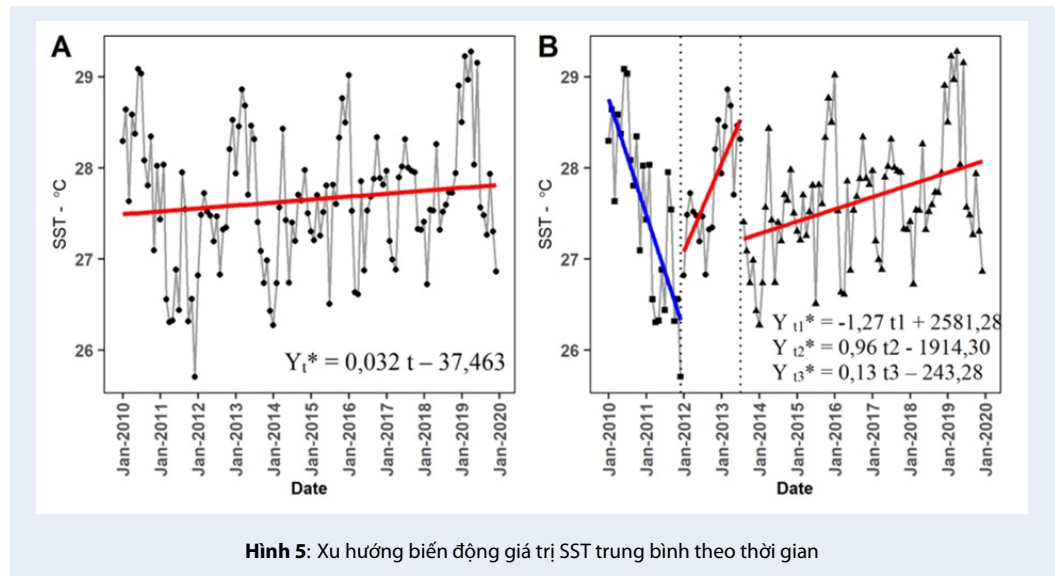
Bảng 1: Kết quả phân tích xu hướng chuỗi số liệu SST theo thời gian

Giai đoạn	Thời gian	α	Pearson, P	R^2	Mann - Kendall, P	Sen's slope	ΔSST ($^{\circ}C/n\grave{a}m$)
W	1/2020-12/2019	0,032	0,16	0,02	0,22	0,0026	0,03
C1	1/2010-12/2011	-1,27	$9,06 \times 10^{-6}$	0,60	$8,02 \times 10^{-5}$	-0,1099	-1,32
W1	1/2012-7/2013	0,96	$3,61 \times 10^{-4}$	0,54	$7,84 \times 10^{-3}$	0,0801	0,96
W2	8/2013-12/2019	0,13	$7,85 \times 10^{-4}$	0,14	$1,08 \times 10^{-3}$	0,0107	0,13

W, C: tương ứng với giai đoạn nóng lên và lạnh đi; ΔSST : tốc độ thay đổi (tăng/giảm) SST trên năm

Bảng 2: Kết quả phân tích phá vỡ cấu trúc chuỗi Y_t *

Bước nhảy	0	1	2	3	4	5
Thời gian tại bước nhảy		01/2012	12/2011 7/2013	12/2011 7/2013 1/2016	12/2011 7/2013 1/2016 6/2018	12/2011 7/2013 2/2015 8/2016 6/2018
BIC	275,68	259,32	254,68	257,88	267,71	288,67



Resolution Sea Surface Temperature (MUR SST)”. Tác giả xin chân thành cảm ơn phòng Sinh thái biển, Viện Hải dương học đã hỗ trợ kinh phí và chuyên môn để chúng tôi hoàn thành nghiên cứu này.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

MODIS: (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) là thiết bị chính được đặt trên vệ tinh làm nhiệm vụ giám sát Trái đất mỗi ngày, thu thập dữ liệu trên 36 kênh phổ về động lực toàn cầu và các quá trình xảy ra trên lục địa, đại dương và khí quyển tầng thấp.

XUNG ĐỘT

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nguyễn Trịnh Đức Hiệu, Trần Thị Vân tham gia chính xử lý dữ liệu và viết bản thảo.

Nguyễn Hữu Huân, Hoàng Trung Du, Nguyễn Minh Hiếu tham gia vào việc phân tích kết quả và đưa ra ý tưởng viết bản thảo.

Võ Hải Thi và Nguyễn Kim Hạnh đã đóng góp vào việc xử lý tính toán và biên tập dữ liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Robles-Tamayo C, Valdez-Holguín J, García-Morales R, et al. Sea surface temperature (SST) variability of the eastern coastal zone of the gulf of California. *Remote Sensing*. 2018;10(9):1434. Available from: <https://doi.org/10.3390/rs10091434>.
- Minnett PJ, et al. Half a century of satellite remote sensing of sea-surface temperature. *Remote Sensing of Environment*. 2019;233:111366. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111366>.

- Linh NT. Xu thế biến động nhiệt độ bề mặt nước biển vùng biển Tây Nam Việt Nam. *Rừng và Môi trường*. . 2018;91.
- Gong S, Wong K. Spatio-temporal analysis of sea surface temperature in the East China Sea using TERRA/MODIS products data, in *Sea Level Rise and Coastal Infrastructure*. InTechOpen Limited London. 2018;p. 213–227. Available from: <https://doi.org/10.5772/intechopen.73217>.
- Paden CA, Abbott MR, Winant CD. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California: 1. Sea surface temperature variability. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 1991;96(C10):18337–18359. Available from: <https://doi.org/10.1029/91JC01597>.
- Liu M, et al. Spatiotemporal Variability of Chlorophyll a and Sea Surface Temperature in the Northern South China Sea from 2002 to 2012. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 2015;41(6):547–560. Available from: <https://doi.org/10.1080/07038992.2015.1112728>.
- Goela PC, Danchenko S, Icelly J, Cristina S, Newton A. Time series analysis of data for sea surface temperature and upwelling components from the southwest coast of Portugal. *Journal of Marine Systems*. 2016;163:12–22. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.06.002>.
- Yu Y, Zhang HR, Jin J, Wang Y. Trends of sea surface temperature and sea surface temperature fronts in the South China Sea during 2003-2017. *Acta Oceanologica Sinica*. 2019;38(4):106–115. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13131-019-1416-4>.
- Son TPH, Lanh VV, Long BH, Khin LV. Main structure of sea surface temperature (SST) in South China Sea (Bien Dong Sea) from satellite data, in *Asian Conference on Remote Sensing (ACRS)*. 2005;.
- Chung TV, Long BH. Ảnh hưởng của trường nhiệt độ và biến đổi bất thường của mực nước trong biển đông liên quan đến biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*. 2016;16.
- Tác VV. Các đặc trưng nhiệt độ và độ muối tầng mặt tại vùng biển Nam Trung Bộ Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*. 2016;17(1).
- Tác VV, Hải DN, et al. Bất thường của nhiệt độ nước tầng mặt tại vùng biển Nam Trung Bộ Việt Nam liên quan đến hiện tượng ENSO. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển*. 2017;17.
- Son TPH, Chung TV, et al. Abnormal features of oceanographic characteristics in upwelling Vietnam waters under impact of El Niño events. *Vietnam Journal of Earth Sciences*. 2017;.

14. Tuấn VS. Bảo tồn đa dạng sinh học biển nhằm phát triển kinh tế xanh ở tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam. Tuyển Tập Nghiên Cứu Biển. 2016;22.
15. Sở Tài nguyên và Môi trường Khánh Hòa, Báo cáo kết quả quan trắc môi trường vùng quan trắc: Tỉnh Khánh Hòa 6 tháng đầu năm 2018. 2018;
16. Trang TTM, Hà NTN, Thanh TD. Tài nguyên vị thế vùng bờ Khánh Hòa: Tiềm năng và Triển vọng. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển. 2015;15(1):13–24. Available from: <https://doi.org/10.15625/1859-3097/15/2/5896>.
17. Viện Quy hoạch Thủy lợi, Điều chỉnh, bổ sung quy hoạch phát triển thủy lợi tỉnh Khánh Hòa giai đoạn 2015-2025 và định hướng 2035, in Báo cáo Chuyên đề Khí tượng Thủy văn. 2016;.
18. Hannachi A, Jolliffe I, Stephenson D. Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. 2007;27(9):1119–1152. Available from: <https://doi.org/10.1002/joc.1499>.
19. Ghoshal T, Jana S, Chakraborty A. Implication of empirical orthogonal function analysis to objectively analyzed sea surface temperature data of Bay of Bengal. 2014;.
20. Kabbara N, Courp T. Empirical orthogonal function analysis of sea surface temperature patterns in the Levantine basin. *Lebanese Science Journal*. 2004;5(2):3.
21. Taylor MH, Losch M, Wenzel M, Schröter J. On the sensitivity of field reconstruction and prediction using empirical orthogonal functions derived from gappy data. *Journal of Climate*. 2013;26(22):9194–9205. Available from: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00089.1>.
22. Fox J. *Applied regression analysis and generalized linear models*. Sage Publications. 2015;.
23. Mangiafico SS. *An R companion for the handbook of biological statistics, version 1.09c*. New Brunswick, NJ: Rutgers Cooperative Extension. 2015;.
24. Uddin M, Akter S, Uddin M, Diganta M. Trend Analysis Variations and Relation Between Discharge and Rainfall: a Study on Kushiyara River. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*. 2017;10(2):121–132. Available from: <https://doi.org/10.3329/jesnr.v10i2.39025>.
25. Bouzinac C, Font J, Johannessen J. Annual cycles of sea level and sea surface temperature in the western Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2003;108(C3). Available from: <https://doi.org/10.1029/2002JC001365>.
26. Li Y, He R. Spatial and temporal variability of SST and ocean color in the Gulf of Maine based on cloud-free SST and chlorophyll reconstructions in 2003-2012. *Remote Sensing of Environment*. 2014;144:98–108. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.019>.
27. Long BH. *Cẩm nang tra cứu về điều kiện tự nhiên, môi trường sinh thái, kinh tế, xã hội và quản lý tổng hợp đới ven bờ biển Nam Trung Bộ*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ. 2011;.
28. Tuan VS, Tuyen HT, Hoang PK. A study of coral reef resilience and implications of adaptive management and rehabilitation in Khanh Hoa Province, Vietnam. *Acta Oceanologica Sinica*. 2019;38(1):112–117. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13131-019-1377-7>.

Spatio - temporal variations of sea surface temperature in coastal waters of Khanh Hoa province (South Viet Nam) during the period of 2010-2019

Nguyen Trinh Duc Hieu¹, Nguyen Huu Huan¹, Hoang Trung Du¹, Nguyen Minh Hieu¹, Vo Hai Thi¹,
Nguyen Kim Hanh¹, Tran Thi Van^{2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Sea Surface Temperature (SST) is considered to be the most important parameter in oceanography. SST is not only an important physical parameter for studying the exchange of water vapor and heat between sea surface and atmosphere but also provides an useful index for oceanographic studies such as ocean circulation, water mass, ocean front, upwelling current, seawater mixing and ocean ecological environment. Empirical orthogonal function (EOF) and time series analysis was used to assess spatio-temporal variability of sea surface temperature in coastal waters of Khanh Hoa province (south Viet Nam) from Multi-scale Ultra-high Resolution Sea Surface Temperature (MUR SST) data for a period of 10 years (2010-2019). The first 4 EOF modes of SST explained 99.80% of the spatio-temporal variance in total variabilities. The first EOF mode explained 98.10% of the total variation of SST, representing the distribution and variability of SST in the summer with a decreasing trend from north to south. The second EOF mode explained 1,10% of the total variation of SST, representing the variation of the SST distribution in winter and spring with an increasing trend from shore to offshore. SST had a seasonal variation, it was highest in summer and lowest in winter. Trend analysis of SST time series in the past 10 years showed that SST increased 0,03°C/year in the period 1/2010-12/2019. The trend and the speed of increase/decrease of SST varied with each different p eriod. The results of the study are useful documents to support the management and exploitation of marine ecosystems.

Keywords: empirical orthogonal function (EOF), Sea Surface Temperature (SST), time series analysis, trend

¹Institute of Oceanography, VAST, Vietnam

²Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM

Correspondence

Tran Thi Van, Ho Chi Minh City University of Technology, VNU-HCM
Email: tranthivankt@hcmut.edu.vn

History

- Received: 01-9-2020
- Accepted: 8-12-2020
- Published: 31-12-2020

DOI : 10.32508/stdjet.v3i4.750



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Hieu N T D, Huan N H, Du H T, Hieu N M, Thi V H, Hanh N K, Van T T. **Spatio - temporal variations of sea surface temperature in coastal waters of Khanh Hoa province (South Viet Nam) during the period of 2010-2019.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 3(4):531-541.