



## Chất lượng nước vịnh Nha Trang giai đoạn 2018-2025 từ phân tích dữ liệu viễn thám đa vệ tinh

### Water Quality in Nha Trang Bay During 2018-2025 Based on Analysis of Multi-Satellite Remote Sensing Data

Trần Văn Chung<sup>a\*</sup>, Nguyễn Hữu Huân<sup>a</sup>  
Tran Van Chung<sup>a\*</sup>, Nguyen Huu Huan<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

<sup>a</sup>*Institute of Oceanography, Vietnam Academy of Science and Technology*

(Ngày nhận bài: 24/4/2026, ngày phản biện xong: 08/6/2026, ngày chấp nhận đăng: 03/8/2026)

#### Tóm tắt

Chất lượng nước vịnh Nha Trang những năm gần đây được cải thiện. Tuy nhiên, qua trận lũ lịch sử trong 30 năm (tháng 11/2025) môi trường nước vịnh biểu hiện dấu hiệu bất thường, được minh chứng bởi hàm lượng Chlorophyll-a, SPM và chỉ số Kd490 tăng cao, phản ánh ảnh hưởng đáng kể của nguồn vật chất từ đất liền (gia tăng dinh dưỡng, vật chất lơ lửng và độ đục nước biển). Những bất thường nêu trên được phát hiện thông qua kết quả phân tích chất lượng nước vịnh Nha Trang trong giai đoạn 2018-2025. Từ kết quả phân tích, có thể thấy, chất lượng môi trường trở nên xấu đi, dễ bị tổn thương trước các tác động kép từ các bất thường tự nhiên (mưa lũ cực đoan) và hoạt động nhân sinh (đô thị hóa, du lịch). Đây là minh chứng rõ ràng cho mối liên hệ giữa bài toán đô thị hóa trong bối cảnh biến đổi khí hậu và chất lượng môi trường biển ven bờ.

*Từ khóa:* chất lượng nước, đô thị hóa, lũ lụt, viễn thám đa vệ tinh, vịnh Nha Trang

#### Abstract

In recent years, the water quality of Nha Trang Bay has shown an overall improving trend. However, following the historic flooding event of November 2025 (the most severe in three decades) the bay's water environment exhibited clear signs of anomaly, as reflected by elevated concentrations of Chlorophyll-a, suspended particulate matter (SPM), and Kd490 (diffuse attenuation coefficient). These indicators point to a substantial influx of land-derived materials causing an increase in seawater nutrients, SPM, and turbidity. Such anomalies were identified through an analysis of the Bay's water quality over the period 2018–2025, which revealed a deterioration in environmental conditions and increased vulnerability to the combined effects of natural extremes (heavy rainfall and flooding) and anthropogenic pressures (urbanization and tourism development). These findings highlight the close relationship between urbanization under climate change and the quality of the coastal marine environment.

*Keywords:* water quality, urbanization, floods, multi-satellite remote sensing, Nha Trang Bay

\*Tác giả liên hệ: Trần Văn Chung

Email: tvanchung@gmail.com

## 1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu ngày càng phức tạp, các hệ sinh thái biển ven bờ đang chịu áp lực lớn từ cả thiên tai và hoạt động nhân sinh. Do đó, việc giám sát chất lượng nước biển là một nhiệm vụ quan trọng nhằm bảo vệ môi trường nước và phát triển bền vững các nguồn tài nguyên biển. Viễn thám đa vệ tinh cung cấp một phương pháp hiệu quả để thu thập dữ liệu về các đặc tính vật lý và sinh học của nước biển trên diện rộng và liên tục. Qua việc phân tích các tham số như nhiệt độ bề mặt nước biển (SST); hàm lượng vật chất lơ lửng (SPM); nồng độ Chlorophyll-a (Chlo-a) và hệ số suy giảm ánh sáng Kd490, các nhà khoa học có thể đánh giá được tình trạng biến đổi thời tiết; vấn đề ô nhiễm, hiện tượng phú dưỡng và độ đục của nước biển. Các thông số này hiện đã được cộng đồng khoa học quốc tế công nhận, cung cấp nguồn dữ liệu toàn cầu có độ phân giải cao, liên tục theo thời gian. Tuy nhiên, tại Việt Nam, việc khai thác và ứng dụng hiệu quả các bộ dữ liệu này trong nghiên cứu và đánh giá chất lượng môi trường biển vẫn còn hạn chế, đặc biệt trong cảnh báo chất lượng môi trường nước trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và tác động của thiên tai. Công trình này nhằm tập hợp bộ dữ liệu đã nói ở trên và phân tích khả năng ứng dụng thực tiễn của các bộ dữ liệu này, điển hình là phân tích tình trạng môi trường tại vịnh Nha Trang giai đoạn 2018-2025; đặc biệt là tìm hiểu và phân tích dữ liệu viễn thám thể hiện qua chất lượng nước trong mùa lũ lịch sử vào tháng 11/2025.

## 2. Tài liệu nghiên cứu

### 2.1. Nhiệt độ bề mặt biển (SST)

SST là cốt lõi của nhiều quá trình trong đại dương. Nhiều nền tảng viễn thám khác nhau đã được sử dụng để thu được các sản phẩm SST ở các quy mô khác nhau. Đây là biến trạng thái chính được chọn để nghiên cứu biến đổi khí hậu. SST được sử dụng có độ phân giải siêu cao (MUR) đa quy mô (MUR SST) là phân tích toàn

cầu hàng ngày được chia thành lưới ở độ phân giải ngang  $0,01^\circ \times 0,01^\circ$ . Phân tích MUR nhập các truy xuất MODIS và tìm cách nắm bắt các cấu trúc SST quy mô nhỏ bất cứ khi nào có sẵn bộ sản phẩm SST. MUR đa tỷ lệ của NASA thuộc nhóm SST có độ phân giải cao (GHRSSST) kết hợp dữ liệu từ các nguồn khác nhau. Phiên bản hiện tại của MUR (Phiên bản 4.1, <http://dx.doi.org/10.5067/GHGMR-4FJ04>, được truy cập vào 1/6/2022) [1]. Bộ dữ liệu SST này có thể được truy cập tự do với nguồn dữ liệu được cung cấp từ 1/6/2002 đến nay [2].

### 2.2. Vật chất dạng hạt lơ lửng (SPM)

SPM trong nước mặt được điều khiển bởi mối quan hệ chặt chẽ của nó với các vấn đề liên quan đến môi trường và khí hậu. Các hạt lơ lửng, sống hoặc không sống, hữu cơ hoặc vô cơ, hấp thụ và phân tán ánh sáng mặt trời xuyên qua cột nước tầng mặt, ảnh hưởng đến độ đục và màu sắc của nước [3]. Thuật toán SPM sử dụng dữ liệu phổ phản xạ từ xa ( $R_{rs}(\lambda)$ ) đo bởi vệ tinh tại các dải NIR, đỏ, xanh lá và xanh lam (NIR-RGB), đồng thời kết hợp các thuật toán cho cả nước đục và nước trong nhằm phục vụ trích xuất dữ liệu toàn cầu. Dữ liệu SPM từ vệ tinh phản ánh trực tiếp lượng hạt lơ lửng hữu cơ và vô cơ trong lớp nước bề mặt. Thực tế, tại các vùng ven bờ và nội địa, SPM chủ yếu là trầm tích từ xói mòn bờ biển, dòng chảy sông và sự tái huyền phù từ đáy [4], [5]. Ngược lại, tại các vùng biển khơi, các hạt sinh học lơ lửng chiếm ưu thế trong lớp nước bề mặt. Đây là một chỉ số quang học, khác với TSS (Total Suspended Solids) hay TSM (Total Suspended Matter) vốn là phép đo trực tiếp trong phòng thí nghiệm bằng cách lọc và cân khối lượng chất rắn lơ lửng trong một thể tích nước nhất định. SPM không phải là phép đo trực tiếp, nhưng nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng nó có mối tương quan tốt với TSS/TSM đo tại chỗ, và có thể sử dụng như một proxy để giám sát độ đục và chất lượng nước trên phạm vi rộng. Wei et al. (2021) [4] đã phát triển thuật toán toàn cầu để ước lượng SPM từ dữ liệu VIIRS, cho thấy

sai số trung bình khoảng 2–5 mg/l. Nechad et al. (2010) [6] cũng đã xây dựng các thuật toán hồi quy phổ biến để tính toán SPM từ dữ liệu vệ tinh. Một thách thức lớn của dữ liệu SPM là sự thiếu hụt do mây che phủ hoặc nhiễu tín hiệu, và thuật toán DINEOF [7], [8] đã chứng minh hiệu quả trong việc tái tạo dữ liệu thiếu, giảm sai số 20–40% so với các phương pháp nội suy truyền thống. Bộ dữ liệu SPM có thể được truy cập tự do với bộ dữ liệu từ 02/01/2018 đến nay [9].

### 2.3. Chlorophyll-a

Chlo-a là chỉ số quan trọng để đánh giá sinh khối thực vật phù du, năng suất sơ cấp và sức khỏe hệ sinh thái biển. Thuật toán Chlo-a sử dụng phương pháp chỉ số màu đại dương (OCI), vốn đã được chứng minh là ổn định và chính xác hơn đối với các vùng biển trong (có nồng độ Chlo-a thấp) [10]. Cao et al. (2022) [11] đã đánh giá dữ liệu VIIRS và cho thấy sai số trung bình khoảng 20-30% so với mẫu nước thực địa, đặc biệt cao hơn ở vùng nước đục. Chlo-a hiện là chỉ số chuẩn quốc tế để giám sát hiện tượng tảo nở hoa, biến động sinh học biển và năng suất sơ cấp toàn cầu. Bộ dữ liệu Chlo-a có thể tải về miễn phí [12] với nguồn số liệu bắt đầu từ 01/01/2018 đến nay.

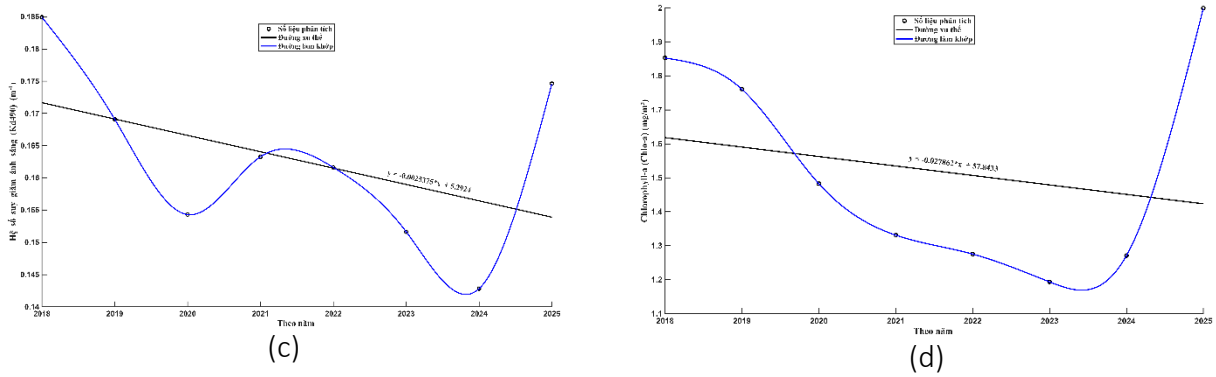
### 2.4. Kd490

Kd490 là hệ số suy giảm ánh sáng tại bước sóng 490 nm, phản ánh độ trong suốt của nước biển và khả năng ánh sáng xuyên qua cột nước, ảnh hưởng trực tiếp đến quang hợp của sinh vật phù du. Thuật toán Kd490 là sự kết hợp giữa mô hình đại dương trong (chuẩn) [13] và mô hình nước đục, cho phép trích xuất chính xác dữ liệu Kd490 cho cả vùng biển trong và vùng biển giàu năng suất sinh học [14]. Yang et al. (2024) [15]

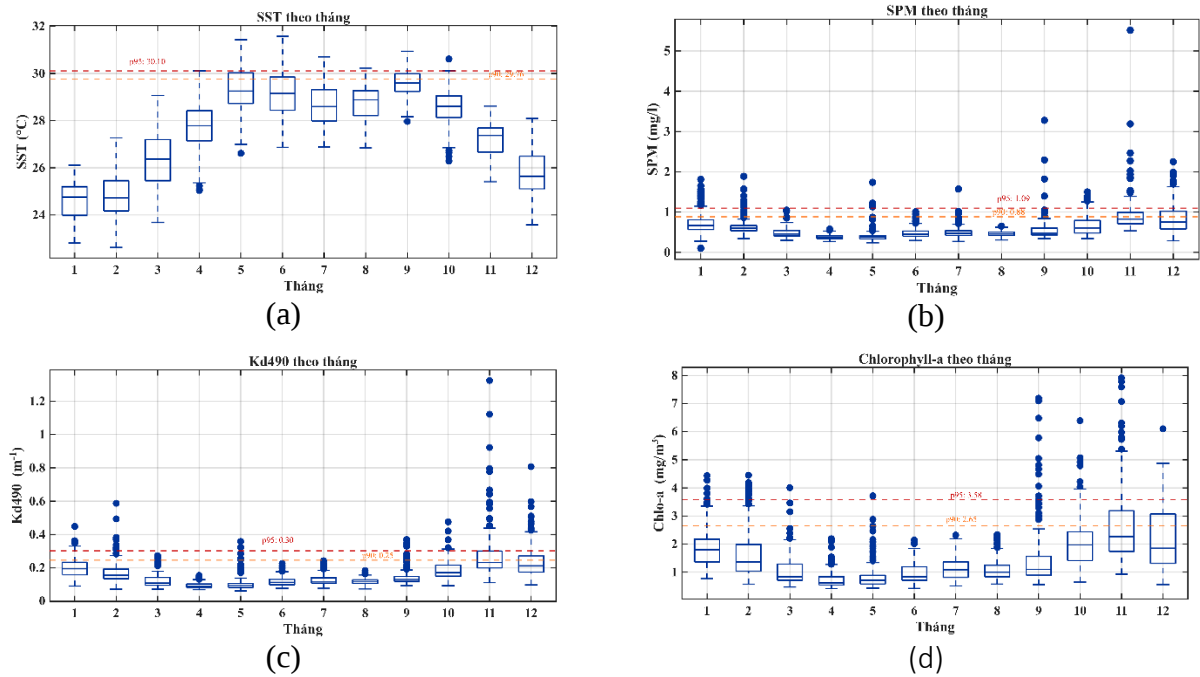
đã phát triển phương pháp kết hợp dữ liệu MODIS và Sentinel-2 bằng máy học, cho thấy sai số RMSE chỉ khoảng 0,05-0,1 m<sup>-1</sup>. Kd490 hiện được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu quang học biển, đánh giá độ trong suốt và chất lượng nước ven bờ. Bộ dữ liệu Kd490 có thể tải về miễn phí [16] bắt đầu từ 01/01/2018 đến nay.

Ba bộ thông số SPM, Chlo-a, Kd490 được hợp nhất từ ba cảm biến vệ tinh VIIRS-SNPP, VIIRS-NOAA-20, OLCI (Sentinel-3A, Sentinel-3B) và sau đó lấp đầy khoảng trống dữ liệu bằng phương pháp DINEOF, nhờ vậy tạo ra bộ dữ liệu toàn cầu hằng ngày, liên tục và không khoảng trống với độ phân giải 2 km [17]. Trong đó, SPM phản ánh lượng hạt lơ lửng hữu cơ và vô cơ trong lớp nước bề mặt, là chỉ số trực tiếp về độ trong và tình trạng trầm tích; Chlo-a biểu thị sinh khối thực vật phù du, thường dùng để đánh giá năng suất sinh học và hiện tượng phú dưỡng; còn Kd490 là hệ số suy giảm ánh sáng khuếch tán tại bước sóng 490 nm, phản ánh khả năng xuyên sáng và độ đục của nước biển. Cả ba tham số này được truy xuất từ dữ liệu phổ bức xạ rời khỏi mặt nước ( $nLw(\lambda)$ ,  $Rrs(\lambda)$ ) của các cảm biến vệ tinh VIIRS (SNPP, NOAA-20) và OLCI, xử lý bằng hệ thống MSL12 với các thuật toán chuyên biệt cho từng tham số. Sau đó, dữ liệu từ nhiều vệ tinh được hợp nhất và lấp đầy khoảng trống bằng phương pháp DINEOF, tạo ra bộ sản phẩm toàn cầu hằng ngày không khoảng trống, cung cấp thông tin quan trọng phục vụ giám sát và nghiên cứu chất lượng môi trường biển ven bờ cũng như đại dương [17]. Để nghiên cứu chất lượng nước cho vịnh Nha Trang, bộ dữ liệu viễn thám đa vệ tinh đã được trích xuất (Hình 1) với 292 điểm cho SST và 78 điểm cho SPM, Kd490 và Chlo-a.





Hình 3. Biến trình trung bình năm trong giai đoạn (2018-2025) cho (a) SST; (b) SPM; (c) Kd490; (d) Chlo-a



Hình 4. Các chỉ số phân tích chất lượng nước theo trung bình tháng (2018-2025) cho (a) SST; (b) SPM; (c) Kd490; (d) Chlo-a

Kết quả phân tích dữ liệu về tình biến trình năm trong giai đoạn 2018-2025 (Hình 3) cho thấy xu thế biến đổi phức tạp của thông số phân tích và phân tích trung bình tháng trên Hình 4 cho thấy chất lượng nước vịnh Nha Trang chịu sự chi phối rõ rệt theo chu kỳ mùa và các hoạt động nhân sinh từ đất liền được trao đổi qua các hệ thống sông (sông Cái và sông Tắc). Kết quả phân tích cho thấy sự dao động phức tạp của các chỉ số môi trường nước (ngoại trừ SST) tại vịnh Nha Trang vào mùa mưa, đặc biệt thể hiện rõ nhất là tháng 11 các năm (Hình 4). Các phân tích dữ liệu theo mùa thể hiện rõ nhất qua chỉ số SPM với mùa mưa lũ (tháng 10-12) là giai đoạn nồng

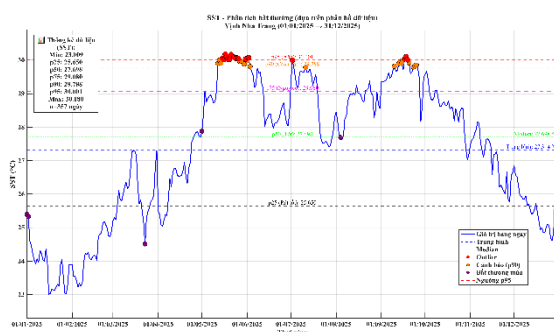
độ SPM tăng nhanh, kéo theo độ đục (đặc trưng là Kd490) và Chlo-a tăng cao bất thường. Đáng chú ý, sự gia tăng SPM trong mùa mưa ngày càng có xu hướng mạnh hơn về cường độ, đặc biệt thể hiện rõ rệt trong năm 2025 (Hình 3). Hiệu ứng này có thể liên quan mật thiết đến quá trình đô thị hóa và phát triển cơ sở hạ tầng tại khu vực phường Tây Nha Trang và việc suy giảm khả năng thoát lũ trên toàn bộ lưu vực sông Cái và sông Tắc. Việc san lấp mặt bằng, xây dựng các khu đô thị mới và hệ thống đường giao thông đã làm thay đổi kết cấu nền đất, suy giảm sự thấm và rút nước tự nhiên qua bề mặt bê tông hóa, dẫn đến tốc độ rửa trôi bề mặt nhanh hơn,

đẩy lượng lớn trầm tích mịn (nguồn chính của SPM) ra môi trường nước vịnh chỉ sau những trận mưa lớn.

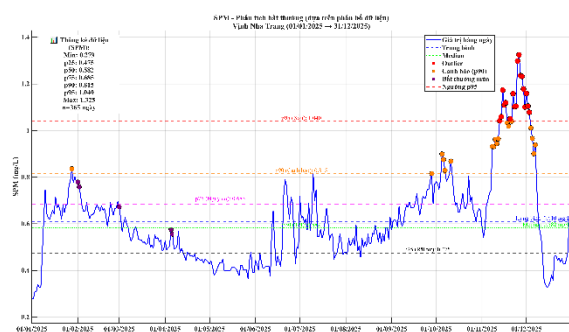
Trong khi SPM bị chi phối bởi các yếu tố vật lý và thủy văn, diễn biến của Chlo-a lại phản ánh một bức tranh khác, có liên quan đến yếu tố nhân sinh và xã hội. Ngược với mùa mưa lũ, mùa khô (thể hiện rõ nhất trong thời gian từ tháng 4-6) (Hình 4) vốn là thời kỳ nước vịnh trong và tương đối ổn định. Các phân tích đã ghi nhận được trong mùa khô năm 2020-2021, Chlo-a trung bình trong giai đoạn này giảm mạnh, có thời điểm trung bình tháng chỉ đạt  $0,53 \text{ mg/m}^3$  (tháng 5/2021), thấp hơn đáng kể so với trung bình nhiều năm ( $1,48 \text{ mg/m}^3$ ). Đây là giai đoạn trùng khớp với thời điểm mà các biện pháp giãn cách xã hội được áp dụng nghiêm ngặt (đại dịch COVID-19). Sự suy giảm đáng kể này có thể được giải thích do các hoạt động du lịch, giao thông thủy và đặc biệt là lượng nước thải sinh hoạt từ các khu dân cư và khách sạn ven biển đã tạm thời cắt giảm nguồn dinh dưỡng đầu vào, tạo điều kiện cho hệ sinh thái vịnh có một khoảng lặng để phục hồi chất lượng nước. Sau đó các chỉ số đã trở lại quy luật bình thường, đây là minh chứng thực nghiệm rõ ràng về tác động của con người đến môi trường nước vịnh.

Phân tích dữ liệu trong năm 2025, giá trị trung bình phần lớn ổn định, nhưng từ giữa tháng 11

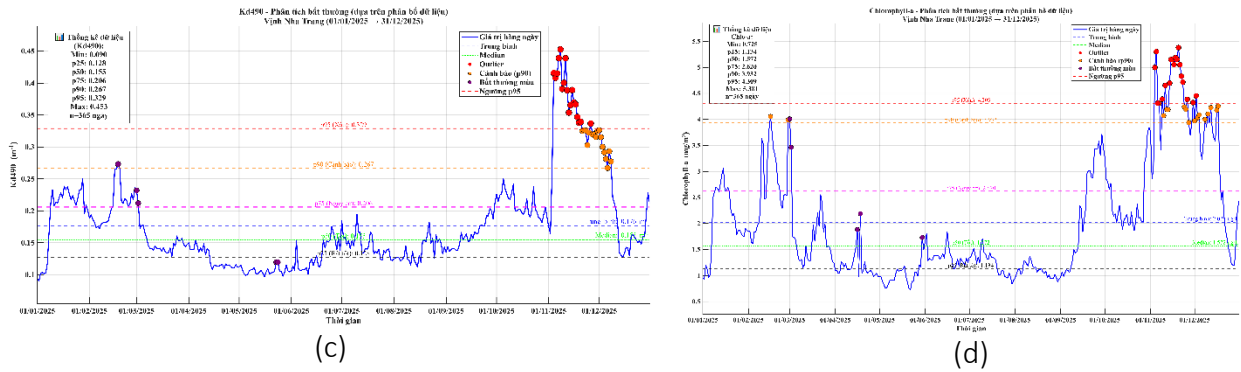
trở đi tăng vọt, nhiều ngày vượt ngưỡng p95, với cực đại ngày 26/11 đạt  $14,16 \text{ mg/m}^3$  (Hình 4b). Nếu xét trung bình tháng, SPM tháng 11/2025 nằm trong nhóm cao nhất (đứng thứ 6) toàn chu kỳ, chỉ thấp hơn các đợt mưa bão năm 2018 và 2020 [19], [20] (Bảng 1). Bản đồ không gian trung bình tháng 11/2025 cho thấy khu vực gần cửa sông Cái có giá trị cực đại tới  $8,08 \text{ mg/m}^3$  ( $109,2188^\circ$  Đông;  $12,2604^\circ$  Bắc), minh chứng cho tác động trực tiếp của dòng chảy lũ mang đất, bùn và hữu cơ ra vịnh (Hình 7b). SST tháng 11/2025 vẫn được duy trì mức trung bình khoảng  $27,04^\circ \text{C}$  (Hình 6b). Trong khi Kd490 biến động mạnh trong tháng 11, với giá trị ngày 11/11 đạt  $3,47 \text{ m}^{-1}$  (tại vị trí  $109,2188^\circ$  Đông;  $12,2604^\circ$  Bắc) (trung bình tháng trên toàn vùng  $0,35 \text{ m}^{-1}$ ), vượt ngưỡng p95 (Hình 4c), còn cực đại không gian cho trung bình tháng lên tới  $2,02 \text{ m}^{-1}$  ở vùng cửa sông ( $109,2188^\circ$  Đông;  $12,2604^\circ$  Bắc) cho thấy nước khá đục (Hình 8b). Chlo-a cũng ghi nhận nhiều đợt vượt ngưỡng cảnh báo, đặc biệt trong tháng 11 với chuỗi dài giá trị vượt p95 (Hình 4d). Đỉnh điểm vào ngày 05/11/2025 đạt  $97,97 \text{ mg/m}^3$  (truy xuất từ bộ cơ sở dữ liệu NOAA [12]) (so với trung bình tháng 11/2025 là  $4,42 \text{ mg/m}^3$ ), trong khi bản đồ không gian theo trung bình tháng 11/2025 (Hình 9b) cho thấy cực đại có thể đạt tới  $24,62 \text{ mg/m}^3$  tại khu vực ( $109,2813^\circ$  Đông;  $12,1979^\circ$  Bắc), phản ánh tình trạng phú dưỡng cục bộ.



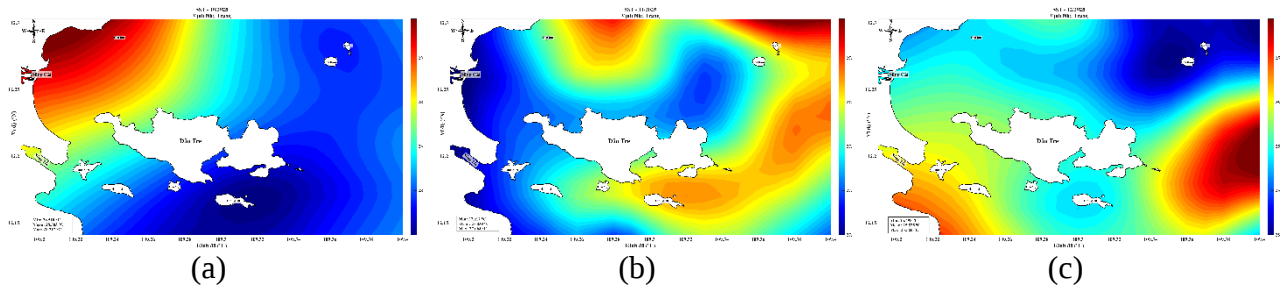
(a)



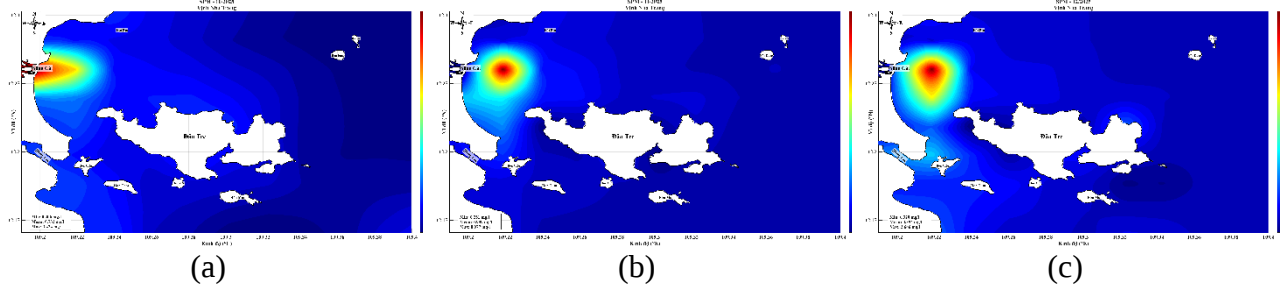
(b)



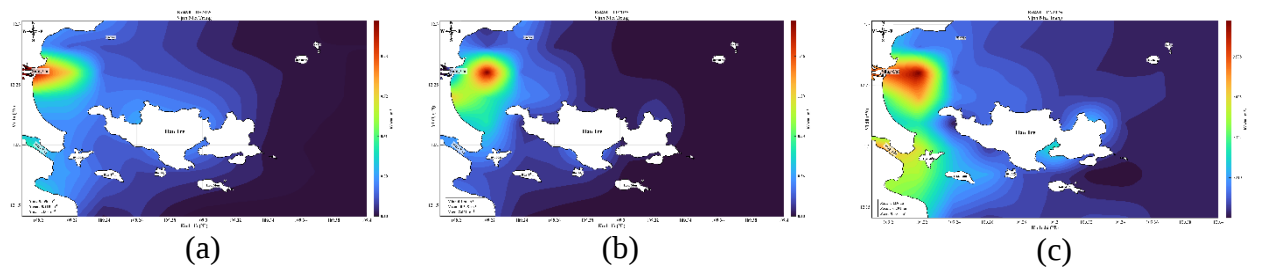
Hình 5. Chuỗi biến trình theo thời gian ngày trong năm 2025: (a) SST, (b) SPM, (c) Kd 490 và (d) Chlo-a



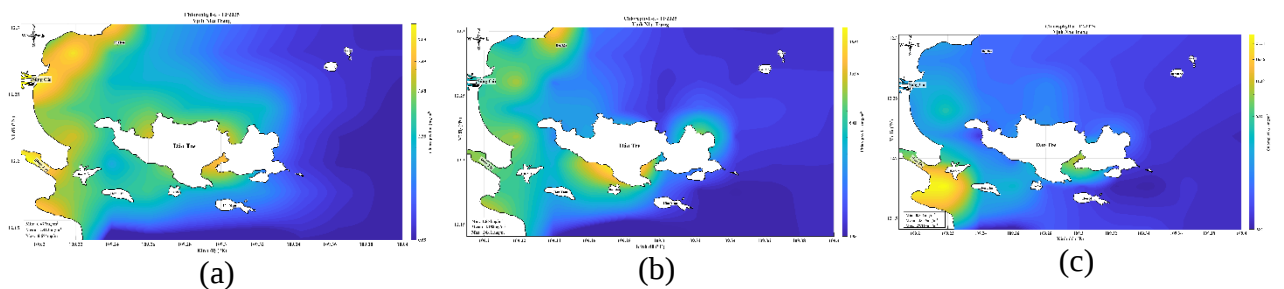
Hình 6. Phân bố trường nhiệt độ bề mặt nước biển cho mùa mưa: (a) 10/2025; (b) 11/2025; (c) 12/2025



Hình 7. Phân bố hàm lượng SPM cho mùa mưa: (a) 10/2025; (b) 11/2025; (c) 12/2025



Hình 8. Phân bố Kd490 cho mùa mưa: (a) 10/2025; (b) 11/2025; (c) 12/2025



Hình 9. Phân bố hàm lượng Chlo-a cho mùa mưa: (a) 10/2025; (b) 11/2025; (c) 12/2025

Các bất thường nhận định ở trên vào tháng 11/2025 cho thấy sự trùng khớp với trận lũ lịch sử tại Khánh Hòa. Theo Đài Khí tượng thủy văn tỉnh Khánh Hòa, sáng 17-11, toàn tỉnh có mưa vừa, mưa to, có nơi mưa rất to; lượng mưa phổ biến từ 100 đến 150 mm, có nơi trên 200 mm; gây ngập sâu hơn 1 mét [23]. Chuỗi số liệu bất thường trong tháng 11/2025 phản ánh rất rõ tác động của trận lũ lịch sử, đồng thời cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa biến đổi tự nhiên và quá trình đô thị hóa ở phường Tây Nha Trang. Việc mở rộng đô thị nhanh chóng với mật độ xây dựng cao, bê tông hóa mặt đất đã làm giảm khả năng thấm nước tự nhiên, khiến dòng chảy mặt tập trung mạnh khi mưa lớn. Trong khi đó, sông Cái và sông Tắc – hai trục thoát lũ chính – lại bị thu hẹp lòng sông do lấn chiếm, bồi lắng và xây dựng công trình ven sông, dẫn đến khả năng thoát lũ suy giảm. Bộ dữ liệu phân tích cho tháng 11/2025 đã thể hiện được các tác động của trận lũ về hệ quả của đô thị hóa chưa đánh giá đúng mức tác hại ở phường Tây Nha Trang và sự suy giảm khả năng thoát lũ của sông Cái, sông Tắc đối với chất lượng môi trường biển ven bờ.

#### 4. Kết luận

Qua phân tích chuỗi dữ liệu viễn thám giai đoạn 2018-2025, có thể thấy chất lượng nước Vịnh Nha Trang trong hai năm gần đây 2024-2025 đang xấu đi bất thường, đặc biệt khi kết hợp với hiện tượng khí hậu cực đoan.

Năm 2025 là một trường hợp điển hình cho thấy chất lượng nước tại vịnh Nha Trang chịu tác động mạnh mẽ từ các sự kiện cực đoan trên đất liền. Trận lũ lịch sử tháng 11/2025 đã làm biến động rõ rệt các thông số môi trường: Chlo-a tăng cao phản ánh tình trạng phú dưỡng, SPM vượt ngưỡng cho thấy dòng chảy mang nhiều vật chất lơ lửng ra biển, và Kd490 tăng mạnh minh chứng cho độ đục nước bất thường. Những biến động này không chỉ là hệ quả của thiên tai mà còn gắn với quá trình đô thị hóa nhanh ở phường Tây Nha Trang và sự suy giảm khả năng thoát lũ của

các hệ thống sông chính (sông Cái, sông Tắc). Qua đó, dữ liệu năm 2025 thể hiện mối liên hệ chặt chẽ giữa quản lý đất liền và chất lượng môi trường biển ven bờ, đồng thời cần có biện pháp giám sát liên tục, tích hợp và có chiến lược ứng phó dài hạn trong công tác bảo vệ hệ sinh thái biển Nha Trang.

Các phân tích kết quả nghiên cứu năm 2025 ngoài cung cấp dữ liệu định lượng về biến động môi trường biển còn nhấn mạnh tầm quan trọng của việc giám sát liên tục, tích hợp nhiều nguồn dữ liệu viễn thám và quan trắc tại chỗ, nhằm nhận diện sớm các bất thường và bảo vệ môi trường biển Nha Trang trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

**Lời cảm ơn:** Công trình này được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài “Nghiên cứu các giải pháp giám sát biến động phục vụ bảo tồn đa dạng sinh vật đáy vùng ven biển Nam Trung Bộ Việt Nam dưới tác động của quá trình đô thị hóa” (mã số NĐT/ITA/24/09). Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn NOAA CoastWatch/ERDDAP và NASA JPL PO.DAAC & GHRSSST đã duy trì và cung cấp truy cập mở đến các sản phẩm dữ liệu vệ tinh.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Chin, T. M., Vazquez-Cuervo, J., & Armstrong, E. M. (2017). A multi-scale high-resolution analysis of global sea surface temperature. *Remote Sensing of Environment*, 200, 154-169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.029>
- [2] NASA JPL. (2002-present). *Multi-scale Ultra-high Resolution (MUR) SST Analysis fv04.1, Global, 0.01°, 2002-present, Daily* (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/jplMURSST41.html>)
- [3] Kirk, J. T. (1994). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge university press.
- [4] Wei, J., Wang, M., Jiang, L., Yu, X., Mikelsons, K., & Shen, F. (2021). Global Estimation of Suspended Particulate Matter From Satellite Ocean Color Imagery. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(8), e2021JC017303. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2021JC017303>
- [5] Yu, X., Lee, Z., Shen, F., Wang, M., Wei, J., Jiang, L., & Shang, Z. (2019). An empirical algorithm to

seamlessly retrieve the concentration of suspended particulate matter from water color across ocean to turbid river mouths. *Remote Sensing of Environment*, 235, 111491.

- [6] Nechad, B., Ruddick, K. G., & Park, Y. (2010). Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. *Remote Sensing of Environment*, 114(4), 854-866.
- [7] Beckers, J.-M., & Rixen, M. (2003). EOF calculations and data filling from incomplete oceanographic datasets. *Journal of Atmospheric and oceanic technology*, 20(12), 1839-1856.
- [8] Alvera-Azcárate, A., Van der Zande, D., Barth, A., Dille, A., Massant, J., & Beckers, J.-M. (2025). Generation of super-resolution gap-free ocean colour satellite products using data-interpolating empirical orthogonal functions (DINEOF). *Ocean Science*, 21(2), 787-805.
- [9] NOAA NESDIS STAR. (2018-recent). *Suspended Particulate Matter (Gap-filled DINEOF), NOAA S-NPP NOAA-20 VIIRS and Copernicus S-3A OLCI, Science Quality, Global 2km, 2018-recent, Daily* (<https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/noaacwNPPN20S3AspmSCIDINEOF2kmDaily.html>).
- [10] Wang, M., & Son, S. (2016). VIIRS-derived chlorophyll-a using the ocean color index method. *Remote Sensing of Environment*, 182, 141-149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.001>
- [11] Cao, Z., Ma, R., Pahlevan, N., Liu, M., Melack, J. M., Duan, H., Xue, K., & Shen, M. (2022). Evaluating and optimizing VIIRS retrievals of chlorophyll-a and suspended particulate matter in turbid lakes using a machine learning approach. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60, 1-17.
- [12] NOAA NESDIS STAR. (2018-recent). *Chlorophyll (Gap-filled DINEOF), NOAA S-NPP NOAA-20 VIIRS and Copernicus S-3A OLCI, Science Quality, Global 2km, 2018-recent, Daily* (<https://coastwatch.noaa.gov/erddap/griddap/noaacwNPPN20S3ASCIDINEOF2kmDaily.html>).
- [13] Mueller, J. L. (2000). SeaWiFS algorithm for the diffuse attenuation coefficient, K (490), using water-leaving radiances at 490 and 555 nm. *SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses, part*, 3(11), 24-27.
- [14] Wang, M., Son, S., & Harding Jr., L. W. (2009). Retrieval of diffuse attenuation coefficient in the Chesapeake Bay and turbid ocean regions for satellite ocean color applications. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(C10). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2009JC005286>
- [15] Yang, Y., Wang, Z., Chen, P., Shen, X., Kong, W., Huang, G., & Shu, R. (2024). High-resolution ocean color reconstruction and analysis focusing on Kd490 via machine learning model integration of MODIS and Sentinel-2 (MSI). *Frontiers in Marine Science*, 11, 1464942.
- [16] NOAA NESDIS STAR. (2018-recent). *Kd490 (Gap-filled DINEOF), NOAA S-NPP NOAA-20 VIIRS and Copernicus S-3A OLCI, Science Quality, Global 2km, 2018-recent, Daily* (<https://coastwatch.noaa.gov/erddap/griddap/noaacwNPPN20S3AkdSCIDINEOF2kmDaily.html>).
- [17] Liu, X., & Wang, M. (2022). Global daily gap-free ocean color products from multi-satellite measurements. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 108, 102714.
- [18] Chung, T. V., Tien, N. M., Khang, N. H. T., Tuan, L. C., & Minh-Thu, P. (2024). Sea Surface Temperature Variability in NHA Trang Bay, Viet Nam: Patterns and Mechanisms. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 26(7), 1-11. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2024/v26i7779>
- [19] Trần Văn Chung. (2025). Biến động hàm lượng vật chất lơ lửng theo thời gian ở vực nước Nha Trang qua dữ liệu viễn thám. *Kỷ yếu hội nghị, 50 năm Thành tựu và thách thức trong nghiên cứu Khoa học và Công nghệ biển (Hà Nội 18/4/2025)* (324-333), Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, ISBN: 978-604-357-366-4.
- [20] Trần Văn Chung. (2025). Giám sát hàm lượng vật chất lơ lửng vực nước Nha Trang bằng dữ liệu viễn thám đa thời gian (2018 – 2024). *Bản tin Khoa học Công nghệ & Đổi mới sáng tạo thuộc Sở Khoa học và Công nghệ Khánh Hòa*, 3, 25-31.
- [21] Research, U. C. f. A. (n.d.). *IBTrACS: Tropical cyclone best track data*. Climate Data Guide. Retrieved April 16, 2026 from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ibtracs-tropical-cyclone-best-track-data>
- [22] Hiền Lương. (2025, 15/12/2025). *Thiên tai khốc liệt tại Khánh Hòa năm 2025 gây thiệt hại trên 6.000 tỉ đồng*. Báo Thanh Niên online. Retrieved 29/04/2026, from <https://thanhnien.vn/thien-tai-khoc-liet-tai-khanh-hoa-nam-2025-gay-thiet-hai-tren-6000-ti-dong-185251215164812173.htm>
- [23] Hiếu Giang & Tiến Thắng. (2025). *Khánh Hòa nhiều nơi ngập sâu hơn 1m do mưa lũ*. Báo Sài Gòn Giải Phóng Online. <https://www.sggp.org.vn/khanh-hoa-nhieu-noi-ngap-sau-hon-1m-do-mua-lu-post823946.html> (21h 17/11/2025).