

# ĐÁNH GIÁ CÁC YẾU TỐ TÁC ĐỘNG ĐẾN SỰ BIẾN ĐỔI MỨC NƯỚC KHU VỰC BIỂN TÂY ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Nguyễn Nguyệt Minh, Lê Thanh Chương,  
Lê Duy Tú, Phạm Văn Hiệp  
Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam

**Tóm tắt:** Hiểu biết về các quá trình gây ra sự thay đổi mực nước ven biển và tác động của nó có ý nghĩa rất lớn trong các hoạt động khai thác và quản lý vùng ven biển. Mực nước có vai trò đặc biệt quan trọng trong tính toán thiết kế các công trình ven biển như cầu cống, đê biển, công trình giảm sóng... ảnh hưởng trực tiếp tới sự an toàn và hiệu quả hoạt động của công trình. Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nói chung và khu vực ven biển Tây nói riêng là một trong những vùng kinh tế trọng điểm có đóng góp rất lớn cho nông nghiệp và nuôi trồng thủy hải sản. Song khu vực này đang phải chịu nhiều áp lực trước bối cảnh của biến đổi khí hậu và các hoạt động khai thác của con người. Hiện nay các nghiên cứu về biến động mực nước ở ĐBSCL nói chung và khu vực ven biển Tây nói riêng vẫn còn nhiều hạn chế. Do đó trong nghiên cứu này bước đầu sẽ đưa ra đánh giá tác động của một số các yếu tố góp phần vào sự thay đổi dài hạn và ngắn hạn của mực nước ven biển, dựa trên số liệu đo đạc thực tế cùng với các phương pháp phân tích thống kê, kết hợp mô hình số nhằm định lượng tương đối mức độ đóng góp của từng yếu tố và đưa ra các cảnh báo cần thiết trước tình hình thực tế.

**Từ khóa:** ENSO, nước dâng, sụt lún, ngập lụt vùng ven biển, nước biển dâng tương đối.

**Summary:** Understanding the processes that affect coastal water level is essential for coastal development and management. Water levels play a critical role in the design and safety of coastal structures such as bridges, sea dikes, and wave-reducing structures... The Mekong Delta (MD) and its west coast are vital economic regions for agriculture and aquaculture. However, they face challenges from climate change and human activities. Research on water level changes in the MK, especially the west coast is limited. This study aims to assess the impact of factors influencing long-term and short-term water level changes. It will use observations, statistical analysis, and numerical models to determine each factor's contribution and provide necessary warnings.

**Keywords:** ENSO, surge, subsidence, coastal inundation, relative sea-level rise.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trầm tích được bào mòn trên bề mặt lục địa được dòng chảy mang tới cửa sông, tại đây tương tác giữa các quá trình động lực sông - biển hình thành nên đồng bằng. Tùy thuộc vào cân cân giữa trầm tích được cung cấp với lượng trầm tích được sóng và dòng chảy mang đi mà đường bờ dần mở rộng hoặc ngược lại. Vùng đồng bằng thường diễn ra quá trình sụt lún tự nhiên khi các lớp trầm tích bị nén chặt trong quá trình chôn vùi theo thời gian, bên cạnh đó vùng đồng bằng thường phân bố ở các khu vực ven

biển có lớp vỏ trái đất đang chuyển động hạ thấp. Tuy nhiên nén tự nhiên và quá trình kiến tạo thường khá nhỏ, hiện tượng sụt lún đất còn có thể bị gây ra bởi các hoạt động nhân sinh. Gia tăng tải trọng do xây dựng cơ sở hạ tầng, hạ thấp mực nước ngầm do khai thác nước ở các tầng chứa sâu, việc hạ thấp mực nước ngầm có thể dẫn đến quá trình nén và ô xy hóa các vật chất hữu cơ khi trầm tích giàu hữu cơ tiếp xúc với không khí..., tác động tổng hợp của các cơ chế này gây ra sụt lún trên bề mặt đồng bằng. Các nghiên cứu (Abidin và c.s., 2011; Higgins và c.s., 2013; Phien-wej và c.s., 2006; Saito và

Ngày nhận bài: 08/8/2024

Ngày thông qua phản biện: 07/11/2024

Ngày duyệt đăng: 27/11/2024

c.s., 2007; Teatini và c.s., 2006) đã chỉ ra tình trạng mực nước ngầm hạ thấp liên tục có thể dẫn đến sụt lún do giảm áp suất chất lỏng trong các tầng chứa nước, các lớp sét và bột mịn chịu nén bị thoát nước và cuối cùng bị nén chặt. Sau đó các lớp dưới mặt bị nén, gây ra sụt lún đất ở bề mặt (Galloway & Burbey, 2011; Gambolati & Teatini, 2015). Sự phát triển bền vững của đồng bằng phụ thuộc vào lượng trầm tích được cung cấp bù đắp phần đường bờ bị xói lở, lún sụt và sự gia tăng mực nước biển do biến đổi khí hậu. Xu thế mực nước dâng trung bình toàn cầu là 1.7 mm/năm từ 1900 đến 2010 (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014) nhưng tăng lên khoảng 1.3 mm/năm từ 1993 đến 2015 (Dangendorf và c.s., 2019). Theo (Church và c.s., 2013), kịch bản nước biển dâng trong tương lai có thể dao động từ 5 mm/năm tới 15 mm/năm cho giai đoạn cuối thế kỷ 21. Trong khi tốc độ sụt lún của hầu hết các đồng bằng vào khoảng 1÷25 mm/năm (Jelgersma, 1996; Minderhoud và c.s., 2017), tốc độ lún nhanh hơn so với sự tăng lên của mực nước biển trung bình liên quan đến khí hậu (MSLR mean sea-level rise). Để đánh giá tác động của mực nước biển dâng lên hệ thống ven biển cần thông tin về mực nước biển dâng tương đối (Relative Sea level rise). Đây là giá trị sụt lún hoặc nâng lên trong khu vực (Peltier, 1998) cộng với giá trị của MSLR toàn cầu, phản ánh tất cả các yếu tố tự nhiên và nhân tạo lên độ cao trắc địa của nó. Ở quy mô khu vực, bên cạnh MSLR toàn cầu, sự phát triển của đồng bằng trong tương lai sẽ bị ảnh hưởng bởi biến động mực nước và tác động của con người ở từng khu vực cụ thể. Hiểu biết chi tiết về những thay đổi từ ngắn hạn, đến dài của mực nước là rất cần thiết để hiểu rõ hơn về các quá trình ven bờ như: biến động đường bờ, ranh giới vùng bãi triều, giao thông hàng hải, thiết kế xây dựng và quy hoạch cơ sở hạ tầng ven biển ...

Biến động mực nước của khu vực ven biển chịu chi phối của rất nhiều yếu tố, biến động từ quy mô vài giây, đến quy mô thời gian địa chất. Các yếu tố chi phối đến từ nhiều nguồn khác nhau: biến động khí quyển: gió, bão, ENSO, PDO ..., lực hấp dẫn hành tinh, sự nâng hạ của lớp vỏ địa

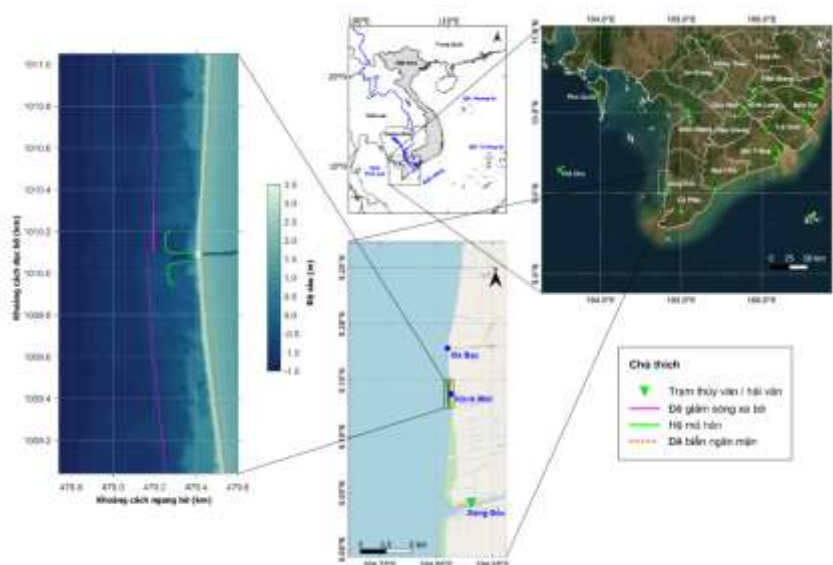
chất.

Khu vực ven biển Tây ĐBSCL được biết đến như một vùng có chế độ thủy động lực ôn hòa, dao động thủy triều thấp (<1m) (Nguyen và c.s., 2023; Phan và c.s., 2017; Wolanski & Nhan, 2005), chiều cao sóng có ý nghĩa trung bình <1m, bão xuất hiện rất ít ở khu vực vịnh Thái Lan, trung bình có khoảng 3 cơn áp thấp nhiệt đới xuất hiện ở vùng vịnh Thái Lan (giai đoạn 1951-2006) (Suphat, 2009). Bão Linda năm 1997 là cơn bão có sức tàn phá hiếm hoi (Vu, 2003), nước dâng do bão Linda tạo ra mực nước cao nhất trong khoảng thời gian 20 năm ở ĐBSCL do thời gian bão trùng với thời gian triều lên (Le và c.s., 2007). Trong những năm gần đây, trong 3 năm liên tiếp (2019, 2022) vùng ven biển Tây đã xuất hiện mực nước cao hơn so với mực nước thiết kế đê biển Tây (+3m) gây ra hiện tượng nước tràn qua đê ảnh hưởng tới sự an toàn của tuyến đê ngăn mặn. Mặc dù mực nước thiết kế này đã được xác định dựa trên các nghiên cứu chú trọng tới tính toán thủy triều nhiều năm, nước dâng do bão, nước dâng do sóng, hệ số bù lún, và gia tăng mực nước do biến đổi khí hậu, được thể hiện qua tiêu chuẩn thiết kế đê biển TCVN9901 (2014). Trước thực tế đó, cần có một đánh giá để nhìn nhận lại các tác động gây ra biến đổi mực nước ở khu vực ven biển Tây ĐBSCL. Bên cạnh dao động triều, các dao động phi tuần hoàn có chu kỳ từ nhiều tháng đến nhiều năm, các tính toán về nước biển dâng tương đối, tác động của sóng chu kỳ dài, ... chưa được chú trọng trong các tính toán trước đây ở khu vực ven biển ĐBSCL. Nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá vai trò và ước lượng tương đối mức độ đóng góp của một số các yếu tố (thủy triều, dao động mùa, dị thường do ENSO, sóng bề mặt và lún tương đối) tham gia vào sự biến động mực nước vùng ven biển Tây ĐBSCL (cụ thể là khu vực phía Nam hòn Đá Bạc/ Cống Kênh Mới/ huyện Trần Văn Thời tỉnh Cà Mau) dựa trên số liệu đo đạc thực tế kết hợp các phương pháp thống kê mô tả và mô hình toán.

## 2. CƠ SỞ DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH

Nguồn số liệu được sử dụng là chuỗi quan trắc mực nước tại các trạm thủy hải văn (bảng 1) thu thập được trong khu vực nghiên cứu (hình 1). Do hạn chế về nguồn dữ liệu trong khu vực việc phân tích tỷ lệ đóng góp của từng yếu tố trong mực nước chỉ tập trung vào số liệu tại trạm thủy văn quốc gia Sông Đốc, thông qua phân tích tính toán các đặc trưng về mốc triều chuẩn (tidal datum) từ chuỗi số liệu từng giờ trong 27 năm (1996÷2022) (~ 1.5 chu kỳ nút – nodal cycle). Các phương pháp phân tích thống kê khác nhau cũng được áp dụng trong nghiên cứu này như kỹ thuật wavelet (Torrence & Compo, 1998) nhằm xác định số lượng và vai trò của các chu kỳ dao động đối với chuỗi thời gian khác

nhau, đồng thời cũng chỉ ra các thời kỳ xuất hiện của các dao động đó. Phương pháp wavelet được áp dụng cho chuỗi trung bình ngày nhằm xác định các chu kỳ dài từ nhiều tháng đến nhiều năm. Sử dụng phân tích phương sai và ANOVA nhằm chỉ ra các năm có biến động khác thường, sử dụng giá trị phương sai cùng với các dao động phát hiện từ phân tích wavelet đối chiếu với các chỉ số khí hậu (ENSO) để xem xét mức độ tương quan của các yếu tố này, từ đó đi đến kết luận các yếu tố gây ra các dao động riêng lẻ và ước lượng tỷ lệ đóng góp của từng yếu tố. Ngoài ra dữ liệu mực nước tại 2 trạm còn lại được sử dụng đối chiếu tốc độ gia tăng mực nước tương đối trong khu vực.



Hình 1: Phạm vi khu vực nghiên cứu

Số liệu mực nước quan trắc sử dụng trong nghiên cứu thường không ghi nhận được các tần số dao động có chu kỳ dưới 1 giờ, khu vực nghiên cứu lại không có các trạm quan trắc sóng dài hạn. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra cho các vùng ven biển trên thế giới, trên nền mực nước tổng hợp vào các thời kỳ cực đoan (triều cường, ảnh hưởng của bão, áp thấp nhiệt đới) ảnh hưởng do sóng có tác động khá lớn do ít bị tiêu tán năng lượng như trong trường hợp mực nước thấp. Sóng bao gồm sóng gió sinh ra trong khu vực và sóng lừng (swell) lan truyền từ nơi khác tới. Khu vực biển Tây ĐBSCL chiều cao sóng leo được tính theo công thức thực nghiệm (Van

der Meer, 2002) từ Hướng dẫn về các công trình thủy lợi của Ủy ban cố vấn kỹ thuật về phòng chống lũ lụt Hà Lan. Việc áp dụng công thức tính toán này cho khu vực biển Tây ĐBSCL thường được các kỹ sư tính toán cho sóng có chiều cao  $H_s \sim 0.5m$ , chu kỳ  $T_p \sim 4s$ . Do thiếu số liệu quan trắc nên rất khó để xác định điều kiện gây ra hiện tượng đê ngăn mặn bị tràn vào hai đợt năm 2019 và 2022 vì vậy ở nghiên cứu này chúng tôi áp dụng mô hình tính sóng phi thủy tĩnh (non-hydrostatic) Xbeach (Quataert et al., 2022) nhằm mô phỏng hiện tượng sóng tràn đê ngăn mặn khu vực Cống Kênh Mới. Mô hình phi thủy tĩnh cho phép sóng được mô phỏng dưới dạng các con

sóng ngắn lan truyền, dựa trên hệ phương trình sóng nước nông không dừng (non-stationary). Mô hình này giải quyết trường sóng theo thang thời gian riêng của từng sóng lẻ và do đó có khả năng mô phỏng được tiên trình phi tuyến của

trường sóng chính xác hơn, mô phỏng tương tác sóng-dòng chảy cũng chính xác hơn so với cách tiếp cận mô hình trung bình pha (phase-resolved model).

**Bảng 1: Thông tin một số trạm quan trắc mực nước khu vực biển Tây đồng bằng sông Cửu Long**

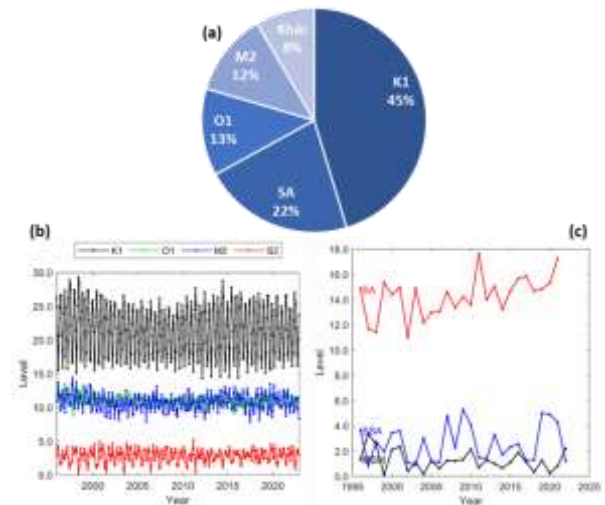
Trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Chuỗi số liệu	Chế độ quan trắc	Ghi chú
Phú Quốc	103°57'25"	10°13'00"	2014 ÷ 2022	24/24	Máy đo tự ghi từ 2013
Thổ Chu	103°29'06"	09°17'07"	2014 ÷ 2022	4 obs/day	Thủ công
Sông Đốc	104°49'50"	09°02'27"	1996 ÷ 2022	24/24	Tự động

### 3. KẾT QUẢ

#### 3.1. Thủy triều

Chuỗi số liệu mực nước từng giờ quan trắc tại trạm thủy văn Sông Đốc giai đoạn 1996-2022 được sử dụng để phân tích điều hòa bằng công cụ Utide (Codiga, 2011). Các mốc thủy triều (tidal datum) được tính từ các hằng số điều hòa của các sóng triều chính theo (Palmer và c.s., 2023), kết quả được trình bày trên Bảng 2. Mực nước do triều thiên văn có giá trị trung bình 60cm với sự đóng góp chiếm ưu thế của sóng K1, chiếm hơn 45% giá trị mực nước thủy triều khu vực này trong khi sóng bán nhật triều M2 chiếm 12%. Đáng kể là sóng hàng năm SA (chu kỳ 365.25 ngày) có đóng góp 22% (Hình 2a). Hình 2b và 2c biểu thị sự biến đổi của các sóng có đóng góp chính vào dao động thủy triều bao gồm 2 sóng nhật triều K1, O1, hai sóng bán nhật triều M2, S2, sóng hàng năm SA, nửa năm SSA, sóng hàng tháng MSM. Kết quả cho thấy sóng K1 và SA có sự dao động vào khoảng lần lượt là 5 và 3cm. Sự biến đổi

này phản ánh dao động thủy triều ở khu vực này bên cạnh sự thay đổi theo mùa.



*Hình 2: Tỷ lệ đóng góp của các sóng triều thành phần (a), 4 sóng nhật triều và bán nhật triều chính (b) và các sóng nửa năm và hàng năm (c) thông qua phân tích điều hòa chuỗi mực nước tại trạm Sông Đốc (1996 ÷ 2022)*

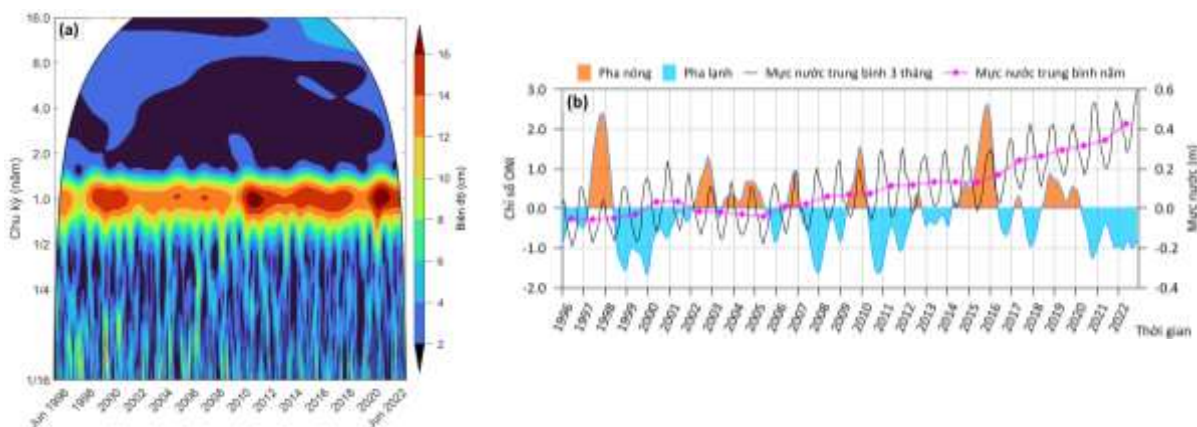
**Bảng 2: Các giá trị mốc thủy triều (tidal datum) tính toán từ số liệu đo đạc tại trạm thủy văn Sông Đốc**

Tidal Datum	Định nghĩa	Giá trị (cm)
MAX Tide	Độ cao tối đa khi thủy triều lên (rising tide)	102.0
MHWS	Mean High Water Springs: Giá trị trung bình của hai đợt nước triều lên liên tiếp trong khoảng thời gian 24h khi biên độ triều ở mức lớn nhất	50.5
MHHW	Mean Higher High Water: Giá trị trung bình của hai đợt nước triều lớn (high tide) liên tiếp trong khoảng thời gian 24h khi biên độ thủy triều ở mức lớn nhất	36.2
MHW	Mean High Water: Giá trị trung bình của tất cả các mực nước lớn trong một khoảng thời gian nhất định (18.6 năm)	27.3
MSL	Mean Sea Level: Độ cao trung bình quan sát được của bề mặt biển cho chuỗi thời gian dài (18.6 năm)	3.6

### 3.2. Dao động dài kỳ

Bên cạnh các dao động có chu kỳ xác định như dao động thủy triều thiên văn gây ra bởi lực hấp dẫn giữa các hành tinh, dao động của mực nước biển còn được ghi nhận các thay đổi từ hàng tháng đến vài năm, có thể có hoặc không có chu kỳ lặp lại, xu hướng tuyến tính hoặc dị thường không liên tục. Biến đổi này gắn liền với các tác động của khí hậu, khí quyển được hình thành từ sự thay đổi của vị trí tương đối của hệ Trái Đất – Mặt Trời. Để hiểu rõ hơn về sự thay đổi của

mực nước tại khu vực biển Tây ĐBSCL, phân tích wavelet được áp dụng, kết quả thể hiện trên hình 3. Kết quả cho thấy tồn tại các dao động dài kỳ từ nhiều tháng đến nhiều năm (hình 3a, b). Dao động mùa với chu kỳ nửa năm có biên độ dao động trung bình vào khoảng 30-40cm với cực tiểu quan trắc vào tháng 6 (trùng với thời gian gió mùa Tây Nam phát triển ở khu vực vịnh Thái Lan), cực đại vào tháng 12, tháng 1 năm sau (thời kỳ gió mùa Đông Bắc hoạt động mạnh).



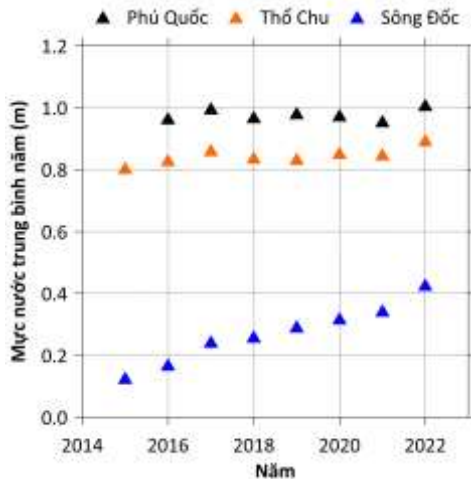
Hình 3: (a) Biến đổi wavelet chuỗi mực nước quan trắc tại trạm Sông Đốc. (b) Biến động chỉ số ONI theo các thời kỳ El Niño (dương) và La Niña (âm), mực nước trung bình năm (màu hồng) và mực nước trung bình 3 tháng (màu đen) tại trạm Sông Đốc. Chỉ số Nino Đại dương (ONI) được lấy từ Trung tâm Dự báo Thời tiết và Khí hậu NOAA. Giá trị El Niño (dương) và La Niña (âm) được xác định theo 3 mức: yếu (0.5-1), trung bình (1-1.5) và mạnh (>1.5)

Một dao động khác cũng được quan trắc thấy ở khu vực biển Tây ĐBSCL là ENSO (Hình 3a, b). Các tác động quy mô khí hậu ENSO (El Niño Southern Oscillation) liên quan tới dao động khí áp giữa 2 bờ phía Đông Thái Bình Dương và phía Tây Thái Bình Dương bao gồm El Niño và La Niña. Giám sát các điều kiện ENSO chủ yếu tập trung vào các dị thường nhiệt độ bề mặt biển của 4 vùng địa lý ở xích đạo Thái Bình Dương. Các dị thường SST bằng hoặc lớn hơn  $0.5^{\circ}$  trong vùng Nino3.4 là dấu hiệu của pha ấm ENSO (El Niño); trường hợp dị thường này nhỏ hơn hoặc bằng  $-0.5^{\circ}$  là dấu hiệu của pha lạnh (La Niña). Các bất thường Nino3.4 SST được tính trung bình trong 3 tháng tính từ tháng hiện tại, và giá trị đó được gọi là chỉ số Nino Đại Dương (ONI). Nếu ONI thể

hiện ở pha ấm hoặc lạnh cho ít nhất năm giá trị liên tiếp, nó được đánh giá cho sự xuất hiện của El Niño hoặc La Niña. Trong trường hợp dị thường này nhỏ hơn  $0.5^{\circ}$  và lớn hơn  $-0.5^{\circ}$  được gọi là pha trung tính (điều kiện khí hậu trung bình). Giai đoạn 1996 ÷ 2005 cho thấy mối tương quan rõ rệt giữa dao động mực nước và tín hiệu ENSO, với chỉ số tương quan  $R^2$  giữa ONI và biên độ mực nước trung bình năm  $\sim 0.8$ . Vào thời kỳ El Niño hoạt động mạnh (Hình 3b, ONI >1.5) mực nước trung bình có xu hướng hạ thấp hơn so với cùng kỳ những năm trước đó, ngược lại thời kỳ La Niña mực nước gia tăng. Kết quả tính toán dị thường độ cao mặt biển (sea surface height anomalies) từ số liệu đo đạc vệ tinh sau khi đã loại bỏ dao động mùa cũng cho thấy hiệu ứng hạ thấp mực

nước biển trung bình vào thời kỳ El Nino và gia tăng mực nước vào thời kỳ La Niña. Sau năm 2008 bên cạnh ENSO còn có 1 tín hiệu khác nổi trội làm cho tương quan với chỉ số ONI giảm đi mặc dù 2016 là năm có El Niño hoạt động mạnh. Những năm tiếp theo khi cường độ El Niño và La Niña tương đối yếu, tín hiệu này vẫn thể hiện rất rõ.

### 3.3. Lún sụt



Hình 4: Tương quan mực nước hàng năm giữa các trạm thủy hải văn ở khu vực Biển Tây trong giai đoạn (2015 ÷ 2022)

Kết quả tính toán mực nước trung bình hàng năm tại trạm Sông Đốc cho thấy giai đoạn từ những năm 2006 trở về sau có sự gia tăng và tốc độ gia tăng mạnh mẽ kể từ sau năm 2015, ước tính 5 cm/năm, lớn hơn rất nhiều so với tốc độ gia tăng mực nước biển (SLR) toàn cầu. Để tìm hiểu rõ hơn nguyên nhân cho sự gia tăng mực nước này, mực nước trung bình hàng năm tại hai trạm hải văn Thổ Chu và Phú Quốc được so sánh với mực nước tại Sông Đốc. 3 trạm mực nước này đều nằm trong khu vực biển phía Tây của ĐBSCL nên sẽ cùng chịu ảnh hưởng chung của sự gia tăng mực nước biển toàn cầu/khu vực nhưng kết quả cho thấy hai trạm Thổ Chu và Phú Quốc không thấy có sự gia tăng mực nước với tốc độ lớn như ở Sông Đốc (Hình 4), điều này cho thấy có thể loại bỏ yếu tố gia tăng mực nước do sự gia tăng mực nước biển toàn cầu hoặc khu vực.

Sự thay đổi mực nước trung bình còn có thể chịu tác động của chuyển động nâng hạ lớp địa chất. Vùng ĐBSCL không phải là nơi có hoạt động kiến tạo đang diễn ra mạnh mẽ, nhưng là một khu vực đang chịu tác động lún sụt do các hoạt động của con người. Để xác định sự thay đổi của quá trình sụt lún này, người ta có thể dùng vệ tinh (phương pháp InSAR). Kết quả nghiên cứu hợp tác BBK, GIZ và Viện Khoa học Địa chất và Tài nguyên Thiên nhiên Liên bang Đức từ dữ liệu của vệ tinh Sentinel 1 giai đoạn 2014 ÷ 2019 cho thấy khu vực ĐBSCL có tốc độ sụt lún trung bình 2 ÷ 4 cm/năm, khu vực Sông Đốc có tốc độ sụt lún vào khoảng 3 ÷ 6 cm/năm (de Wit và c.s., 2021). Năm 2017, lần đầu tiên thiết bị đo đặc sụt lún được thiết lập tại 3 vị trí thuộc tỉnh Cà Mau. Kết quả phân tích đến năm 2019 cho thấy tốc độ lún trung bình tại 3 vị trí này vào khoảng 17 ÷ 44 mm/năm (Karlsruđ và c.s., 2020). Các kết quả tốc độ sụt lún ban đầu này khá tương đồng với kết quả phân tích mực nước phản ánh.

### 3.3. Nước dâng do sóng

Vùng ven biển Tây ĐBSCL được đánh giá là vùng có năng lượng sóng thấp khi so sánh với khu vực phía Đông của ĐBSCL, ít ảnh hưởng trực tiếp của bão và áp thấp nhiệt đới, trước đây được dải rừng ngập mặn che chắn nên hiếm khi chịu các ảnh hưởng cực đoan của thời tiết. Chính vì vậy mà các nghiên cứu về nước dâng do gió, sóng leo chưa được chú trọng ở khu vực này.

Khu vực ven biển Tây ĐBSCL thiếu hụt trạm đo đồng thời yếu tố sóng và gió. Trạm Phú Quốc và Thổ Chu là các trạm cách bờ 115 ÷ 140km và quan trắc theo 4 obs/ngày nên rất khó để xem xét tính đặc trưng dài hạn của sóng và gió cũng như các biến động quy mô ngắn (như ảnh hưởng của bão, áp thấp nhiệt đới ...). Nghiên cứu này chúng tôi sử dụng số liệu từng giờ từ (ECMWF, 2019) cho vị trí cách bờ 5km giai đoạn 1996 ÷ 2022. Kết quả phân tích cho thấy chiều cao sóng trung bình nhiều năm có giá trị <1m và chu kỳ sóng trung bình 3÷4s. Sóng và gió đạt giá trị cao nhất vào các tháng 7, 8 trùng với thời kỳ gió mùa Tây Nam với hướng thịnh hành có hướng vuông góc với bờ, vào thời

kỳ sóng lớn chu kỳ sóng có thể lớn hơn 5s. Số liệu đo đạc ở trạm Phú Quốc đã ghi nhận giá trị lớn nhất về chiều cao sóng từ 2 ÷ 3m. Số liệu đo đạc ngắn hạn cho các trạm ven bờ (cách bờ 2km) (Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam cung cấp) cũng ghi nhận các cơn sóng có chiều cao 1.5m và chu kỳ >9s vào thời kỳ gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh kết hợp với hoàn lưu của áp thấp nhiệt đới ở khu vực biển Đông.

Mô hình mã nguồn mở Xbeach (Quataert và c.s., 2022) được sử dụng mô phỏng quá trình lan truyền của sóng cách bờ 2km qua đê giảm sóng dạng kết cấu rồng cách bờ 200m tiếp tục tương tác với đê ngăn mặn có dạng mái nghiêng cho khu vực Cống Kênh Mới phía Nam của Hòn Đá Bạc. Mô phỏng sử dụng chế độ 2D, phi thủy tĩnh. Đê ngăn mặn được bố trí ở cao trình +2.8 ÷ +3m theo điều kiện thực tế. Mô hình sử dụng lưới curvilinear với 263x501 ô lưới, kích thước lưới trung bình 2.3 ÷ 3.6m. Mô phỏng được thực hiện dưới các kịch bản khác nhau về độ cao sóng, chu kỳ sóng, mực nước triều, vận tốc gió nhằm xác định điều kiện hội tụ đầy đủ cho trường hợp sóng tràn qua đê ngăn mặn (đê có cao trình +2.8 ÷ +3m) đã xảy ra năm 2019, 2022. Kết quả cho thấy chỉ khi mực nước  $\geq +1.6\text{m}$ , vận tốc gió  $\geq 12\text{m/s}$ ,  $H_s \geq 1.5\text{m}$ ,  $T_p \geq 9 \div 11\text{s}$  thì hiện tượng sóng leo mới xảy ra cho đoạn đê ngăn mặn ở khu vực Cống Kênh Mới.

#### 4. THẢO LUẬN

Kết quả phân tích tidal datum cho thấy dao động thủy triều trung bình vào khoảng 65cm, chiếm chưa tới 22% đóng góp vào mực nước lên tới cao trình +3m ở khu vực Cống Kênh Mới. Qua phân tích mực nước trung bình tháng nhiều năm cho thấy dao động mùa khu vực ven biển Tây ĐBSCL có biên độ vào khoảng 35 ÷ 40cm. Quá trình sụt lún đang diễn ra ở ĐBSCL được so sánh từ các nghiên cứu trước đây thông qua đo đạc, và ảnh vệ tinh, và trong nghiên cứu này từ phân tách mực nước cho thấy quá trình sụt lún có thể gây ra sự thay đổi mức cao độ ở khu vực Sông Đốc vào khoảng 40 ÷ 50cm trong khi thay đổi do quá trình biến đổi khí hậu toàn cầu được tính toán vào khoảng 2.5 ÷ 3.5cm (theo tốc độ thay đổi mực nước toàn cầu 1.3mm/năm). Phân tích wavelet mực nước giờ

nhiều năm cho thấy tác động của hiện tượng La Nina có thể làm mực nước tăng thêm 12 ÷ 15cm tùy vào cấp độ hoạt động, trong khi ảnh hưởng của El Nino không gây sự gia tăng mực nước nhưng tác động đến hoàn lưu gió. Tổng hợp tương đối của các yếu tố kể trên có thể tạo ra mực nước thực tế tại khu vực Cống Kênh Mới ở cao trình  $\geq +1.6\text{m}$ . Trên nền mực nước này kết hợp với điều kiện gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh khi vận tốc gió  $\geq 12\text{m/s}$ , sóng có chiều cao  $H_s \geq 1.5\text{m}$ , chu kỳ  $T_p \geq 9 \div 11\text{s}$  có thể gây hiện tượng sóng tràn, làm mực nước vượt cao trình +2.8 ÷ 3m. Thực tế vào tháng 8/2019 và tháng 7/2022 đã xảy ra mực nước tràn ở đoạn đê ngăn mặn khu vực Cống Kênh Mới. Kết quả phân tích cho thấy đóng góp rất lớn của nước dâng do gió và sóng, chiếm tới hơn 46% vào sự gia tăng mực nước ở khu vực này, mặc dù đây là khu vực nước nông, bờ biển khá thoải (độ dốc bãi 1/600) và đã có đê giảm sóng cách bờ 100 ÷ 150m. Sóng ở phía ngoài khơi khi lan truyền vào bờ đã phân tán một phần năng lượng do tương tác với địa hình đáy, khi nước lớn hệ thống đê giảm sóng xa bờ được thiết kế với cao trình +1.6m thường không phát huy hết khả năng của nó, mức độ giảm sóng qua hệ thống đê này vào khoảng 40% năng lượng sóng tới (SIWRR). Kết quả là với sóng 1.5m ở khu vực cách bờ 2km cũng có thể gây sóng tràn qua hệ thống đê ngăn mặn.

#### 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã chỉ ra các tác động và định lượng tương đối các đóng góp từ các yếu tố khác nhau tham gia vào biến đổi mực nước tại khu vực Cống Kênh Mới (huyện Trần Văn Thời, Cà Mau) dựa trên số liệu quan trắc từng giờ. Các dao động có quy mô thời gian khác nhau bao gồm dao động điều hòa của thủy triều thiên văn và các dao động do ảnh hưởng của khí hậu khí quyển với chu kỳ nửa năm (dao động mùa), dao động nhiều năm (ENSO) được làm rõ. Thông qua so sánh tương đối, giá trị sụt lún cũng được định lượng.

Dựa trên các phân tích thống kê và mô hình phi thủy tĩnh mô phỏng quá trình lan truyền sóng, tương tác với công trình gây ra hiện tượng sóng tràn. Kết quả cho thấy trong bối cảnh mực nước

biển toàn cầu đang gia tăng do biến đổi khí hậu với tốc độ chỉ vài mm/năm thì sự biến đổi do quá trình sụt lún với tốc độ lớn hơn rất nhiều lần đang diễn ra ở ĐBSCL nói chung và khu vực ven biển Tây nói riêng. Dải rừng ngập mặn phía trước đê ngăn mặn ở khu vực ven biển Tây ĐBSCL đã gần như biến mất, hệ thống đê giảm sóng được bố trí cách bờ từ 100 ÷ 150m được thiết kế ở cao trình +1.6 ÷ +1.8m khi làm việc ở mực nước xấp xỉ mặt đê (mực nước thực tế ≥ cao trình đỉnh đê) thì khả năng giảm sóng không

còn được đảm bảo, vì thế nguy cơ sóng tràn qua đê ngăn mặn phía trong vẫn có thể xảy ra vào thời điểm gió mùa Tây Nam hoạt động mạnh kết hợp với các hình thế xấu của thời tiết.

Nghiên cứu này chưa xem xét tới ảnh hưởng của bão và sự thay đổi của lưu lượng sông. Tần suất xuất hiện các tổ hợp cực đoan của mực nước và sự gia tăng chiều cao sóng do hệ quả của biến đổi khí hậu cũng chưa được đề cập.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., Fukuda, Y., Pohan, Y. E., & Deguchi, T. (2011). Land subsidence of Jakarta (Indonesia) and its relation with urban development. *Natural Hazards*, 59(3), 1753–1771. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9866-9>
- [2] Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D., Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D., & Unnikrishnan, A. S. (2013). *Sea level change*. <http://drs.nio.org/drs/handle/2264/4605>
- [3] Codiga, D.L., 2011. Unified Tidal Analysis and Prediction Using the UTide MatlabFunctions. Technical Report 2011-01. Graduate School of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI. 59pp. <ftp://www.po.gso.uri.edu/pub/downloads/codiga/pubs/2011Codiga-UTide-Report.pdf>
- [4] Dangendorf, S., Hay, C., Calafat, F. M., Marcos, M., Piecuch, C. G., Berk, K., & Jensen, J. (2019). Persistent acceleration in global sea-level rise since the 1960s. *Nature Climate Change*, 9(9), 705–710. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0531-8>
- [5] de Wit, K., Lexmond, B. R., Stouthamer, E., Neussner, O., Dörr, N., Schenk, A., & Minderhoud, P. S. J. (2021). Identifying Causes of Urban Differential Subsidence in the Vietnamese Mekong Delta by Combining InSAR and Field Observations. *Remote Sensing*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/rs13020189>
- [6] ECMWF. (2019). *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. 2019, updated monthly. ERA5 Reanalysis (0.25 Degree Latitude-Longitude Grid). Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory.* <https://doi.org/10.5065/BH6N-5N20>. Accessed 01 Jan 2024.
- [7] Galloway, D. L., & Burbey, T. J. (2011). Review: Regional land subsidence accompanying groundwater extraction. *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459–1486. <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0775-5>
- [8] Gambolati, G., & Teatini, P. (2015). Geomechanics of subsurface water withdrawal and injection. *Water Resources Research*, 51(6), 3922–3955. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2014WR016841>
- [9] Higgins, S., Overeem, I., Tanaka, A., & Syvitski, J. P. M. (2013). Land subsidence at aquaculture facilities in the Yellow River delta, China. *Geophysical Research Letters*, 40(15), 3898–3902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/grl.50758>
- [10] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Coastal Systems and Low-Lying Areas. Trong I. P. on C. C. (IPCC) (B.t.v), *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability:*

- Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report: Volume 1: Global and Sectoral Aspects* (Vol 1, tr 361–410). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI: 10.1017/CBO9781107415379.010>
- [11] Jelgersma, S. (1996). Land Subsidence in Coastal Lowlands. Trong J. D. Milliman & B. U. Haq (B.t.v), *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences, and Strategies* (tr 47–62). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8719-8_3)
- [12] Karlsrud, K., Tunbridge, L., Khanh, N. Q., & Dinh, N. Q. (2020). Preliminary results of land subsidence monitoring in the Ca Mau Province. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 382, 111–115. <https://doi.org/10.5194/piahs-382-111-2020>
- [13] Le, T. V. H., Nguyen, H. N., Wolanski, E., Tran, T. C., & Haruyama, S. (2007). The combined impact on the flooding in Vietnam's Mekong River delta of local man-made structures, sea level rise, and dams upstream in the river catchment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(1), 110–116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.08.021>
- [14] Minderhoud, P. S. J., Erkens, G., Pham, V. H., Bui, V. T., Erban, L., Kooi, H., & Stouthamer, E. (2017). Impacts of 25 years of groundwater extraction on subsidence in the Mekong delta, Vietnam. *Environmental Research Letters*, 12(6), 064006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7146>
- [15] Nguyen, T. C., Schwarzer, K., & Ricklefs, K. (2023). Water-level changes and subsidence rates along the Saigon-Dong Nai River Estuary and the East Sea coastline of the Mekong Delta. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2023.108259>
- [16] Palmer, K., Watson, C. S., Hunter, J. R., Hague, B. S., & Power, H. E. (2023). An improved method for computing tidal datums. *Coastal Engineering*, 184, 104354. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2023.104354>
- [17] Peltier, W. R. (1998). Postglacial variations in the level of the sea: Implications for climate dynamics and solid-Earth geophysics. *Reviews of Geophysics*, 36(4), 603–689. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/98RG02638>
- [18] Phan, H. M., Reniers, A., Ye, T., & Stive, M. (2017). *Response in the mekong deltaic coasta to its changing sediment sources and sinks*. APA.
- [19] Phien-wej, N., Giao, P. H., & Nutalaya, P. (2006). Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Engineering Geology*, 82(4), 187–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.10.004>
- [20] Quataert, E., de Bakker, A., de Ridder, M., de Goede, R., de Vet, L., & van der Lugt, M. (2022). XBeach Documentation. *Release BOI-Phase3-5956*.
- [21] Saito, Y., Chaimanee, N., Thanawat, J., & Syvitski, J. (2007). Shrinking Megadeltas in Asia: Sea-level Rise and Sediment Reduction Impacts from Case Study of the Chao Phraya Delta. *LOICZ Inprint*, 2007, 3–9.
- [22] Suphat, V. (2009). Tropical cyclone disasters in the Gulf of Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 31, 213–227. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:127044653>
- [23] Teatini, P., Ferronato, M., Gambolati, G., & Gonella, M. (2006). Groundwater pumping and land subsidence in the Emilia-Romagna coastland, Italy: Modeling the past occurrence and the future trend. *Water Resources Research*, 42(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2005WR004242>
- [24] Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61–78. [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)
- [25] Van der Meer, J. W. (2002). *Technical report wave run-up and wave overtopping at dikes*.
- [26] Vu, T. T. T. (2003). *Storm surge modelling for Vietnam's coast*.
- [27] Wolanski, E., & Nhan, N. H. (2005). *Oceanography of the Mekong River estuary*.