TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Bài báo khoa học

Ứng dụng phần mềm UTIDE dự báo mực nước triều ở khu vực ven Nam Bộ

Nguyễn Văn Tín[1*], Trần Thị Ngọc Diệu[1], Bùi Kiến Quốc[1], Nguyễn Kỳ Phùng[2]

[1] Khoa Quản lý Tài nguyên Biển và Hải đảo, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TPHCM; nvtin@hcmunre.edu.vn; dieutran1731@gmail.com; kienquoc24092000@gmail.com;
[2] Viện Khoa học và Công nghệ Tính toán; kyphungng@gmail.com

*Tác giả liên hệ: nvtin@hcmunre.edu.vn; Tel: +84–909537565

Ban Biên tập nhận bài: 01/11/2021; Ngày phản biện xong: 20/12/2021; Ngày đăng bài: 25/2/2022

Tóm tắt: Trong những năm gần đây do ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu (BĐKH) và nước biển dâng (NBD) làm cho xu thế biến đổi mực nước tại các trạm ven biển có xu hướng gia tăng nhanh. Bài báo này nhằm mục đích đánh giá xu thế biến đổi mực nước triều và ứng dụng phần mềm Utide tính toán, dự báo thủy triều tại các trạm đo mực nước ven biển khu Nam Bộ. UTide là chương trình phân tích và dự báo thủy triều bằng phương pháp phân tích điều hòa, điểm nổi bật của UTide so với các mô hình dự báo mực nước triều khác là nổi trội về khả năng phân tích chuỗi số liệu nhiều năm, số liệu bị lỗi, thiếu. Nghiên cứu này tập trung phân tích hằng số triều tại các trạm Vũng Tàu, Vàm Kênh, An Thuận, Gành Hào, Sông Đốc, Rạch Giá dựa trên số liệu mực nước giờ thực đo từ năm 2010 đến 2019, UTide đã phân tích được 68 phân triều và số phân triều này được sử dụng để dự tính mực nước triều. Kết quả kiểm định mực nước triều năm 2020 cho thấy dao động mực nước tính toán phù hợp với dao động mực nước thực đo với hệ số tương quan tại các trạm: Vũng Tàu: là 0,964, Vàm Kênh; 0,97, An Thuận; 0,97, Gành Hào; 0,959, Sông Đốc; 0,85, Rạch Giá; 0,79. Vì vậy, Utide có thể dùng để dự báo mực nước các trạm chịu ảnh hưởng triều cho khu vực Nam Bộ.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; Xu thế; Utide; Nước biển dâng.

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh loài người đang phải đối mặt và nỗ lực ứng phó với những tác động khôn lường của biến đổi khí hậu, thì biển và đại dương một lần nữa lại chứng tỏ vai trò quan trọng toàn cầu của nó. Hiện nay, đại dương và biển có khả năng thu và lưu giữ được 30% lượng CO_2 thừa trong nhóm khí nhà kính từ bầu khí quyển của Trái đất và nếu làm cho đại dương lành mạnh hơn thì khả năng này tiếp tục tăng lên. Tuy nhiên biển luôn tìm ẩn nguy cơ gây nên những thảm họa thiên tai nguy hiểm: Bão, nước dâng do bão, sóng lớn. Theo kịch bản BĐKH cho Việt Nam năm 2016 [1], tính trung bình cho toàn dải ven biển Việt Nam, mực nước biển tăng khoảng 3,50±0,7 mm/năm. Khu vực ven biển Trung Bộ tăng mạnh nhất với tốc độ tăng khoảng trên 4 mm/năm, trong đó lớn nhất tại khu vực ven biển Nam Trung Bộ với tốc độ tăng đến trên 5,6 mm/năm; khu vực ven biển vịnh Bắc Bộ có mức tăng thấp hơn, khoảng 2,5 mm/năm. Kết quả tính toán cho thấy, ngoại trừ trạm Cồn Cỏ và trạm Quy Nhơn có xu thế không rõ ràng, không thỏa mãn tiêu chuẩn kiểm nghiệm, số liệu tại hầu hết các trạm đều thỏa mãn tiêu chuẩn. Tại hầu hết các trạm, mực nước biển có xu thế tăng, với

tốc độ mạnh nhất vào khoảng 5,58 mm/năm tại Phú Quý và 5,28 mm tại Thổ Chu. Tính trung bình, mực nước tại các trạm hải văn của Việt Nam có xu hướng tăng rõ rệt với mức tăng khoảng 2,45 mm/năm. Nếu tính trong thời kỳ 1993–2014, mực nước biển trung bình tại các trạm hải văn đều có xu thế tăng với mức độ tăng trung bình khoảng 3,34 mm/năm. Với xu thế tăng của NBD cùng với hiện tượng triều mạnh sẽ gây tác động mạnh đến khu vực ven biển. Hiện tượng thủy triều trong các biển và các vùng ven biển ảnh hưởng rất lớn tới đời sống, sinh hoạt và kinh tế của con người. Do tác động của các lực tạo triều có tính chất tuần hoàn mà trong biển và đại dương hình thành chế độ chuyển động tuần hoàn của nước gọi là hiện tượng thủy triều [2–3]. Việc nắm bắt quy luật thủy triều trong các vùng biển và ven biển là nhất thiết nhằm phục vụ cho đời sống sinh hoạt và phát triển kinh tế.

Việc nghiên cứu và dự báo thủy triều trên thế giới được thực hiện từ sớm [4] đã phân tích và dự báo thủy triều ở vùng nước nông bằng phương pháp bình phương tối thiểu để xác định hằng số điều hòa thủy triều. Đây cũng là phương pháp dự báo thủy triều thường được sử dụng trong thời gian trước đây, độ chính xác của phương pháp bình phương tối thiểu hoàn toàn phụ thuộc vào chuỗi số liệu quan trắc mực nước phân tích, điều này tương đối dễ dàng với các trạm hải văn có chuỗi số liệu quan trắc đủ dài để phản ảnh đầy đủ chu kỳ thiên văn, nhưng lại rất khó khăn cho những khu vực không có số liệu hoặc chuỗi số liệu ngắn. Năm 1972, [5] đưa ra lý thuyết phân tích điều hòa, sau đó [6–7] mở rộng trình ứng dụng bởi với sự hỗ trợ của chương trình Fortran vào năm 1977 và 1978. Năm 2002, [8] đã ứng dụng phương pháp phân tích điều hòa xây dựng và tích hợp vào một số chương trình như T_tide và r_T_tide [9]. Đến năm 2011, [10] đã phân tích và dự báo thủy triều sử dụng Utide được phát triển từ phần mềm Utide. [11] nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích Harmonic là một thuật toán phân chia dữ liệu thành một số hữu hạn các thành phần điều hòa, sử dụng hộp công cụ dựa trên MATLAB để phân tích được năng lượng thủy triều từ các tuabin thủy triều.

Trong tư vấn, thiết kế các công trình xây dựng liên quan đến vùng ảnh hưởng triều như hệ thống giao thông thuỷ, các cảng, cơ sở hạ tầng ở vùng biển và ven sông đòi hỏi việc nghiên cứu kỹ về mực nước thuỷ triều nhằm đảm bảo độ an toàn và tính bền vững, tránh trường hợp lãng phí khi sau một thời gian ngắn sử dụng đã phải tu sửa và nâng cấp [12]. Năm 2000, [13] đã ứng dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất vào phân tích thủy triều và dòng triều. Đến năm 2009, [14] nghiên cứu sơ đồ chi tiết phân tích điều hòa thủy triều. [15] đã sử dụng Mike 21 tính toán thủy triều vùng ven biển Ninh Thuận trong nghiên cứu "Nghiên cứu mô hình tính toán thủy triều vùng ven biển Ninh Thuận".

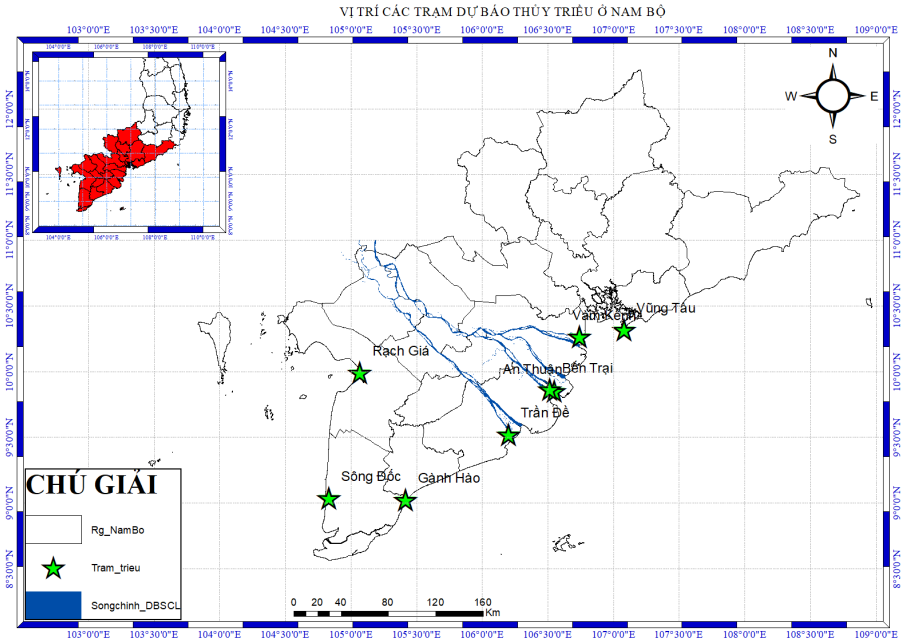
Hiện tượng thủy triều đã được nghiên cứu từ rất sớm, nó được dự báo khá chính xác ở ngoài vùng biển nước sâu, tuy nhiên khi vào vùng ven bờ thì việc dự báo thủy triều bắt đầu có những khó khăn nhất định. Tại vùng biển Nam Bộ nơi có chế độ bán nhật triều không đều ở biển Đông và nhật triều không đều ở biển tây, tại đây hàng năm thường xuất hiện các đợt triều cường lớn [16] xuất hiện vào các tháng 10–12 gây ngập lụt nghiêm trọng ảnh hưởng đến đời sống của người dân ven biển Nam Bộ do vậy việc dự báo trước thủy triều là rất cần thiết để ứng phó với triều cường ở khu vực Nam Bộ. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đánh giá xu thế biến đổi của mực nước tại Vũng Tàu, Vàm Kênh, Rạch Giá từ 1980–2019 và sử dụng phần mềm UTide để phân tích dao động và dự báo mực nước một số trạm phía khu vực Nam bộ như: trạm hải văn Vũng Tàu, trạm thủy văn Vàm Kênh, Trần Đề, An Thuận, Gành Hào, Sông Đốc và Rạch Giá bằng phương pháp phân tích điều hòa. Kết quả dự báo sớm mực nước triều là tài liệu tham khảo cho các cơ quan quản lý liên quan ứng phó với hiện tượng thủy triều dâng cao, từ đó góp phần giảm thiểu tác động của thủy triều đến đời sống người dân khu vực ven biển ở Nam Bộ.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu và khu vực nghiên cứu

Số liệu sử dụng trong nghiên cứu là số liệu mực nước đặc trưng (trung bình, max, min) tại các trạm Vũng Tàu, Vàm Kênh, Rạch Giá từ 1980–2019, và dữ liệu mực nước giờ từ năm

2010–2019 tại 8 trạm đo mực nước ven biển như: Vũng Tàu, Vàm Kênh, Bến Trại, An Thuận, Trần Đề, Gành Hào, Sông Đốc, Rạch Giá dùng để tính toán hằng số triều là cơ sở dự báo mực nước thủy triều. Vị trí các trạm thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Vị trí các trạm đo mực nước dùng để dự báo thủy triều.

Vị trí địa lý khu vực Nam Bộ: Phía tây giáp Vịnh Thái Lan, phía đông và Đông Nam giáp biển Đông, phía bắc và Tây Bắc giáp Campuchia và phía đông bắc giáp với Duyên Hải Nam Trung Bộ và Tây Nguyên (miền Trung, Trung Bộ). Địa hình trên toàn vùng Nam Bộ khá bằng phẳng, Đông Nam Bộ có độ cao từ 0–986 m. Tây Nam Bộ có độ cao trung bình khá thấp gần 2 m, chủ yếu là miền đất của phù sa mới. Có một số núi thấp ở khu vực miền tây tỉnh An Giang, miền Tây tỉnh Kiên Giang và Campuchia.

Chế độ thủy triều: Tại Nam Bộ từ Bà Rịa–Vũng Tàu đến gần mũi Cà Mau: có chế độ bán nhật triều không đều. Độ lớn khoảng 3,5–2,0 m, từ mũi Cà Mau đến Hà Tiên: nhật triều không đều với độ lớn triều khoảng trên dưới 1 m.

Đối với khu vực ven biển Nam Bộ, hiện tượng ngập khi triều cường thường xuyên xảy ra vào một số ngày của các tháng cuối và đầu của năm (từ tháng 10 năm trước đến tháng 2 năm sau). Đây là thời gian tập trung nhiều nhân tố kết hợp như biên độ thủy triều lớn, gió mùa mạnh và có thể có hoạt động của bão, áp thấp nhiệt đới nên gây ra triều cường kết hợp nước biển dâng cao. Những năm gần đây, nhiều kỷ lục về độ cao mực nước bị phá vỡ. Đợt triều cường vào cuối tháng 9 đầu tháng 10/2019 với mực nước quan trắc được tại trạm Phú An trên sông Sài Gòn (1,77 m năm 2019 so với 1,44 m năm 1999).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Kiểm nghiệm phi tham số Mann–Kendall (M–K test)

Phương pháp kiểm nghiệm Mann–Kendall là phương pháp được áp dụng rộng rãi trên thế giới. Tại Việt Nam đã có một số tác giả sử dụng phương pháp này [17] đã dùng "Kiểm nghiệm phi tham số xu thế biến đổi của một số yếu tố khí tượng giai đoạn 1961–2007"; [18] đã "Đánh giá xu thế biến đổi của lượng mưa thời đoạn lớn nhất ở Tp. Hồ Chí Minh giai đoạn 1971–2016 bằng kiểm định phi tham số Mann–Kendall". Kiểm nghiệm Mann–Kendall so sánh độ lớn tương đối của các phần tử trong chuỗi dữ liệu, điều này có thể tránh được các giá trị cực đại hoặc cực tiểu cục bộ của chuỗi số liệu. Nếu giả thiết rằng có một dữ liệu theo chuỗi trình tự thời gian (x_1, x_2, … x_n) với x_i biểu diễn số liệu tại thời điểm i tại mỗi một thời điểm thì mỗi giá trị dữ liệu tại mỗi thời điểm được so sánh với các giá trị trên toàn chuỗi

thời gian. Giá trị ban đầu của thống kê Mann–Kendall, S là 0 (nghĩa là không có xu thế). Nếu một dữ liệu ở một thời điểm sau lớn hơn giá trị của dữ liệu ở một thời điểm nào đó trước đấy, S được tăng thêm 1; và ngược lại. Xét chuỗi $x_1, x_2, \ldots, x_n$ biểu diễn n điểm dữ liệu trong đó x_j là giá trị dữ liệu tại thời điểm j. Khi đó chỉ số thống kê Mann–Kendall được tính bởi.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \text{sign}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Trong đó:

$$sign(x_i - x_j) \begin{cases} 1\ khi\ x_i - x_j > 0 \\ 0\ khi\ x_i - x_j = 0 \\ -1\ khi\ x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Giá trị S > 0 chỉ xu thế tăng, S <0 chỉ xu thế giảm.

Phương pháp xu thế Sen (Sen's slope)

Để xác định độ lớn của xu thế chuỗi Q (độ dốc đường xu thế) ta dùng ước lượng Sen

Q là median của chuỗi n(n–1)/2 phần tử

$$Q = median\left\{\frac{x_j - x_i}{j-i}\right\} \text{ với } i=1,2,\ldots..n-1;\ j > i \quad (3)$$

Q > 0 chuối có xu thế tăng và ngược lại.

2.2.2. Phương pháp dự báo thủy triều

Hệ phương trình cơ bản:

Bước đầu phân tích triều thực sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu cho các sóng thành phần nhằm tìm ra các hằng số điều hòa (pha và biên độ) phù hợp của chúng.

Biểu thức độ cao thủy triều (y_i) bằng phương pháp phân tích triều điều hòa được viết lại như sau:

$$y_i = C_0 + \sum_{j=1}^{M} A_j \cos[2\pi(\sigma_j t_i - \emptyset_j)] = C_0 + \sum_{j=1}^{M} [C_j \cos(2\pi\sigma_j t_i) + S_j \sin(2\pi\sigma_j t_i)] \quad (4)$$

Trong đó t_i là thời gian chuỗi quan trắc; M là số sóng cần phân tích; σ_j là tần số góc của sóng; C_0 là nực nước trung bình; $A_j = (C_{j2}+S_{j2})1/2$ là biên độ triều; $\emptyset_j = (1/2\pi).(\arctan S_j/C_j)$ là pha sóng.

Trong N số mực nước từng giờ, tổng sai số bình phương của mực nước quan trắc và mực nước phân tích được tính như sau:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{N} [y_i - C_0 - \sum_{j=1}^{M} (C_j \cos 2\pi\sigma_j t_i + S_j \sin 2\pi\sigma_j t_i)]^2 \quad (5)$$

Đạo hàm phương trình trên theo C_0, C_j, S_j (j=1, M). Ta có 2M+1 phương trình có dạng như sau:

$$0 = \frac{\partial\varepsilon}{\partial C_0} = 2\sum_{i=1}^{N} (y_i - C_0 - \sum_{j=1}^{M} C_j cos 2\pi\sigma_j t_i + \sum_{j=1}^{M} S_j \sin 2\pi\sigma_j t_i)(-1) \quad (6)$$

$$0 = \frac{\partial\varepsilon}{\partial C_j} = 2\sum_{i=1}^{N} (y_i - C_0 - \sum_{j=1}^{M} C_j \cos 2\pi\sigma_j t_i + \sum_{j=1}^{M} S_j \sin 2\pi\sigma_j t_i)(-\cos 2\pi\sigma_j t_i) \quad (7)$$

$$0 = \frac{\partial\varepsilon}{\partial S_j} = 2\sum_{i=1}^{N} (y_i - C_0 - \sum_{j=1}^{M} C_j cos 2\pi\sigma_j t_i + \sum_{j=1}^{M} S_j \sin 2\pi\sigma_j t_i)(-\sin 2\pi\sigma_j t_i) \quad (8)$$

Thiết lập được một ma trận để giải hệ phương trình như sau:

$$\begin{pmatrix} N & C_1 & C_2 & \ldots & C_M & S_1 & S_2 & \ldots & S_M \\ C_1 & CC_{11} & C_{12} & \ldots & CC_{1M} & CS_{11} & CS_{12} & \ldots & CS_{1M} \\ C_2 & CC_{21} & CC_{22} & \ldots & CC_{2M} & CS_{21} & CS_{22} & \ldots & CS_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \\ C_M & CC_{M_1} & CC_{M_2} & \ldots & CC_{MM} & CS_{M_1} & CS_{M_2} & \ldots & CS_{MM} \\ S_1 & SC_{11} & SC_{12} & \ldots & SC_{1M} & SS_{11} & SS_{12} & \ldots & SS_{1M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \\ S_M & SC_{M_1} & SC_{M_2} & \ldots & SC_{MM} & SS_{M_1} & SS_{M_2} & \ldots & SS_{MM} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_M \\ S_1 \\ \vdots \\ S_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{N} y_i \\ \sum_{i=1}^{N} y_i \cos 2\pi\sigma_1 t_i \\ \sum_{i=1}^{N} y_i \cos 2\pi\sigma_2 t_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{N} y_i \cos 2\pi\sigma_M t_i \\ \sum_{i=1}^{N} y_i \sin 2\pi\sigma_1 t_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{N} y_i \sin 2\pi\sigma_M t_i \end{pmatrix} \quad (9)$$

Giải phương trình ma trận trên ta sẽ xác định được các hằng số điều hòa (bao gồm biên độ triều và pha dao động) cần phân tích. Khi đã có được biên độ và pha dao động của từng sóng triều thành phần, ta thế vào phương trình (4) để tính toán và dự báo dao động mực nước theo thời gian bất kỳ.

Phần mềm phân tích và dự báo mực nước triều Utide

Sự phát triển của phân tích triều điều hòa được phát triển bởi sự cần thiết để thực thi các phân tích thủy triều trên một chuỗi nhiều năm của các quan trắc đã được thu thập hiện tại trong những khoảng thời gian không đều [10].

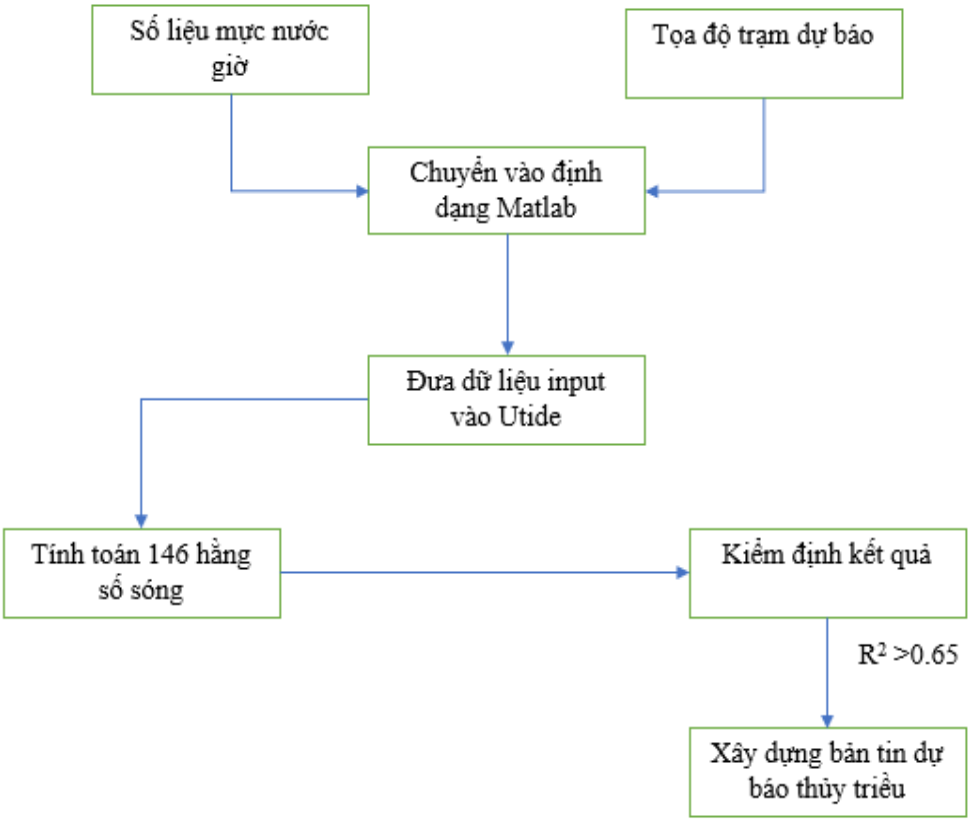
Phần mềm UTide bao gồm 3 hàm:

ut_solv.m (để phân tích điều hòa cho dòng chảy triều và mực nước);

ut_reconstr.m (sử dụng kết quả phân tích để dự báo dòng chảy triều và mực nước);

ut_constants.mat chứa các hằng số tính bao gồm 146 sóng triều thành phần.

Phần mềm Utide được chạy trên nền Matlab.



Hình 2. Sơ đồ thực hiện dự báo thủy triều bằng U Tide.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xu thế biến đổi mực nước triều tại Nam Bộ

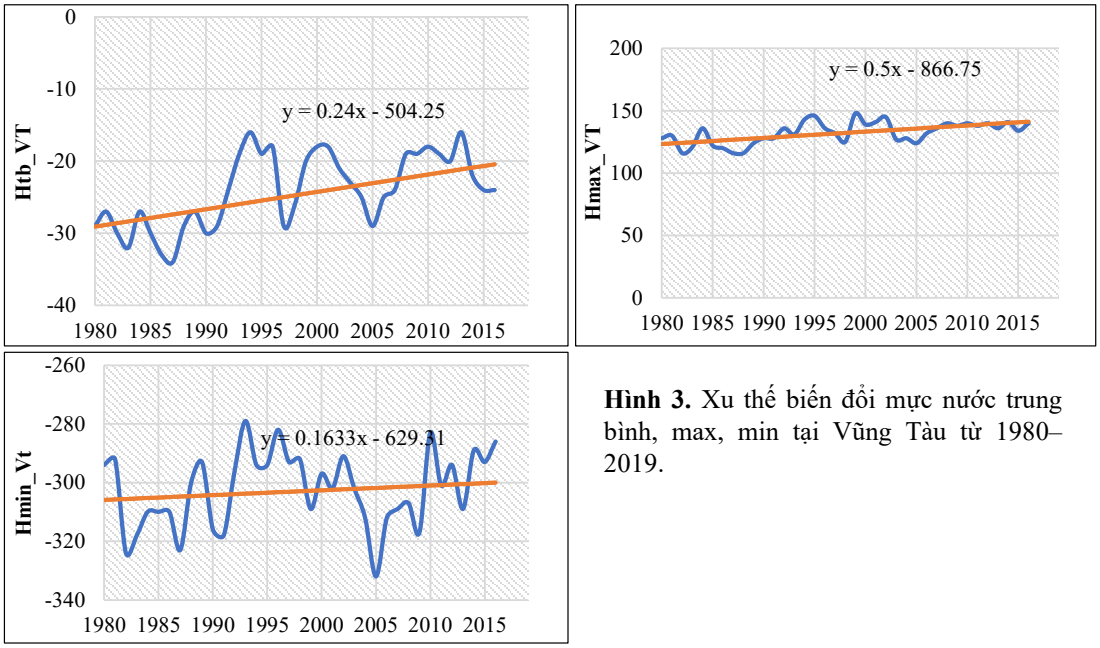
BĐKH đang là thách thức chung của nhân loại, trong đó biểu hiện cua3 BĐKH là sự gia tăng của nhiệt độ, lượng mưa, các hiện tượng thời tiết cực đoan và mực NBD, để đánh giá xu thế biến đổi của mực nước ở Nam Bộ bài báo sử dụng số liệu mực nước trung bình, max, min tại Vũng Tàu, Vàm Kênh, Rạch Giá từ 1980–2019.

Để đánh giá xu thế biến đổi mực nước đặc trưng năm, nghiên cứu này sử dụng phương pháp kiểm định Mann–Kendall và xu thế Sen. Kiểm định Mann–Kendall được sử dụng với mức ý nghĩa thống kê là $\propto = 0{,}1$ (xác suất phạm sai lầm loại I không quá 10%). Các trạm nào M–K test thỏa mãn mức ý nghĩa thống kê nghĩa là đường xu thế đảm bảo mức độ tin cậy. Kết quả kiểm định được thể hiện ở Bảng 1. Tại bảng này cho thấy xu thế biến đổi của lượng mưa năm có xu thế tăng (trị số M–K > 0) ở tất cả các trạm và thỏa mãn ý nghĩa thống kê ($\propto$ <0,1), như vậy có thể khẳng định BĐKH làm cho mực nước trung bình, max, min ở Vũng Tàu, Vàm Kênh và Rạch Giá có xu thế tăng.

Bảng 1. Kết quả kiểm định M–K xu thế biến đổi của mực nước ở Nam Bộ.

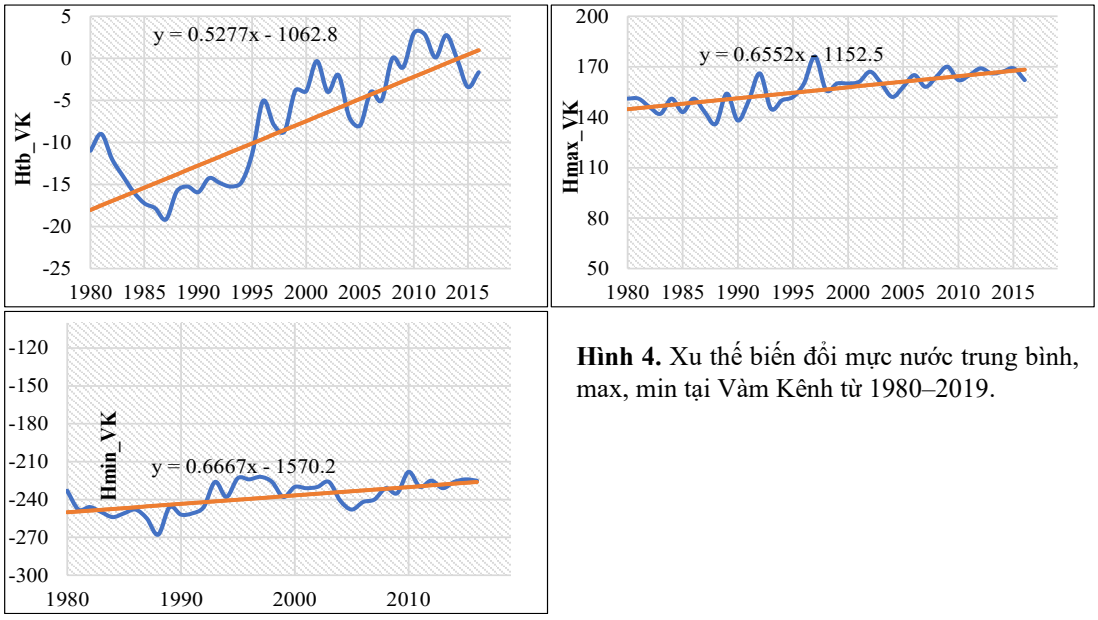
	Htb_VT	Hmax_VT	Hmin_VT	Htb_VK	Hmax_VK	Hmin_VK	Htb_RG	Hmax_RG	Min_RG
N	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Min	–34	116	–332	–19	136	–268	–8	70	–72
Max	–16	148	–279	4	176	–218	17	120	–30
Mean	–23.93	133.2	–302.3	–7.125	157.7	–236.4	3.025	87.78	–57.2
Median	–24	136	–301	–6	160	–232	3	88	–59.5
SD	5.071	8.862	12.36	6.988	10.12	11.94	7.141	10.68	10.72
M–K	300	347	103	512	473	340	557	88	617
Var(S)	85.36	85.53	85.68	85.55	85.64	85.61	85.69	85.67	85.71
Z	1.426	0.5	0.453	0.501	1.037	–0.107	–0.198	–1.188	–0.198
∝	2E–04	3E–05	1E–01	1E–09	2E–08	4E–05	4E–11	2E–01	3E–13
Sen's	0.25	0.5	0.25	0.527	0.655	0.667	0.55	0.14	0.77

VT: Vũng Tàu, VK: Vàm Kênh, RG: Rạch Giá



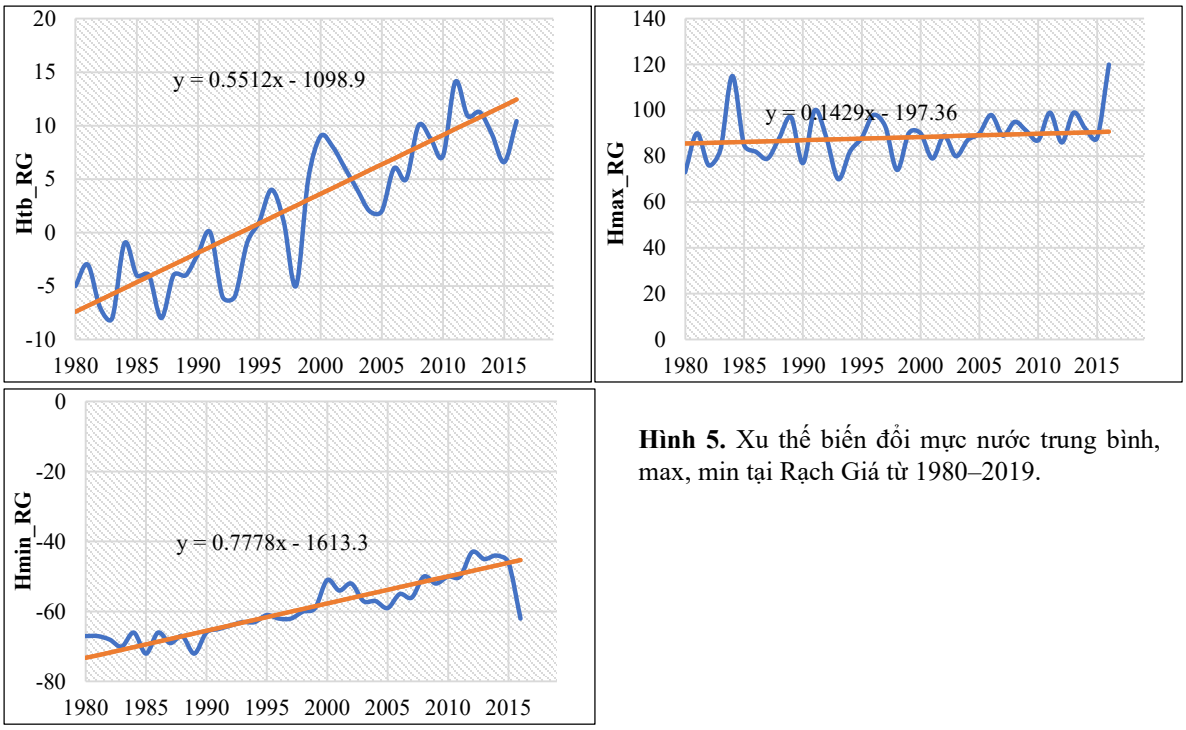
Hình 3. Xu thế biến đổi mực nước trung bình, max, min tại Vũng Tàu từ 1980–2019.

Hình 3 thể hiện xu thế biến đổi của mực nước trung bình, max, min tại trạm Vũng Tàu, kết quả cho thấy cả mực nước trung bình, max, min đều có xu thế tăng, trong đó mực nước max có xu thế tăng nhanh nhất với tốc độ 0,5 cm/năm, tiếp đến là mực nước trung bình tăng 0,25 cm/năm và cực tiểu tăng 0,163 cm/năm. Xu thế tăng của mực nước biển tại Vũng Tàu phù hợp với xu thế của mực nước trên biển Đông [1].



Hình 4. Xu thế biến đổi mực nước trung bình, max, min tại Vàm Kênh từ 1980–2019.

Hình 4 thể hiện xu thế biến đổi của mực nước trung bình, max, min tại trạm Vàm Kênh, giống với trạm Vũng Tàu kết quả cho thấy cả mực nước trung bình, max, min đều có xu thế tăng, tuy nhiên có thể thấy tốc độ xu thế tại trạm Vàm Kênh tăng nhanh hơn so với trạm Vũng Tàu, trong đó mực nước cực đại và cực tiểu có xu thế tăng nhanh hơn so với mực nước trung bình với tốc độ tương ứng là: 0,66 cm/năm, 0,65 cm/năm và 0,52 cm/năm.



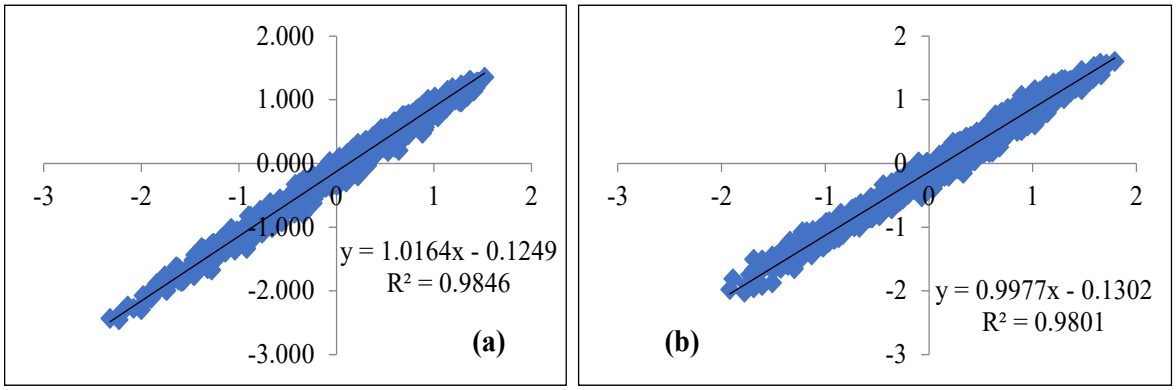
Hình 5. Xu thế biến đổi mực nước trung bình, max, min tại Rạch Giá từ 1980–2019.

Hình 5 thể hiện xu thế biến đổi của mực nước trung bình, max, min tại trạm Rạch Giá, giống với trạm Vũng Tàu và Vàm Kênh, mực nước trung bình, max, min đều có xu thế tăng, tốc độ tăng nhanh nhất là mực nước cực tiểu với tốc độ 0,77 cm/năm, mực nước trung bình tăng 0,55 cm/năm và cực tiểu tăng 0,14 cm/năm.

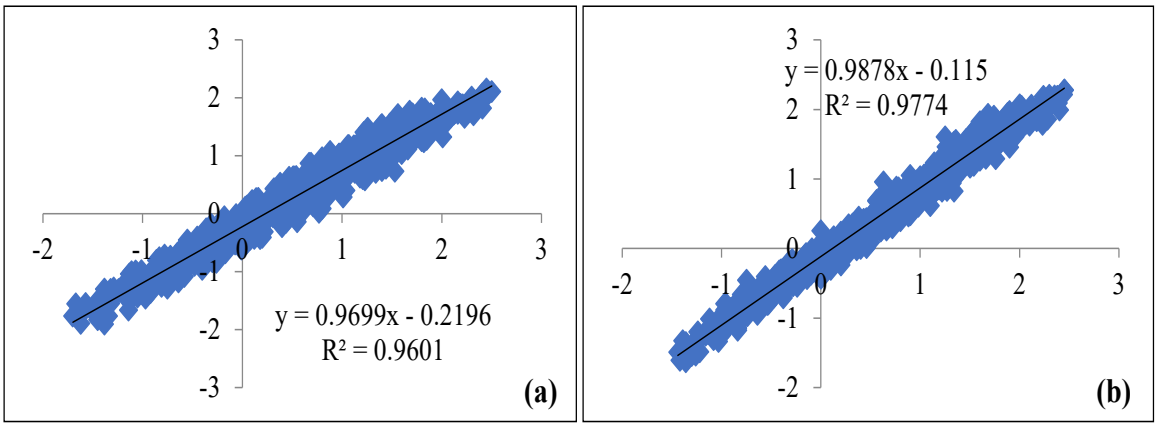
3.2. Ứng dụng Utide dự báo mực nước triều tại Nam Bộ

3.2.1. Kiểm định sai số giữa mô phỏng và thực đo

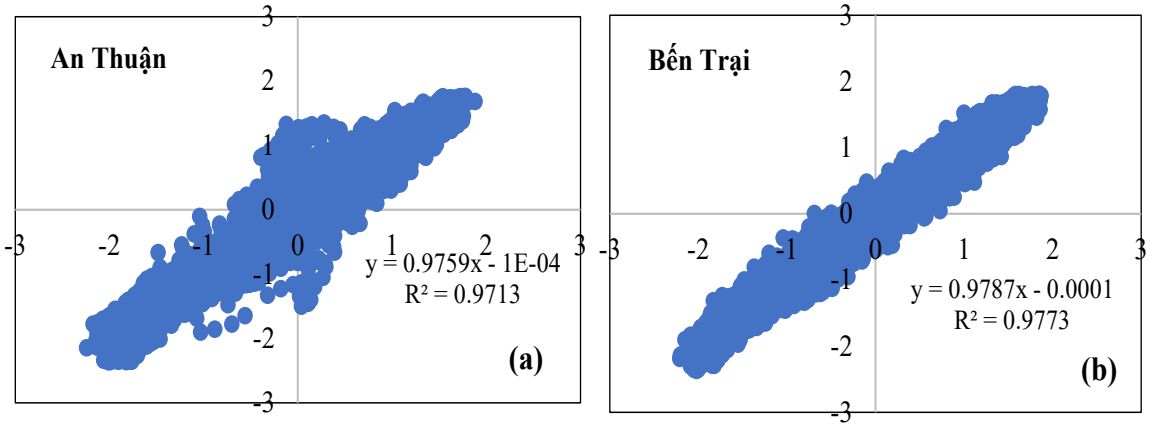
Số liệu ở nghiên cứu này là chuỗi số liệu quan trắc mực nước từng giờ năm 2010 đến năm 2019 tại các trạm Vũng Tàu, Vàm Kênh, Trần Đề, An Thuận, Gành Hào, Sông Đốc và Rạch Giá để phân tích cho ra các hằng số điều hòa sử dụng làm đầu vào để mô phỏng và dự báo. Trước khi dự báo, nghiên cứu tiến hành mô phỏng trong quá khứ và so sánh với số liệu thực đo để xác định tương quan giữa dự báo và thực đo, nếu giá trị tương quan cao (R^2 > 0,65) thì có thể dùng mô hình để dự báo mực nước cho tương lai.



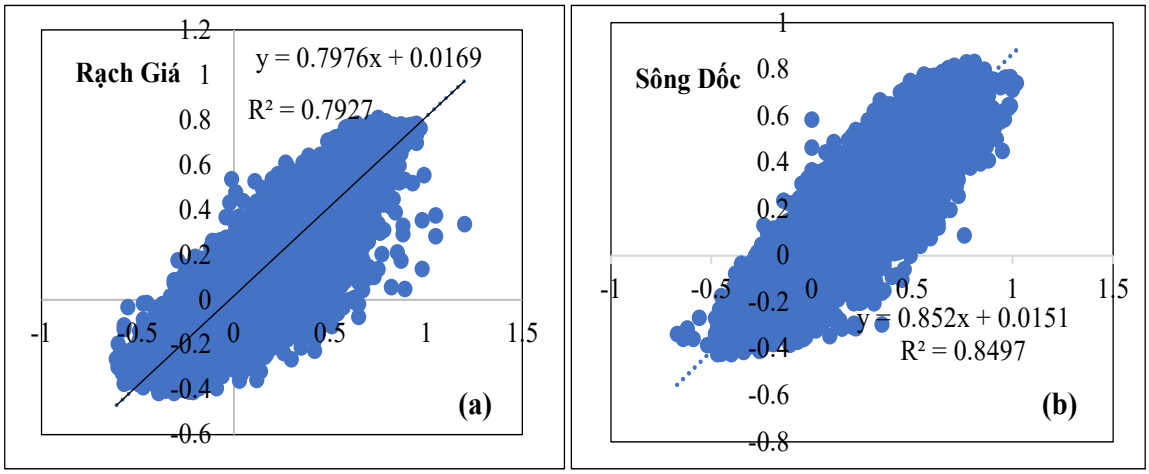
Hình 6. Kiểm định mực nước trạm Vũng Tàu (a) và Vàm Kênh (b).



Hình 7. Kiểm định mực nước trạm Gành Hào (a) và Trần Đề (b).



Hình 8. Kiểm định mực nước trạm An Thuận (a) và Bến Trại (b).



Hình 9. Kiểm định mực nước trạm Rạch Giá (a) và Sông Đốc (b).

Hình 6–9 thể hiện tương quan giữa mô phỏng và thực đo tại các trạm tính toán ở Nam Bộ, kết quả cho thấy các trạm Vũng Tàu, Vàm Kênh, Gành Hào, Trần Đề có hệ số tương quan R2 từ 0,97–0,99, các trạm Rạch Giá và Sông Đốc có R^2 từ 0,79–0,85 (đây là hai trạm thuộc khu vực biển Tây có chế độ nhật triều không đều). Bảng 2 đánh giá sai số biên độ và sai số pha với một số hằng số sóng chính tại trạm Vàm Kênh, kết quả cho thấy sai số biên độ khá thấp chỉ khoảng 0,015 m và sai số pha 3,687 độ như vậy mức độ dự báo tại các trạm này có độ chính xác cao và sai số biên độ triều và sai số pha thấp thấp và có thể dùng các tham số sóng này để dựng dự báo mực nước triều trong tương lai.

Bảng 2. Đánh giá sai số biên độ và pha tại Vàm Kênh với các hằng số sóng chính.

STT	Hằng số Sóng	Biên độ (m)	Sai số biên độ (m)	Pha (độ)	Sai số pha (độ)
1	'M2'	0,787	0,00184	57,4	0,125
2	'K1'	0,566	0,00107	322	0,107
3	'O1'	0,406	0,00101	272	0,139
4	'S2'	0,299	0,00149	102	0,319
5	'SA'	0,250	0,00531	357	1,00
6	'P1'	0,173	0,00112	319	0,353
7	'N2'	0,154	0,00156	34,6	0,554
8	'K2'	0,106	0,00159	109	1,09
	Tổng		0,014		3,687

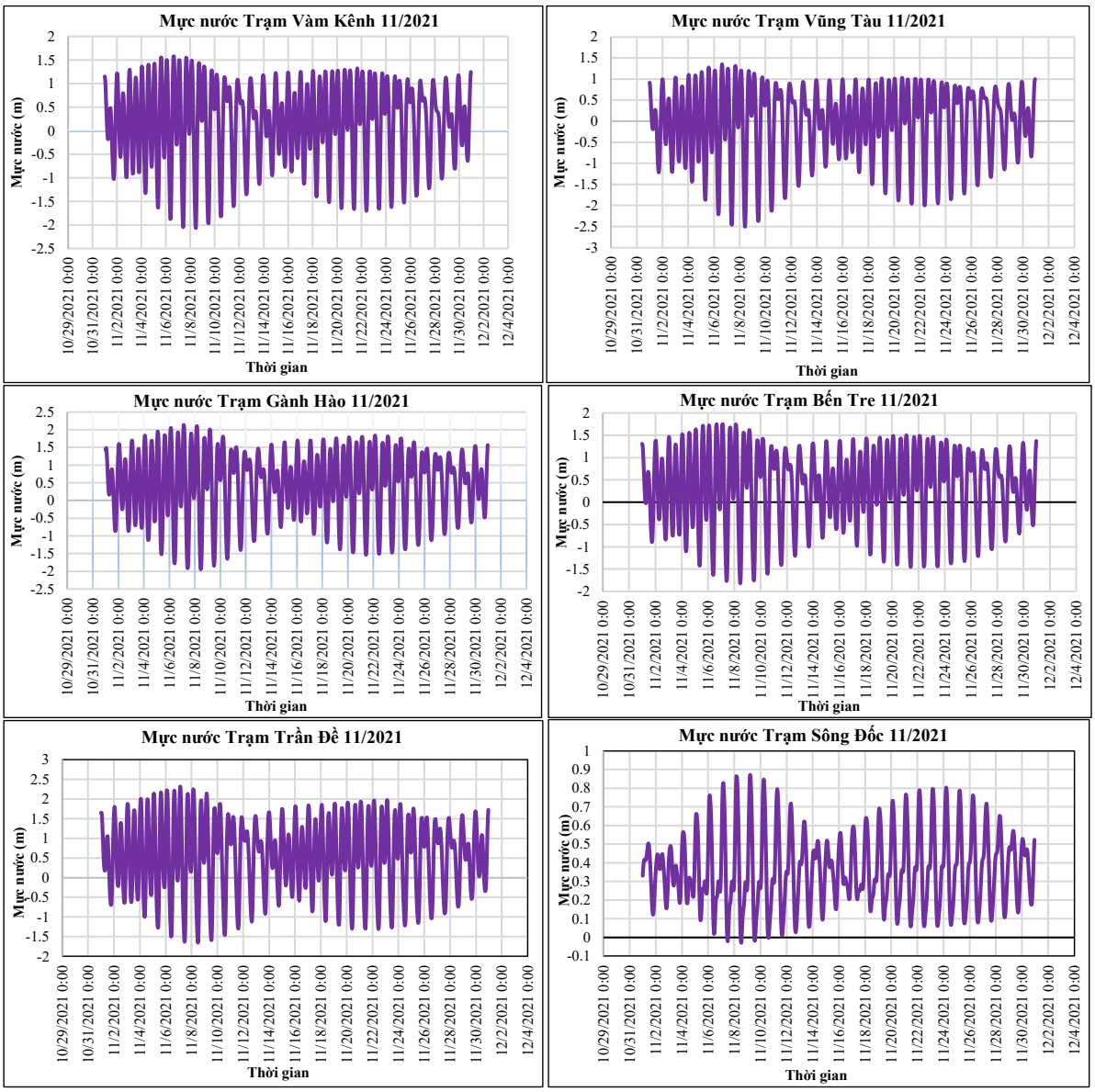
3.3. Dự báo mực nước triều ở Nam Bộ tháng 11/2021

Hình 10 và bảng 3 thể hiện dao động mực nước dự báo tháng 11 năm 2021 ở Nam Bộ kết quả cho thấy: Mực nước tại trạm Vũng Tàu tháng 11/2021 cao nhất vào ngày 6/11/2021 lúc 15:00 độ cao mực nước đạt 1,35 m, thấp nhất 8/11/2021 lúc 10:00 độ mực nước thấp nhất đạt –2,50 m. Mực nước tại trạm Vàm Kênh tháng 11/2021 cao nhất vào ngày 6/11/2021 lúc 16:00 độ cao mực nước đạt 1,57 m, thấp nhất 8/11/2021 lúc 11:00 mực nước thấp nhất đạt –2,06 m. Mực nước tại trạm Bến Trại tháng 11/2021 cao nhất vào ngày 7/11/2021 lúc 3:00 độ cao mực nước đạt 1,75 m, thấp nhất 8/11/2021 lúc 11:00 độ mực nước thấp nhất đạt –1,82 m. Mực nước tại trạm An Thuận tháng 11/2021 cao nhất vào ngày 6/11/2021 lúc 15:00 độ cao mực nước đạt 1,68 m, thấp nhất 8/11/2021 lúc 11:00 độ mực nước thấp nhất đạt –1,86 m. Mực nước tại trạm Trần Đề tháng 11/2021 cao nhất vào ngày 7/11/2021 lúc 3:00 độ cao mực nước đạt 2,31 m, thấp nhất 8/11/2021 lúc 12:00 độ mực nước thấp nhất đạt –1,65 m. Mực nước tại trạm Gành Hào tháng 11/2021 cao nhất vào ngày 7/11/2021 lúc 3:00 độ cao mực nước đạt 2,14 m, thấp nhất 8/11/2021 lúc 11:00 độ mực nước thấp nhất đạt –1,94 m. Mực nước tại trạm Sông Đốc tháng 11/2021 cao nhất vào ngày 9/11/2021 lúc 15:00 độ cao mực nước đạt 0.87 m, thấp nhất 8/11/2021 lúc 13:00 độ mực nước thấp nhất đạt –0,03 m. Mực nước tại trạm Rạch Gía tháng 11/2021 cao nhất vào ngày 9/11/2021 lúc 7:00 độ cao mực nước đạt 0,79 m, thấp nhất 8/11/2021 lúc 23:00 độ mực nước thấp nhất đạt –0,13 m.

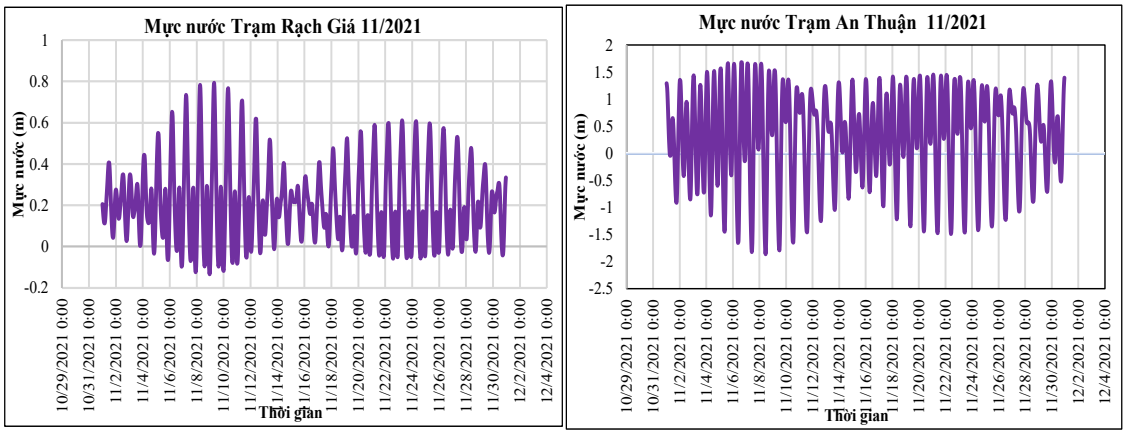
Bảng 3. Dự báo mực nước triều (m) từ 22/11–30/11/2021.

Tên Trạm	Thông tin thủy triều		Ngày								
			22/11	23/11	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11
Vàm Kênh	Nước lớn	Hmax(m)	1.26	1.22	1.16	1.10	1.07	1.08	1.13	1.18	1.25
		Time	17h00	17h00	3h00	19h00	20h00	21h00	22h00	23h00	23h00
	Nước rồng	Hmin (m)	–1.70	–1.65	–1.62	–1.52	–1.38	–1.22	–1.02	–0.80	–0.64
		Time	10h00	11h00	11h00	12h00	12h00	13h00	14h00	16h00	17h00
Vũng Tàu	Nước lớn	Hmax(m)	0.99	0.96	0.90	0.82	0.79	0.83	0.89	0.94	1.00
		Time	16h00	2h00	2h00	3h00	20h00	21h00	22h00	22h00	23h00
	Nước rồng	Hmin (m)	–2.00	–1.95	–1.85	–1.72	–1.53	–1.32	–1.14	–0.99	–0.84
		Time	9h00	10h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00
Trần Đề	Nước lớn	Hmax(m)	1.96	1.97	1.87	1.76	1.53	1.52	1.59	1.69	1.72
		Time	3h00	3h00	4h00	4h00	5h00	22h00	23h00	23h00	23h00
	Nước rồng	Hmin (m)	–1.31	–1.26	–1.22	–1.15	–1.03	–0.91	–0.74	–0.54	–0.34
		Time	11h00	12h00	12h00	13h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00
	Nước lớn	Hmax(m)	0.79	0.80	0.80	0.79	0.76	0.72	0.65	0.57	0.53

Tên Trạm	Thông tin thủy triều		Ngày								
			22/11	23/11	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	29/11	30/11
Sông Đốc	Nước rồng	Time	4h00	4h00	5h00	6h00	6h00	7h00	7h00	8h00	1h00
		Hmin (m)	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.18
	Nước lớn	Time	13h00	13h00	14h00	15h00	15h00	16h00	16h00	17h00	17h00
		Hmax(m)	0.60	0.61	0.61	0.60	0.57	0.53	0.48	0.40	0.33
Rạch Gía	Nước rồng	Time	6h00	6h00	7h00	7h00	8h00	8h00	9h00	10h00	23h00
		Hmin (m)	–0.06	–0.06	–0.06	–0.04	–0.04	–0.03	–0.03	–0.03	–0.04
	Nước lớn	Time	14h00	14h00	15h00	16h00	16h00	16h00	17h00	17h00	17h00
		Hmax(m)	1.45	1.41	1.35	1.24	1.18	1.21	1.27	1.33	1.40
An Thuận	Nước rồng	Time	2h00	2h00	3h00	3h00	20h00	21h00	22h00	23h00	23h00
		Hmin (m)	–1.49	–1.46	–1.42	–1.35	–1.22	–1.07	–0.89	–0.70	–0.52
	Nước lớn	Time	10h00	11h00	11h00	12h00	13h00	13h00	14h00	16h00	17h00
		Hmax(m)	1.49	1.46	1.41	1.27	1.17	1.19	1.26	1.33	1.38
Bến Trại	Nước rồng	Time	2h00	3h00	3h00	4h00	20h00	21h00	22h00	23h00	23h00
		Hmin (m)	–1.44	–1.44	–1.37	–1.32	–1.21	–1.05	–0.88	–0.70	–0.52
		Time	10h00	11h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00



Hình 10. Dự báo dao động mực nước dự báo tháng 11 năm 2021 tại trạm ở Nam Bộ.



Hình 10. Dự báo dao động mực nước dự báo tháng 11 năm 2021 tại trạm ở Nam Bộ.

4. Kết luận

Bài báo đã đánh giá xu thế biến đổi của mực nước trung bình, cực đại, cực tiểu tại Nam Bộ kết quả cho thấy kiểm định M–K cho thấy tại ba trạm mực nước đều có xu thế tăng trong đó tại Vũng Tàu mực nước cực đại có xu thế tăng nhanh nhất với tốc độ 0,5 cm/năm, mực nước trung bình và cực tiểu đều có xu thế tăng 0,25 cm/năm. Tại trạm Vàm Kênh mực nước có xu thế tăng nhanh hơn so với trạm Vũng Tàu, trong đó mực nước cực đại và cực tiểu có xu thế tăng nhanh hơn so với mực nước trung bình với tốc độ tương ứng là: 0,66 cm/năm, 0,65 cm/năm và 0,52 cm/năm. Tại Rạch Giá xu thế tăng nhanh nhất là mực nước cực tiểu với tốc độ 0,72 cm/năm, mực nước trung bình tăng 0,55 cm/năm và cực tiểu tăng 0,25 cm/năm.

Nghiên cứu đã ứng dụng Utide mô phỏng mực nước triều trong quá khứ và so sánh với số liệu thực đo, kết quả cho thấy tương quan R^2 giữa mô phỏng và thực đo đạt từ 0,79–0,99, các sai số biên độ khoảng 0,015 m và sai số pha 3,687 độ tại Vàm Kênh. Từ đó bài báo đã ứng dụng UTide dự báo mực nước triều tháng 11 năm 2021 tại Nam Bộ, các kết quả dự báo mực nước có thể dùng để cảnh báo triều cường trong tương lai.

Hạn chế của nghiên cứu là chưa tìm hiểu nguyên nhân và phân tích tại sao các trạm ở khu vực nhật triều không đều ở biển Tây (trạm Sông Đốc và Rạch Giá) thì phương pháp phân tích điều hòa cho kết quả kém hơn so với các trạm ở biển Đông có chế đề bán nhật triều không đều.

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

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

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả bài báo xin chân thành cảm ơn đến ban lãnh đạo của trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.Hồ Chí Minh và các Khoa, Phòng ban và đặc biệt là quý Thầy cô ở Khoa Quản lý Tài nguyên Biển và Hải đảo – Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP Hồ Chí Minh đã hỗ trợ để nghiên cứu khoa học cấp sinh viên "Ứng dụng phần mềm Utide dự báo mực nước triều ở khu vực Nam Bộ" được thực hiện và hoàn thành.

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Kịch bản Biến đổi khí hậu và NBD cho Việt Nam, 2016.
2. Huấn, P.V. Cơ sở Hải dương học. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1991.
3. Huấn, P.V. Động lực học biển: Phần 3 - Thủy triều. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2002.

4. Doodson, A.T. The analysis and prediction of tides in shallow water. *Int. Hydrographic Rev.* **1957**, *34*, 85–111.
5. Godin, G. The analysis of tides. University of Toronto Press and Liverpool University Press. Toronto and Buffalo, 1972, pp. 264.
6. Foreman, M.G.G. Manual for tidal heights analysis and prediction. Pacific Marine Science Rep, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay **1977**, *77(10)*, pp. 101.
7. Foreman, M.G.G. Manual for tidal currents analysis and prediction. Pacific Marine Science Rep. Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay **1978**, *78(6)*, pp. 70.
8. Pawlowicz, R.; Beardsley, B.; Lentz, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T TIDE. *Comput. Geosci.* **2002**, *28*, 929–937.
9. Leffler, K.E.; Jay, D.A. Enhancing tidal harmonic analysis: Robust (hybrid L-1/L2) solutions. *Cont. Shelf Res.* **2009**, *29*, 78–88. DOI: 10.1016/j.csr.2008.1004.1011.
10. Codiga, D.L. Unified Tidal Analysis and Prediction Using the U_tide Matlab Function, Technical Report, Graduate Shool of Oceanography, University of Rhode Island, Narragansett, RI, 2011, pp. 59.
11. Jamali, Aydin. Development of a MATLAB-based toolbox for tide Gauge records using Hilbert-Huang transform, Middle East Technical University, 2013.
12. Huấn, P.V.; Hợi, N.T. Dao động mực nước biển ven bờ Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2007**, *556*, 30–37.
13. Huấn, P.V.; Hợi, N.T.; Huấn, N.M. Ứng dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất vào phân tích thủy triều và dòng triều. Khí tượng thủy văn biển Đông. Nhà xuất bản Thống kê, Hà Nội, 2000.
14. Huấn, P.V.; Thành, H.T. Sơ đồ chi tiết phân tích điều hòa thủy triều. *Tạp chí khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2009**, *25(1S),* 66–75.
15. Chanh, B.V.; Bình, Đ.T. Nghiên cứu mô hình tính toán thủy triều vùng ven biển Ninh Thuận, Đài KTTV khu vực Nam Trung Bộ, 2016.
16. Thủy, N.B.; Tiến, T.Q. Nghiên cứu nước dâng trong các đợt triều cường tại ven biển đông Nam Bộ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *683,* 29–36.
17. Thành, N.Đ.; Tân, P.V. Kiểm nghiệm phi tham số xu thế biến đổi của một số yếu tố khí tượng giai đoạn 1961–2007. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2012**, 129–135.
18. Tín, N.V. Đánh giá xu thế biến đổi của lượng mưa thời đoạn lớn nhất ở Tp. Hồ Chí Minh giai đoạn 1971–2016 bằng kiểm định phi tham số Mann–Kendall. *Tạp chí Khí tượng Thuỷ văn* **2017***, 683*, 52–55.

Research on the application of utide to forecast tide level in the South Viet Nam

Nguyen Van Tin[1*], Tran Thi Ngoc Dieu[1], Bui Kien Quoc[1], Nguyen Ky Phung[2]

[1] Faculty of Marine and Island Resource Management, Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; nvtin@hcmunre.edu.vn; dieutran1731@gmail.com; kienquoc24092000@gmail.com;
[2] Institute for Computational Science and Technology; kyphungng@gmail.com

Abstract: In recent years, due to the influence of climate change and sea level rise, the trend of water level in coastal stations tends to increase rapidly. This paper to evaluate the trend of tidal level and apply Utide software to calculate and predict tides level in coastal of the Southern Viet Nam. UTide is a program to analyze and predict tides by means of harmonic analysis, the outstanding feature of UTide compared with other tidal forecasting models is its outstanding ability. Ability to analyze data series of many years, data is wrong, missing and can forecast water level points at any location with defined coordinates. In this research

analysis tidal constants at Vung Tau, Vam Kenh, An Thuan, Ganh Hao, Song Doc, Rach Gia based on real–time water level data from 2010 to 2019, UTide has analyzed 68 sub–tidals and this equinox is used to calculate the water level. The results of the tidal level in 2020 show that the calculated water level fluctuation is consistent with the measured water level fluctuation with the correlation coefficient at the stations: Vung Tau: 0.964, Vam Kenh; 0.97, An Thuan; 0.97, Ganh Hao; 0.959, Song Doc; 0.85, Rach Gia; 0.79. Therefore, Utide can be used to forecast the water level of stations affected by tides for the Southern region from which to take countermeasures.

Keywords: Climate change; Trend; Utide; Sea level rise.