

Ứng dụng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall và xu thế Sen đánh giá sự biến động xâm nhập mặn Đồng bằng sông Cửu Long

Nguyễn Văn Hồng^{1*}, Nguyễn Thảo Hiền¹, Trần Minh Sơn¹, Phan Thành Dân²

¹Phân viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu;

²Trường Đại học Xây dựng Miền Trung.

*Email: nguyenvanhong79@gmail.com

Nhận bài: 25/10/2022; Hoàn thiện: 12/11/2022; Chấp nhận đăng: 14/12/2022; Xuất bản: 20/12/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.VITTEP.2022.37-43>

TÓM TẮT

Diễn biến mặn trong khu vực đồng bằng sông Cửu Long khá phức tạp, độ mặn lớn nhất trong thời kỳ quan trắc hầu như không xuất hiện cùng thời điểm trong năm, đồng thời có sự biến động giữa các trạm khu vực cửa sông, khu vực nội đồng và các nhánh sông chính. Với chuỗi số liệu tin cậy và đủ dài từ 2000 - 2022 tại một số trạm chính nhằm đánh giá xu thế tăng/giảm trên hệ thống sông, kênh, rạch, bài báo sử dụng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall và ước lượng xu thế Sen. Các kết quả được đánh giá dựa trên phân tích thống kê ở mức ý nghĩa $\alpha < 0,1$ (xác suất phạm sai lầm loại I là 10%), đảm bảo loại trừ những giá trị bất ổn cực đoan đến xu thế, từ đó lựa chọn trạm đủ tiêu chuẩn tính toán ước lượng xu thế Sen. Xu thế đó đại diện nét đặc trưng cho chế độ xâm nhập mặn của khu vực.

Từ khóa: Xâm nhập mặn; Đồng bằng sông Cửu Long; 2000 - 2020; Kiểm nghiệm Mann - Kendall; Xu thế Sen.

1. MỞ ĐẦU

Nước là phần thiết yếu của cuộc sống, là nhu cầu căn bản, nền tảng cho các hoạt động hệ sinh thái và xã hội, nên nước đóng vai trò quan trọng trong việc góp phần vào những xung đột, đe dọa đến an ninh nước trong mọi hoạt động của con người và môi trường [1].

Vấn đề Nước biển dâng, triều cường, thiếu hụt lưu lượng thượng nguồn, nắng nóng, nhu cầu dùng nước quá cao, khiến Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) trải qua những năm khô hạn, gây thiệt hại nặng nề cho kinh tế - xã hội và môi trường như năm 1977, 1993, 1998, 2005 và năm 2010, đặc biệt trong những năm gần đây có 2 đợt xâm nhập mặn lịch sử với sự xuất hiện sớm hơn và xâm nhập sâu hơn trong hệ thống sông, kênh rạch [2]. So sánh xâm nhập mặn 2016 và 2020 ở ĐBSCL: trên hệ thống sông Vàm Cỏ, phân bố mặn 2016 trong khoảng 90 - 93 km, đến năm 2020 tăng cao 100 - 130 km; hệ thống sông Tiền (Cửa Đại, Cửa Tiểu, Hàm Luông), mặn xâm nhập từ 65 đến 95 km vào năm 2020; trên nhánh sông Hậu, năm 2016 xâm nhập vào nội đồng khoảng 55 - 60 km, năm 2020 ít biến động, từ 60 - 65 km; tương tự như đối với nhánh sông Cửa Lớn, có sự chênh lệch không quá lớn giữa 2 thời kỳ, dao động trong khoảng 55 - 65 km [3]. Có thể thấy, sự xuất hiện cả 2 đợt mặn lịch sử gần đây đã thể hiện rõ nét mức độ ngày càng nghiêm trọng của xâm nhập mặn ở ĐBSCL.

Với hệ thống chức năng nguồn nước của vùng bao gồm 37 sông kênh chính (tổng chiều dài 1.706 km), 137 kênh thứ cấp 1 (tổng chiều dài 2.780 km), 33 kênh rạch cấp 2 (tổng chiều dài 466 km) và hàng ngàn kilomet kênh rạch nhỏ, mật độ trung bình khoảng 1,3 km/km² - cao nhất cả nước. Lại là vùng hạ nguồn của châu thổ sông Mê Công, từ hạ lưu ToneSap trên địa phận CamPuChia, sông Mê Công tách thành 2 nhánh: nhánh phía Đông được gọi là sông Mê Công và nhánh phía Tây gọi là sông Bassac. Hai nhánh này chảy vào lãnh thổ Việt Nam với tên gọi tương ứng là sông Tiền và sông Hậu [4].

Chính vì những yếu tố địa lý, tự nhiên đặc thù của khu vực mà chế độ dòng chảy ĐBSCL vào thời kỳ mùa khô phụ thuộc rất nhiều vào dòng chảy xuyên biên giới (MRC). Theo đánh giá về tình hình nguồn nước lưu vực sông Mê Công ĐBSCL của 2030 Water Resources Group [5], chất lượng nguồn nước và số lượng nước phụ thuộc chủ yếu vào nguồn nước xuyên biên giới, mực

nước biển gia tăng, hiện tượng cực đoan từ Biến đổi khí hậu, mạch nước ngầm giảm, tình cạnh tranh và nhu cầu dùng nước cao, đó là những nguyên nhân căn bản khiến tình trạng xâm nhập mặn ngày càng diễn biến phức tạp trên địa bàn khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

Với các công bố liên quan có sử dụng đến phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall và ước lượng xu thế Sen trong lĩnh vực Khí tượng - Thủy văn và Biến đổi khí hậu kể đến sau đây:

- Phân tích, tính toán diễn biến mặn: [6] sử dụng tích hợp mô hình SWAT và HEC - RAS mô phỏng và phân tích xu thế ngập lụt, xâm nhập mặn cho TP.HCM theo kịch bản cơ sở và kịch bản RCP 4.5 (2016 - 2035) theo phương pháp Mann - Kendall và độ dốc Theil - Sen và thành lập bản đồ phân vùng biến động. [7] nghiên cứu thống kê phân tích chuỗi số liệu đo đạc từ năm 2000 - 2016 của 6 trạm tỉnh Bến Tre, cơ sở đánh giá tập trung chủ yếu vào thời điểm xuất hiện mặn, đỉnh mặn Smax, chân mặn Smin.

- Phân tích đánh giá diễn biến khí hậu: [8] đánh giá xu thế biến đổi của lượng mưa ngày tại đảo Phú Quốc, số liệu tính toán 1985 - 2018 xu thế Sen, phép hồi quy tuyến tính, kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall, phân tích biến đổi lượng mưa bằng việc sử dụng hệ số CV, chỉ số PCI - chỉ số lượng mưa tiêu chuẩn hóa. [9] tính toán xu thế biến động của lượng mưa thời đoạn: 15', 30', 45', 60', 90', 120' và 180' tại trạm Tân Sơn Hòa giai đoạn 1971 - 2016 sử dụng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall và ước lượng xu thế Sen. [10] xu thế biến đổi của 7 yếu tố khí tượng trên lãnh thổ Việt Nam giai đoạn 1961 - 2007 sử dụng phương pháp kiểm nghiệm Mann - Kendall và ước lượng xu thế Sen: nhiệt độ trung bình ngày tại 2m (T2m), nhiệt độ cực tiểu ngày (Tmin), nhiệt độ cực đại ngày (Tmax), lượng mưa trung bình ngày (Pre), tốc độ gió 10m cực đại ngày (Vx), độ ẩm tương đối cực tiểu ngày (Um) và bốc hơi tiềm năng.

- Trong lĩnh vực môi trường: [11] nghiên cứu xác định xu thế lắng đọng axit tại các trạm thuộc mạng lưới giám sát vùng Đông Á, số liệu 15 năm (2000 - 2014) của 54 trạm xác định bằng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Seasonal Mann - Kendall. [12] xác định mối tương quan giữa nhiệt độ không khí với lượng CO₂ trao đổi thuần của hệ sinh thái trong quá trình quang hợp của thực vật ngập mặn tại khu vực Cần Giờ, được kiểm tra tính đồng nhất về mặt dữ liệu dựa trên các kiểm định Pettitt và kiểm định đồng nhất độ lệch chuẩn thông thường và tiếp tục sử dụng phương pháp xu thế Sen và kiểm định Mann - Kendall để đánh giá mức ý nghĩa của chuỗi số liệu.

Các kết quả đạt được từ những nghiên cứu trên, chứng minh phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall và ước lượng xu thế Sen là hiệu quả, có độ tin cậy cao. Đồng thời nghiên cứu [10] cũng chỉ ra hạn chế của phương pháp hồi quy tuyến tính trong tính toán và nhận định những điểm bất thường của các yếu tố hay hiện tượng đang xét. Đó là lý do bài báo này sử dụng kiểm nghiệm Mann - Kendall và xu thế Sen để đánh giá diễn biến xu thế xâm nhập mặn khu vực Đồng bằng sông Cửu Long.

Để có cái nhìn tổng quan hơn về sự biến động của xâm nhập mặn, nhóm tác giả sử dụng chuỗi trong hơn 20 năm từ những năm 2000 đến thời điểm hiện tại 2022 (cập nhật mới dữ liệu tính so với những nghiên cứu trước), đánh giá sự thay đổi và xu thế biến động xâm nhập mặn khu vực trung lưu (nội đồng) và hạ lưu ven biển sông Mê Công ĐBSCL tại một số trạm đo mặn trên hệ thống sông rạch chính.

2. NỘI DUNG CẦN GIẢI QUYẾT

2.1. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

2.1.1. Phương pháp nghiên cứu

a) Kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall (M - K test)

Kiểm nghiệm Mann - Kendall [13] 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 giá trị. Nếu giả thuyết rằng có một dữ liệu theo chuỗi trình tự thời gian (x_1, x_2, \dots, x_n) với x_i biểu diễn số liệu tại thời điểm i thì mỗi giá trị dữ liệu tại mỗi thời điểm được so sánh với các giá trị trên toàn chuỗi thời gian. Các giá trị ban đầu của thống kê Mann - Kendall, S là 0 (nghĩa là không có xu thế). Khi đó, chỉ số thống kê Mann - Kendall S được tính bởi:

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

Trong đó:

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

Giá trị $S > 0$ chỉ xu thế tăng, $S < 0$ chỉ xu thế giảm. Tuy nhiên, cần phải tính toán xác suất đi kèm với S và n để xác định mức ý nghĩa của xu hướng. Phương sai của S được tính theo công thức:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (2)$$

Trong đó: g là số các nhóm có giá trị giống nhau; t_p là số phần tử thuộc nhóm thứ p .

Giá trị chuẩn Z của S tuân theo định luật phân phối chuẩn:

$$Z = \frac{S-1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, S > 0 \quad (3)$$

Với $Z = 0, S = 0$.

$$Z = \frac{S+1}{[\text{VAR}(S)]^{1/2}}, S < 0 \quad (4)$$

b) Phương pháp xu thế Sen (S - slope)

Để xác định độ lớn của xu thế chuỗi Q (độ dốc đường xu thế), ta dùng ước lượng Sen [14]. Q là median của chuỗi $n(n-1)/2$ phần tử.

$$Q = \text{median} \left\{ \frac{x_j - x_i}{j - i} \right\} \quad \text{với } i = 1, 2, \dots, n-1; j > i \quad (5)$$

$Q > 0$ chuỗi có xu thế tăng và ngược lại

2.1.2. Số liệu sử dụng

Chuỗi số liệu sử dụng trong bài báo là giá trị độ mặn lớn nhất mùa khô (S_{max}) trong hơn 20 năm từ 2000 đến 2022 tại một số trạm trên các nhánh sông chính: hệ thống sông Vàm Cỏ (trạm Cầu Nôi, Tân An, Bến Lức), hệ thống sông Tiền, sông Hậu (Vàm Kênh, Bến Trại, Bình Đại, Trà Vinh, Trà Kha), sông Hàm Luông (trạm An Thuận) và trạm Cà Mau thuộc sông Gành Hào.

2.2. Xu thế xâm nhập mặn vùng ĐBSCL giai đoạn 2000 - 2020

2.2.1. Kiểm nghiệm Mann - Kendall

Kết quả kiểm định Mann - Kendall xu thế S_{max} tại trạm Cầu Nôi, Tân An, Bến Lức, Vàm Kênh, Bến Trại, Bình Đại, Trà Vinh, Trà Kha, An Thuận và trạm Cà Mau.

Kết quả Mann - Kendall MK - test cho các giá trị $S > 0$ ở 6/10 trạm, điều này chứng tỏ hơn một nửa số trạm ĐBSCL có xu hướng mặn tăng, điển hình trên các nhánh sông Vàm Cỏ, Cửa

Đại, Cỏ Chiên, Hàm Luông và Gành Hào. Trong đó, xu thế gia tăng nồng độ mặn cao nhất ở 2 trạm Trà Vinh (Cỏ Chiên) và An Thuận (Hàm Luông) tương ứng với S lần lượt là 95 và 107.

Tuy nhiên, xét về mức thông kê ý nghĩa P - value có $\alpha < 0,1$ (xác suất phạm sai lầm loại I là 10%), loại bỏ các giá trị cực đoan, chỉ có 3 trạm là Cầu Nổi, Trà Vinh và An Thuận đạt yêu cầu. Các trạm còn lại có xu thế tăng/giảm MK - test nhưng không thỏa mãn mức ý nghĩa $\alpha < 0,1$.

Mức thông kê ý nghĩa $\alpha < 0,1$ tại 3 trạm Cầu Nổi, Trà Vinh và An Thuận lần lượt có các thông số Var(S) - P - value: 1431,67 - 0,057; 1431,67 - 0,013; 1429,67 - 0,005.

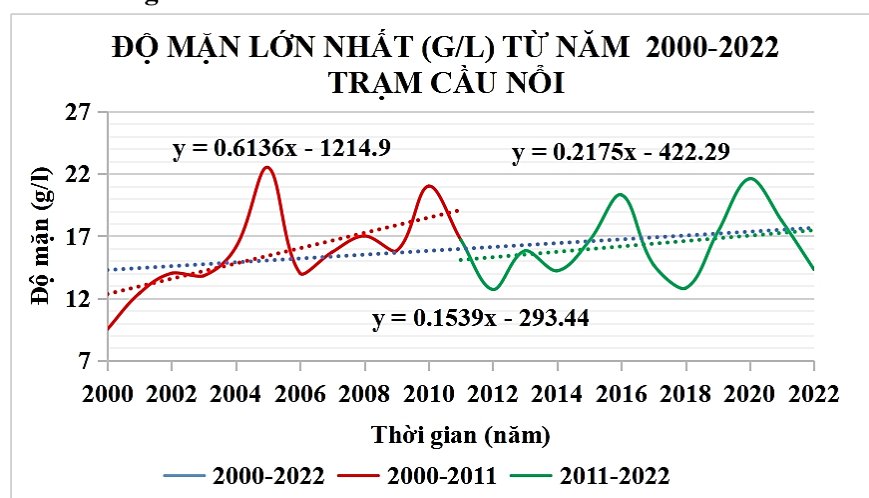
Bảng 1. Kết quả kiểm định Mann - Kendall xu thế mặn khu vực ĐBSCL.

| Smax | Cầu Nổi | Bến Lức | Tân An | Vàm Kênh | Bến Trại | Bình Đại | Trà Vinh | Trà Kha | An Thuận | Cà Mau |
|----------------|--------------|---------|---------|----------|----------|----------|--------------|---------|--------------|---------|
| N | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| Min | 9.50 | 1.70 | 0.50 | 20.20 | 17.80 | 19.90 | 5.80 | 11.10 | 23.00 | 29.55 |
| Max | 22.50 | 15.70 | 15.70 | 29.70 | 29.30 | 29.40 | 19.60 | 25.90 | 31.50 | 42.20 |
| Mean | 15.96 | 6.87 | 5.73 | 25.26 | 25.42 | 26.09 | 10.52 | 17.94 | 27.28 | 33.71 |
| Std. deviation | 3.18 | 3.99 | 4.15 | 2.16 | 2.94 | 2.44 | 3.53 | 3.47 | 2.32 | 3.26 |
| MK - test | 73 | - 12 | 9 | - 57 | - 3 | 28 | 95 | - 18 | 107 | 5 |
| Var(S) | 1431.67 | 1430.00 | 1431.67 | 1427.00 | 1429.00 | 1430.00 | 1431.67 | 1432.67 | 1429.67 | 1431.67 |
| P - value | 0.057 | 0.771 | 0.833 | 0.138 | 0.958 | 0.475 | 0.013 | 0.653 | 0.005 | 0.916 |

2.2.2. Xu thế ước lượng Sen

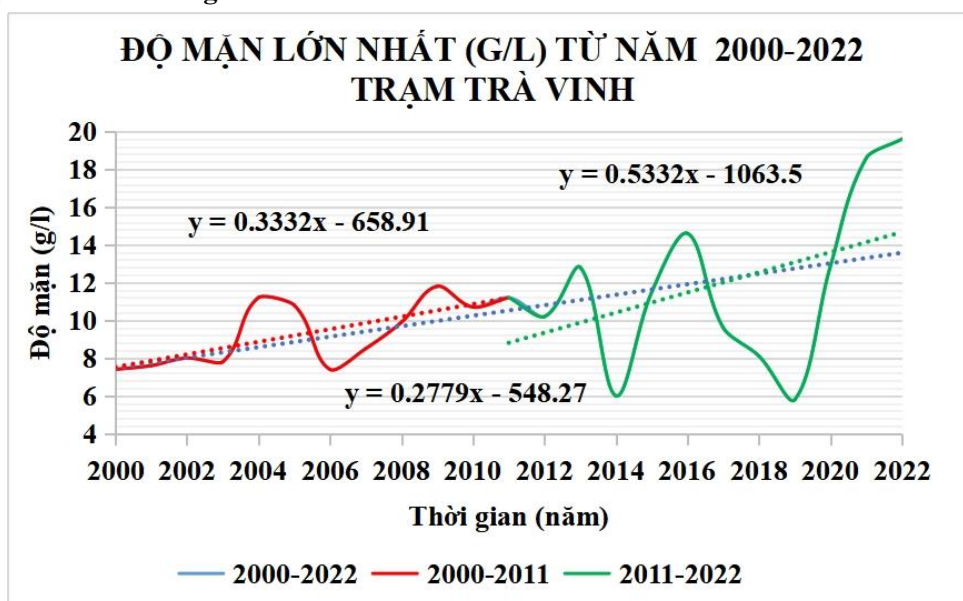
Hình 1 - 2 - 3 cho thấy xu thế biến đổi Smax tại các trạm Cầu Nổi (Vàm Cỏ), Trà Vinh (Cỏ Chiên), An Thuận (Hàm Luông) theo chuỗi số liệu 2000 - 2022. Kết quả xu hướng tăng ở cả 3 trạm với tốc độ gia tăng trung bình (S - slope) lần lượt là 0,1539 g/l/năm - 0,2779 g/l/năm - 0,1883 g/l/năm. Độ mặn lớn nhất trong 23 năm tại 3 trạm có giá trị là 22,5 g/l tại trạm Cầu Nổi năm 2005; 19,6 g/l trạm Trà Vinh năm 2022; 31,5 g/l trạm An Thuận năm 2016.

Trạm Cầu Nổi sông Vàm Cỏ

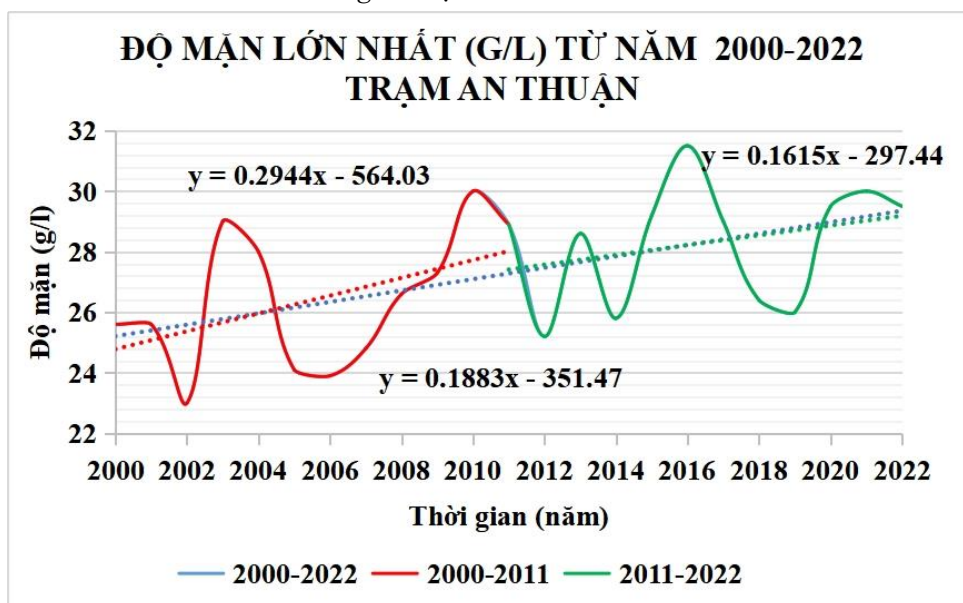


Hình 1. Xu thế biến đổi độ mặn lớn nhất năm tại trạm Cầu Nổi sông Vàm Cỏ giai đoạn 2000 - 2020.

Trạm Trà Vinh sông Cổ Chiên



Hình 2. Xu thế biến đổi độ mặn lớn nhất năm tại trạm Trà Vinh sông Cổ Chiên giai đoạn 2000 - 2020.



Hình 3. Xu thế biến đổi độ mặn lớn nhất năm tại trạm An Thuận sông Hàm Luông giai đoạn 2000 - 2020.

Trong chuỗi dữ liệu có độ dài 23 năm, có thể phân thành 2 giai đoạn 2000 - 2011 (00 - 11) và 2011 - 2022 (11 - 22) để xét tiếp sự biến động độ mặn 11 năm đầu và 11 năm sau. Xét tại trạm Cầu Nổi, đường biểu diễn biến động gia tăng giai đoạn 00 - 11, có xu thế S - slope là 0,6136 g/l/năm, xu thế tăng trưởng mạnh so với thời đoạn 00 - 22 và 11 - 22. Ngược lại, xu thế tại trạm Trà Vinh có mức độ biến động giai đoạn 11 - 22 cao hơn nhiều so với 2 giai đoạn còn lại, S - slope đạt 0,5332 g/l/năm. Riêng trạm An Thuận, mức biến động theo chuỗi giá trị 3 giai đoạn không rõ rệt, S - slope lần lượt dao động trong khoảng giá trị là 0,2944 (00 - 11), 0,1615 (11 - 22) và 0,1883 (00 - 22).

Bảng 2. Tháng xuất hiện độ mặn (Smax) lớn nhất tại mỗi trạm thời kỳ mùa khô 2011 - 2022.

| TT | Năm | Tháng xuất hiện Smax | | | | | | | | | |
|----|------|----------------------|---------|--------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|--------|
| | | Cầu Nổi | Bến Lức | Tân An | Vàm Kênh | Bến Trại | Bình Đại | Trà Vinh | Trà Kha | An Thuận | Cà Mau |
| 1 | 2011 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| 2 | 2012 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 3 | 2013 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| 4 | 2014 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 5 | 2015 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| 6 | 2016 | 2 | 5 | 5 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 5 |
| 7 | 2017 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 5 |
| 8 | 2018 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| 9 | 2019 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 4 |
| 10 | 2020 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| 11 | 2021 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 |
| 12 | 2022 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 |

Có thể đưa ra nhận định rằng, diễn biến mặn trong khu vực đồng bằng sông Cửu Long khá phức tạp, độ mặn lớn nhất trong thời kỳ quan trắc hầu như không xuất hiện cùng thời điểm trong năm, đồng thời có sự biến động giữa các trạm khu vực cửa sông, khu vực nội đồng và các nhánh sông chính do nhiều yếu tố tác động, từ dòng chảy thượng nguồn, đến nước biển dâng, triều cường, nhu cầu sử dụng nước và biến đổi khí hậu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã đánh giá xu thế biến đổi nồng độ mặn với chuỗi số liệu tin cậy và đủ dài là 23 năm, từ 2000 đến thời điểm hiện tại là 2022 bằng phương pháp Mann - Kendall và ước lượng xu thế Sen. Nhận thấy, với kiểm nghiệm MK - test, có nhiều giá trị cực đoan (max,min cục bộ) xuất hiện gây ảnh hưởng chuỗi xu thế chung tại các trạm đo mặn ĐBSCL. Trong số 10 trạm dùng tính toán, chỉ có 3 trạm đạt chuẩn để ước lượng xu thế Sen, đại diện cho 3 khu vực sông Vàm Cỏ, Cỏ Chiên và Hàm Luông. Tuy nhiên, nhìn chung, xu hướng gia tăng độ mặn xảy ra 6/10 trạm ĐBSCL và có 4 trạm có xu hướng giảm theo số liệu đã tính toán.

Sự xuất hiện các tháng có độ mặn Smax tại 10 trạm chính ĐBSCL cũng không có sự đồng bộ, diễn biến và thay đổi phức tạp. Với hệ thống sông Vàm Cỏ Tây, Vàm Cỏ Đông, thời điểm xuất hiện giữa thời kỳ mùa khô từ tháng 2 đến tháng 4, hệ thống sông Tiền, Hậu, độ mặn Smax có khi đã xuất hiện vào đầu mùa khô là tháng 1 kéo dài đến tháng 3 và khu vực Bán đảo Cà Mau (số liệu thể hiện tại trạm Cà Mau, sông Gành Hào), tập trung vào cuối mùa khô là tháng 4 và 5.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hoàn thành trong khuôn khổ nhiệm vụ thường xuyên theo chức năng năm 2022 của Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu. Nhiệm vụ 09: “Dự báo thủy triều, xâm nhập mặn trên các sông chính khu vực Nam Bộ”. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lozet F., Edou K, “Water and Environmental Security for Conflict Prevention in Times of Climate Change”, (2013).
- [2]. Dat, T.Q., Likitdecharote, K., Srisatit, T. and Trung, N.H, “Modeling The Influence of River Discharge and Sea Level Rise on Salinity Intrusion in Mekong Delta,” In First Environment Asia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity, pp. 685–701, (2011).
- [3]. Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia ngày 2/3/2020.

- [4]. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, “*Thực trạng sạt lở, bồi lắng kênh rạch vùng ĐBSCL, nguyên nhân và các giải pháp xử lý*”, Hội thảo Chống sạt lở ĐBSCL tại Sóc Trăng, (2015).
- [5]. 2030 Water Resources Group, “*Khuôn khổ kinh tế về Nước và đánh giá các thách thức của Ngành Nước ở Việt Nam*,” (2017).
- [6]. V.T. Linh, N.D. Liêm, H.M. Dũng và N.K. Lợi, “*Nghiên cứu ứng dụng mô hình hóa đánh giá xu thế của ngập lụt và xâm nhập mặn trong bối cảnh biến đổi khí hậu: Nghiên cứu thí điểm tại thành phố Hồ Chí Minh*,” TC. Khí tượng Thủy văn, số phục vụ Hội thảo chuyên đề, tr 98 - 110, (2019).
- [7]. N.V. Đào và P.T.T. Bình, “*Đánh giá thực trạng và tác động của Biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn tỉnh Bến Tre*,” TC. Khí tượng Thủy văn, số 04, tr 12 - 22, (2019).
- [8]. N.Q. Hưng, L.X. Hiền, “*Đánh giá xu thế biến đổi lượng mưa tại đảo Phú Quốc*,” TC. Khoa học Trái đất và Môi trường, số 4, tr 22 - 32, (2021).
- [9]. N.V. Tín, “*Đánh giá xu thế biến đổi lượng mưa thời đoạn lớn nhất khu vực thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1971 - 2016 bằng kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall*,” TC. Khí tượng Thủy văn, số 11, tr 52 - 55, (2017).
- [10]. N. Đ. Thành, P. V. Tân, “*Kiểm nghiệm phi tham số xu thế biến đổi của một số yếu tố khí tượng cho giai đoạn 1961 - 2007*,” TC. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ - ĐHQGHN, số 35, tr 129 - 135, (2012).
- [11]. N. T. V. Anh và nhóm tác giả, “*Nghiên cứu xác định xu thế lắng đọng axit tại các trạm thuộc mạng lưới giám sát lắng đọng axit vùng Đông Á (EANET)*,” TC. Khoa học Biến đổi khí hậu, số 01, tr 61 - 66, (2017).
- [12]. N. V. Thịnh và nhóm tác giả, “*Xác định mối tương quan giữa nhiệt độ không khí với lượng CO₂ trao đổi thuần của hệ sinh thái trong quá trình quang hợp của thực vật ngập mặn tại khu vực (huyện) Cần Giờ*,” Tc. Khí tượng Thủy văn, số 722, tr 1 - 14, (2021).
- [13]. Kendall, M.G, “*Rank Correlation Methods*”, Charles Griffin, London, pp.272, (1975).
- [14]. Sen, P.K, “*Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau*, *Journal of the American Statistical Association*,”, pp. 1379 - 1389, (1968).

ABSTRACT

Application of Mann - Kendall nonparametric testing method and Sen trend to assess Mekong delta saltwater intrusion fluctuations

The salinity evolution in the Mekong Delta is quite complicated, the highest salinity in the monitoring period hardly occurs at the same time of year, and there are fluctuations between monitoring stations in the estuary areas, inland areas, and main tributaries. The study uses data series of a number of main monitoring stations in the period 2000 - 2022 to assess the trend of increasing/decreasing salinity levels in river systems and canal systems. Mann - Kendall non - parametric testing methods and Sen trend estimation are also applied. The results are evaluated based on statistical analysis at the significance level $\alpha < 0.1$ (probability of making type I error is 10%), ensuring the exclusion of extremely unstable values to the trend, then selecting the station that is qualified to calculate the Sen trend estimate. That Sen trend will represent a typical feature of the regional saline intrusion regime.

Keywords: Saline intrusion; Mekong Delta; 2000 - 2022; Mann - Kendall; Sen.