

PHÂN TÍCH XU THẾ XÂM NHẬP MẶN TRÊN HỆ THỐNG SÔNG, KÊNH TỈNH SÓC TRĂNG (CŨ) BẰNG PHƯƠNG PHÁP KIỂM NGHIỆM PHI THAM SỐ

Nguyễn Trọng Khanh⁽¹⁾, Lê Hoàng Nghiêm⁽¹⁾, Trần Thị Thúy An⁽¹⁾,
Dương Ngọc Thúy⁽²⁾, Đỗ Huy Lập⁽³⁾, Dương Văn Tuấn⁽⁴⁾, Cấn Thu Vần⁽¹⁾

⁽¹⁾Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh

⁽²⁾Trung tâm Quan trắc Tài nguyên và Môi trường Thành phố Cần Thơ

⁽³⁾Đài Khí tượng Thủy văn Thành phố Cần Thơ

⁽⁴⁾Công ty cổ phần NetPlus

Ngày nhận bài: 22/7/2025; ngày gửi phản biện: 23/7/2025; ngày chấp nhận đăng: 25/8/2025

Tóm tắt: Sóc Trăng (cũ) là tỉnh ở cuối nguồn Sông Hậu, tiếp giáp với biển nên bị ảnh hưởng bởi triều cường và xâm nhập mặn (XNM). Tình hình XNM trên địa bàn tỉnh diễn biến khá phức tạp, mặn xâm nhập ngày càng sâu vào nội đồng làm ảnh hưởng đến sản xuất, các vùng ngọt hóa, môi trường đất,... gây khó khăn cho sự phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh. Nghiên cứu thực hiện phân tích xu thế XNM tại các trạm đo trên địa bàn Tỉnh Sóc Trăng (cũ) bằng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số (Mann - Kendall) và ước lượng xu thế Sen. Kết quả nghiên cứu cho thấy, độ mặn lớn nhất (S_{max}) tại các trạm đo phần lớn xuất hiện vào tháng 2 đến tháng 4 trong năm, xu thế mặn tăng ở 5/8 trạm là Long Phú, Đại Ngãi, An Lạc Tây, Sóc Trăng, Khánh Hòa. Trong đó, xu thế mặn tăng cao nhất ở trạm An Lạc Tây và Long Phú tương ứng với S lần lượt là 136 và 92, ngược lại trạm Trần Đề và trạm Thạnh Phú có xu thế mặn giảm rõ rệt với S tương ứng là -170 và -80. Nguyên nhân là do việc vận hành các cống ngăn mặn khu vực Mỹ Tú và Ngã Năm kết hợp vận hành cống âu thuyền Ninh Quới xả nước đẩy mặn làm giảm độ mặn phục vụ các hoạt động sản xuất đã ngăn mặn phần nào đến khu vực trạm Thạnh Phú; ngoài ra tại khu vực cửa sông Trần Đề chịu tác động lớn bởi gió mạnh nên độ mặn tại cửa sông không quá cao nhưng độ mặn lại xâm nhập mạnh và sâu vào trong các nhánh sông chính như tại khu vực các trạm An Lạc Tây và Long Phú. Tuy nhiên, xét về ý nghĩa thống kê P - value có $\alpha < 0,1$ chỉ có 4 trạm là Long Phú, Thạnh Phú, Trần Đề, và An Lạc Tây đạt yêu cầu. Các trạm còn lại có xu thế tăng/giảm MK - test (S) nhưng không thỏa mãn mức ý nghĩa $\alpha < 0,1$. Nghiên cứu cung cấp cơ sở quan trọng cho việc hoạch định các giải pháp cảnh báo sớm, phòng ngừa rủi ro cho các hoạt động phát triển kinh tế-xã hội liên quan cấp nước của khu vực.

Từ khóa: Phân tích xu thế, xâm nhập mặn, kiểm nghiệm Mann - Kendall, xu thế Sen.

1. Đặt vấn đề

Sóc Trăng (cũ) là tỉnh ở cuối nguồn Sông Hậu, thuộc vùng Đồng bằng Sông Cửu Long có diện tích tự nhiên 3.298,20 km² với 11 đơn vị hành chính bao gồm: Thành phố Sóc Trăng, thị xã Ngã Năm, thị xã Vĩnh Châu, huyện Châu Thành, huyện Kế Sách, huyện Mỹ Tú, huyện Cù Lao Dung, huyện Long Phú, huyện Mỹ Xuyên, huyện Thạnh Trị và huyện Trần Đề. Bên cạnh đó,

Tỉnh Sóc Trăng (cũ) còn có đường bờ biển dài 72 km và 03 cửa sông lớn là Định An, Trần Đề, Mỹ Thanh đổ ra Biển Đông [1]. Sóc Trăng (cũ) có địa hình tương đối thấp và bằng phẳng, bị phân cắt bởi hệ thống sông, kênh, rạch chằng chịt và tiếp giáp biển nên bị ảnh hưởng bởi triều cường (từ tháng 10 đến tháng 1 năm sau) và XNM (từ tháng 11 đến tháng 5 năm sau) [2]. Tình hình XNM trên địa bàn tỉnh diễn biến khá phức tạp phụ thuộc vào lượng mưa hàng năm, lượng nước trong mùa cạn đổ về và sự gia tăng mực nước từ biển vào dẫn đến mặn xâm nhập ngày càng sâu vào nội đồng làm ảnh hưởng đến

Liên hệ tác giả: Cấn Thu Vần
Email: ctvan@hcmunre.edu.vn

sản xuất, các vùng ngọt hóa (vùng có đê bao và cống ngăn mặn khép kín nhưng không có nguồn tiếp ngọt ổn định), môi trường đất,... gây khó khăn cho sự phát triển kinh tế - xã hội của tỉnh [3-10]. Cụ thể, giai đoạn 2010 - 2018, tình hình XNM diễn biến rất phức tạp, gây ra nhiều thiệt hại cho người dân, đặc biệt là năm 2016. Theo thống kê của tỉnh [1], các huyện chịu thiệt hại nặng nề là Kế Sách và Mỹ Tú với ước tổng thiệt hại lên đến gần 1.000 tỷ đồng. Theo đó, tổng diện tích canh tác của người dân bị thiệt hại là 31.761 ha; trong đó, diện tích bị thiệt hại trên toàn tỉnh đối với lúa nước là 27.566 ha, mía là 3.419 ha, cây ăn trái bị ảnh hưởng 561 ha và 18 ha thủy sản, tổng thiệt hại trên 30% là 24.709 ha của 25.048. Không chỉ tác động mạnh đến hoạt động sản xuất nông nghiệp mà XNM còn ảnh hưởng đáng kể đến các khía cạnh sinh hoạt của người dân. Vào đợt cao điểm mùa khô đỉnh điểm khoảng tháng 4 - 5/2024, theo thống kê có khoảng 19.355 hộ dân bị ảnh hưởng thiếu nước, giảm so với đợt cao điểm mùa khô năm 2019 - 2020 là 24.394 hộ và mùa khô năm 2015 - 2016 là khoảng 40.000 hộ.

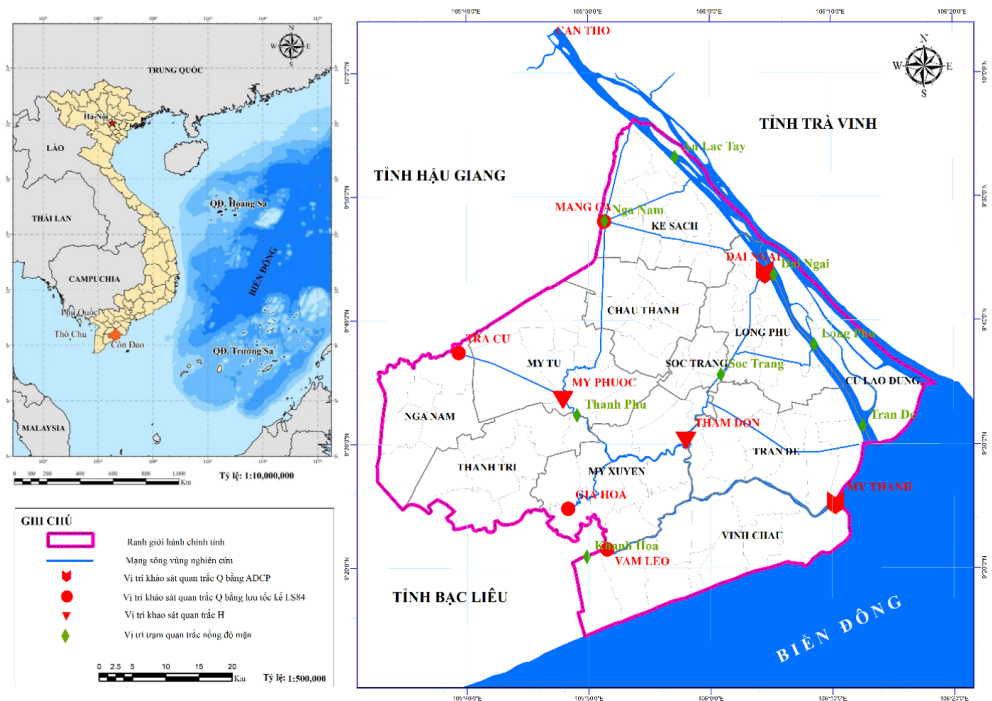
Xu thế XNM sâu hơn và độ mặn cao hơn,

nguyên nhân là do diễn biến bất thường của quá trình XNM cũng như chưa có hệ thống cảnh báo, dự báo sớm XNM theo thời gian và không gian cũng như các điều kiện khách quan khác dẫn đến các thiệt hại hàng năm [11]. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung phân tích xu thế XNM trên địa bàn Tỉnh Sóc Trăng (cũ) bằng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số nhằm cung cấp cơ sở quan trọng cho việc hoạch định các giải pháp cảnh báo sớm, phòng ngừa rủi ro và cũng như phát huy tốt hơn nữa hiệu quả phòng chống XNM cho các hoạt động phát triển kinh tế xã hội liên quan cấp nước của khu vực. Các giải pháp cảnh báo sớm sẽ cung cấp thông tin quan trọng cho các nhà quản lý, các cơ quan chức năng và người dân trong việc đưa ra các quyết định phù hợp liên quan đến quản lý tài nguyên nước, kế hoạch sản xuất nông nghiệp, nuôi trồng thủy sản, cấp nước sinh hoạt và các hoạt động kinh tế khác.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Số liệu Smax tại các trạm đo phục vụ cho nghiên cứu được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn Tỉnh Sóc Trăng (cũ) [12]. Thông tin chi tiết được thể hiện như Bảng 1 và Hình 1 sau:



Hình 1. Sơ đồ vị trí các trạm đo tại khu vực nghiên cứu

Bảng 1. Danh sách các trạm mặt đo phục vụ nghiên cứu

STT	Tên trạm	Độ dài chuỗi dữ liệu
1	Long Phú	1999-2012, 2016-2025
2	Đại Ngãi	1999-2012, 2016-2025
3	Thạnh Phú	1999-2012, 2014, 2016-2025
4	Trần Đề	1999-2025
5	An Lạc Tây	1999-2011, 2016-2025
6	Sóc Trăng	2000-2012, 2014, 2016-2025
7	Khánh Hòa	2012, 2014, 2015-2022
8	Ngã Năm	2012, 2014, 2016-2025

2.2. Phương pháp nghiên cứu

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

Nghiên cứu sử dụng phương pháp kiểm nghiệm phi tham số Mann - Kendall và xu thế Sen để đánh giá xu thế XNM tại các trạm đo trên địa bàn Tỉnh Sóc Trăng (cũ). Đây là phương pháp đánh giá xu thế có độ tin cậy cao, hiệu quả và đã được lựa chọn trong nhiều nghiên cứu đánh giá xu thế [13-24].

Phương pháp kiểm nghiệm Mann - Kendall [25] là phương pháp thống kê phi tham số để kiểm định sự xuất hiện của xu hướng đơn điệu tăng và giảm. Phương pháp này rất phù hợp để phân tích xu hướng dữ liệu theo thời gian, không yêu cầu bất kỳ giả định nào về phân phối thống kê của dữ liệu và có thể được sử dụng với các tập dữ liệu, bao gồm các khoảng thời gian lấy mẫu không đều và dữ liệu bị thiếu [26]. Phương pháp thực hiện 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 có một dữ liệu theo chuỗi tuần 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 công thức (1):

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

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 (2):

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

Trong đó: g là số các nhóm có giá trị lặp lại (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 như công thức (3) và (4):

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

Với $Z = 0, S = 0$

$$Z = \frac{S + 1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} \cdot S < 0 \quad (4)$$

2.2.2. Phương pháp xu thế Sen (*S - slope*)

Ước lượng Sen [27] được dùng để xác định độ lớn của xu thế chuỗi giá trị Q (độ dốc đường xu thế), Q là median của chuỗi $n(n - 1)/2$ phần tử và được tính như công thức (5):

$$Q = \text{median} \left\{ \frac{x_j - x_i}{j - i} \right\} \quad (5)$$

với $i=1,...,n-1; j>i$

Giá trị $Q > 0$ thể hiện chuỗi dữ liệu có xu thế tăng và $Q < 0$ thể hiện xu thế giảm.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kiểm nghiệm Mann - Kendall

Kết quả kiểm định Mann - Kendall xu thế Smax tại trạm Long Phú, Đại Ngãi, Thạnh Phú,

Trần Đề, An Lạc Tây, Sóc Trăng, Khánh Hòa, Ngã Năm (Bảng 2) cho thấy: Giá trị $S > 0$ ở 5/8 trạm thể hiện phần lớn các trạm đo mặn có xu thế mặn tăng là Long Phú, Đại Ngãi, An Lạc Tây, Sóc Trăng, Khánh Hòa. Trong đó, xu thế mặn tăng cao nhất ở trạm An Lạc Tây và Long Phú tương ứng với S theo Công thức (1) lần lượt là 136 và 92. Các trạm có xu thế mặn giảm là Thạnh Phú, Trần Đề và Ngã Năm; Trần Đề là trạm có xu thế giảm mạnh nhất.

Bên cạnh đó, xét về khía cạnh ý nghĩa thống với độ tin cậy 90% thì P - value có $\alpha < 0,1$ loại bỏ các giá trị cực đoan, chỉ có 4 trạm là Long Phú, Thạnh Phú, Trần Đề, và An Lạc Tây đạt yêu cầu. Các trạm còn lại có xu thế tăng/giảm MK - test (S) nhưng không thỏa mãn mức ý nghĩa $\alpha < 0,1$. Mức thống kê ý nghĩa $\alpha < 0,1$ tại 4 trạm là Long Phú, Thạnh Phú, Trần Đề, và An Lạc Tây lần lượt có các thông số $\text{Var}(S)$ - P - value là: 1623,33 - 0,024; 1831,33 - 0,065; 2300,0 - 0,000 và 1426,0 - 0,000. Kết quả kiểm định Mann - Kendall xu thế mặn tại 08 trạm đo trên địa bàn Tỉnh Sóc Trăng (cũ) được trình bày như Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả kiểm định Mann - Kendall xu thế mặn tại 08 trạm đo trên địa bàn Tỉnh Sóc Trăng (cũ)

Trạm	Số quan sát (năm)	Giá trị nhỏ nhất (%)	Giá trị lớn nhất (%)	Giá trị trung bình (%)	Độ lệch chuẩn (%)	Giá trị S	Phương sai của S	Mức ý nghĩa
Long Phú	24	10,10	23,10	16,87	3,18	92	1623,33	0,024
Đại Ngãi	24	5,50	14,20	9,53	2,32	15	1624,33	0,728
Thạnh Phú	25	1,50	17,50	9,66	4,27	-80	1831,33	0,065
Trần Đề	27	18,30	36,80	25,24	5,53	-170	2300	0,000
An Lạc Tây	23	0,30	8,00	2,88	2,34	136	1426,0	0,000
Sóc Trăng	24	0,30	9,50	3,96	2,36	27	1621,67	0,519
Khánh Hòa	9	7,30	24,90	14,96	5,23	16	92,0	0,118
Ngã Năm	12	0,10	23,20	10,11	7,55	-20	212,67	0,193

3.2. Xu thế ước lượng Sen

Xu thế biến đổi Smax tại 4 trạm là Long Phú, Thạnh Phú, Trần Đề, và An Lạc Tây (Hình 2 đến Hình 5) cho thấy: Trạm Long Phú và An Lạc Tây có xu thế mặn tăng với tốc độ gia tăng lần lượt là 0,1866 ‰/năm và 0,1667 ‰/năm. Ngược lại, mặn có xu thế giảm tại trạm Thạnh Phú và Trần Đề với mức giảm tương ứng 0,2292 ‰/năm và 0,4733 ‰/năm. Phương trình xu thế tại các

trạm Long Phú, An Lạc Tây, Thạnh Phú và Trần Đề được trình bày như Bảng 3.

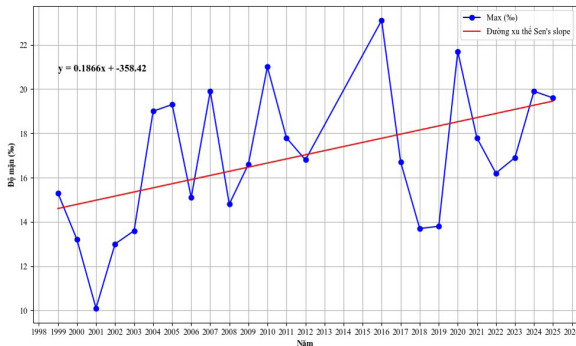
Xu thế Smax năm tại trạm Long Phú, Long Phú, Thạnh Phú, Trần Đề, An Lạc Tây và Khánh Hòa được thể hiện lần lượt tại Hình 2 đến Hình 5.

Kết quả tổng hợp những tháng xuất hiện Smax tại 08 trạm đo Long Phú, Đại Ngãi, Thạnh Phú, Trạm Trần Đề, An Lạc Tây, Sóc Trăng, Khánh Hòa và Ngã Năm được thể hiện như Bảng 4.

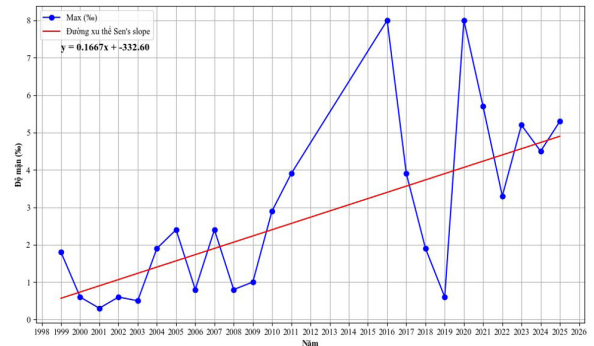
Bảng 3. Phương trình xu thế tại các trạm Long Phú, An Lạc Tây, Thạnh Phú và Trần Đề

STT	Trạm đo	Phương trình xu thế (%)
1	Long Phú	$y = 0,1866x + -358,42$
2	An Lạc Tây	$y = 0,1667x + -332,60$
3	Thạnh Phú	$y = -0,2292x + 470,65$
4	Trần Đề	$y = -0,4733x + 976,05$

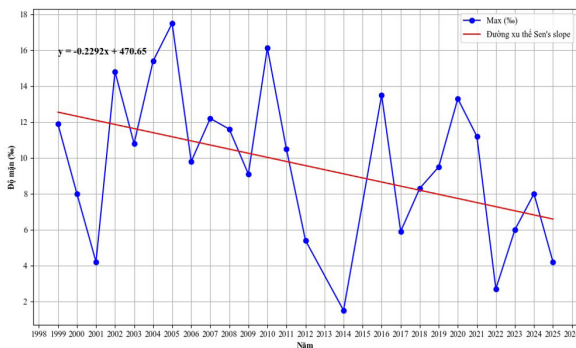
Ghi chú: y là độ mặn (‰) và x là năm (năm)



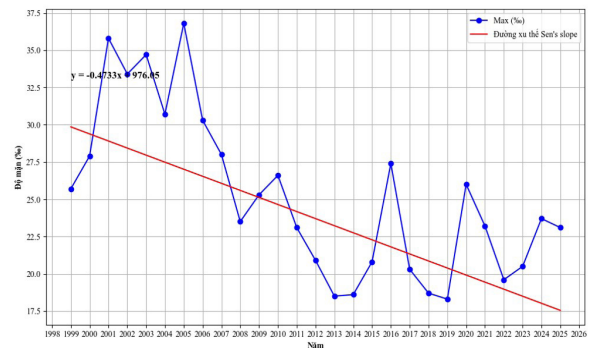
Hình 2. Xu thế Smax năm giai đoạn 1999 - 2025 tại trạm Long Phú



Hình 3. Xu thế Smax năm giai đoạn 1999-2025 tại trạm An Lạc Tây



Hình 4. Xu thế Smax năm giai đoạn 1999-2025 tại trạm Thạnh Phú



Hình 5. Xu thế Smax năm giai đoạn 1999-2025 tại trạm Trần Đề

Bảng 4. Thống kê Smax và tháng xuất hiện tại các trạm đo

TT	Năm	Long Phú		Đại Ngãi		Thạnh Phú		Trần Đề		An Lạc Tây		Sóc Trăng		Khánh Hòa		Ngã Năm	
		Smax (‰)	T*	Smax (‰)	T*	Smax (‰)	T*	Smax (‰)	T*	Smax (‰)	T*	Smax (‰)	T*	Smax (‰)	T*	Smax (‰)	T*
1	1999	15,3	3	9,6	2	11,9	3	25,7	3	1,8	3	**	**	**	**	**	**
2	2000	13,2	4	7,4	4	8,0	4	27,9	5	0,6	4	4,4	4	**	**	**	**
3	2001	10,1	4	5,5	2	4,2	3	35,8	5	0,3	3	1,6	4	**	**	**	**
4	2002	13,0	4	8,7	4	14,8	4	33,4	5	0,6	4	3,1	3	**	**	**	**
5	2003	13,6	4	8,2	3	10,8	4	34,7	6	0,5	4	3,3	3	**	**	**	**
6	2004	19,0	4	13,1	4	15,4	5	30,7	4	1,9	4	4,4	4	**	**	**	**
7	2005	19,3	4	10,6	3	17,5	4	36,8	6	2,4	3	4,9	4	**	**	**	**

TT	Năm	Long Phú		Đại Ngãi		Thạnh Phú		Trần Đề		An Lạc Tây		Sóc Trăng		Khánh Hòa		Ngã Năm	
		Smax (%)	T*	Smax (%)	T*	Smax (%)	T*	Smax (%)	T*	Smax (%)	T*	Smax (%)	T*	Smax (%)	T*	Smax (%)	T*
8	2006	15,1	4	9,6	3	9,8	4	30,3	6	0,8	2	2,2	2	**	**	**	**
9	2007	19,9	4	11,2	4	12,2	4	28,0	4	2,4	4	2,1	4	**	**	**	**
10	2008	14,8	4	8,1	3	11,6	4	23,5	3	0,8	3	2,3	4	**	**	**	**
11	2009	16,6	4	11,5	4	9,1	4	25,3	4	1,0	4	3	4	**	**	**	**
12	2010	21,0	4	11,6	3	16,1	5	26,6	4	2,9	4	7,2	4	**	**	**	**
13	2011	17,8	3	11,1	3	10,5	5	23,1	3	3,9	4	4	3	**	**	**	**
14	2012	16,8	4	8,4	4	5,4	3	20,9	5	**	**	2	4	11,4	2	22,1	4
15	2013	**	**	**	**	**	**	18,5	1	**	**	**	**	**	**	**	**
16	2014	**	**	**	**	1,5	1	18,6	6	**	**	0,3	1	7,3	1	0,1	1
17	2015	**	**	**	**	**	**	20,8	1	**	**	**	**	**	**	**	**
18	2016	23,1	3	13,8	3	13,5	5	27,4	3	8,0	4	9	3	17,3	5	23,2	5
19	2017	16,7	2	7,2	2	5,9	5	20,3	2	3,9	2	2,4	3	13,3	5	17,0	4
20	2018	13,7	4	7,5	3	8,3	5	18,7	3	1,9	3	4,5	4	13,9	4	15,0	5
21	2019	13,8	2	5,6	2	9,5	4	18,3	2	0,6	2	9,5	4	10,5	4	2,6	3
22	2020	21,7	2	14,2	2	13,3	4	26,0	2	8,0	2	7,4	2	24,9	2	8,3	4
23	2021	17,8	3	9,4	3	11,2	4	23,2	3	5,7	2	5,7	4	18,6	4	5,2	3
24	2022	16,2	3	7,6	2	2,7	2	19,6	3	3,3	2	2,7	3	17,4	2	5,1	4
25	2023	16,9	2	9,5	3	6,0	5	20,5	2	5,2	3	1,7	5	**	**	9,3	3
26	2024	19,9	3	8,9	3	8,0	6	23,7	3	4,5	3	4,4	5	**	**	8,6	4
27	2025	19,6	3	10,5	3	4,2	5	23,1	3	5,3	1	2,9	2	**	**	4,8	5

Ghi chú: T* Tháng xuất hiện Smax.
** Năm nằm ngoài chuỗi dữ liệu phân tích.

Từ nội dung thống kê tại Bảng 4 có thể thấy rằng, Smax tại các trạm đo có sự biến động và diễn biến phức tạp. Trong thời kỳ quan trắc Smax phần lớn xuất hiện vào tháng 2 đến tháng 4 và một số trạm Smax xuất hiện vào tháng 1, tháng 5 và tháng 6 với tần suất thấp.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích xu thế XNM với các trạm đo trên địa bàn tỉnh Sóc Trăng (cũ) với chuỗi số liệu tin cậy và phù hợp từ năm 1999-2025 (tùy từng trạm) bằng phương pháp Mann - Kendall và ước lượng xu thế Sen. Trong số 08 trạm dùng tính toán, chỉ có 04 trạm đạt chuẩn để ước lượng xu thế Sen. Nhìn chung, độ mặn có xu hướng gia tăng ở 5/8 trạm và 3 trạm có xu hướng giảm theo số liệu đã tính toán. Trong đó, trạm Thạnh Phú và Trần Đề có xu thế biến đổi

Smax giảm rõ rệt so với trạm An Lạc Tây và Long Phú nguyên nhân là do việc vận hành các cống ngăn mặn khu vực Mỹ Tú và Ngã Năm kết hợp vận hành cống âu thuyền Ninh Quới xả nước đẩy mặn làm giảm độ mặn phục vụ các hoạt động sản xuất đã ngăn mặn phần nào đến khu vực trạm Thạnh Phú; ngoài ra tại khu vực cửa sông Trần Đề chịu tác động lớn bởi gió mạnh nên độ mặn tại cửa sông không quá cao nhưng độ mặn lại xâm nhập mạnh và sâu vào trong các nhánh sông chính như tại khu vực các trạm An Lạc Tây và Long Phú. Kết quả của nghiên cứu là tiền đề cơ sở để các cơ quan quản lý đưa ra các giải pháp cảnh báo sớm cũng như các biện pháp phòng ngừa ứng phó phù hợp trước tình hình XNM ngày càng biến động và diễn biến phức tạp.

Bên cạnh các kết quả đạt được, nghiên cứu vẫn còn hạn chế do độ dài chuỗi dữ liệu chưa nhất quán. Trong các nghiên cứu tiếp, nhóm

nghiên cứu sẽ xem xét áp dụng phương pháp phi tuyến trong đánh giá xu thế XNM, nhằm làm rõ các biến động phi tuyến theo từng giai đoạn.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: Cấn Thu Vần, Nguyễn Trọng Khanh, Lê Hoàng Nghiêm; Xử lý số liệu: Trần Thị Thúy An, Dương Thị Ngọc Thúy, Đỗ Huy Lập, Dương Văn Tuấn; Viết bản thảo bài báo: Cấn Thu Vần, Nguyễn Trọng Khanh; Chỉnh sửa bài báo: Cấn Thu Vần.

Lời cảm ơn: Kết quả của nghiên cứu này là một phần của đề tài: "Xây dựng công cụ dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn và mô phỏng lan truyền chất ô nhiễm trên hệ thống sông, kênh chính ở Tỉnh Sóc Trăng" theo hợp đồng số 31/HĐ-SKHCN của Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh.

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.

Tài liệu tham khảo

1. UBND Tỉnh Sóc Trăng (2024), *Báo cáo tổng hợp Quy hoạch Tỉnh Sóc Trăng thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050*.
2. Cổng thông tin điện tử Tỉnh Sóc Trăng (2025), *Điều kiện tự nhiên*. Truy cập tại soctrang.gov.vn › *Dieu-kien-tu-nhien-Soc-Trang*, 17/4/2025.
3. Nguyen Thanh Giao (2021), "Assessing impact of saline intrusion on rice cultivating area in Ke Sach district, Soc Trang province, Vietnam", *Journal of Agriculture Applied Biology*, vol. 2, no. 1, pp. 41-52, 2021.
4. Nguyễn Văn Bé và cộng sự (2017), "Ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến sản xuất nông nghiệp, thủy sản huyện Trần Đề, Tỉnh Sóc Trăng", *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 50, 94-100.
5. P. C. Nguyen et al. (2024), "Saltwater Intrusion and Agricultural Land Use Change in Nga Nam, Soc Trang, Vietnam," *Resources*, vol. 13, no. 2, p. 18.
6. Nguyễn Thị Hồng Diệp và cộng sự (2017), "Đánh giá tác động của xâm nhập mặn do biến đổi khí hậu trên hiện trạng canh tác lúa tại Tỉnh Sóc Trăng", *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, pp. 137-143, 2017.
7. Nguyễn Kim Khoa và cộng sự (2025), "Đánh giá tính dễ bị tổn thương dưới tác động của xâm nhập mặn trên các mô hình canh tác nông nghiệp tại Tỉnh Sóc Trăng năm 2023," *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 61, 176-189.
8. Phan Đình Khôi và cộng sự (2021), "Lựa chọn mô hình sản xuất của hệ trồng lúa trong điều kiện xâm nhập mặn: Trường hợp Cà Mau và Sóc Trăng," *Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ*, 57(5), 271-280.
9. Nguyễn Văn Bé và cộng sự (2017), "Thách thức trong sản xuất nông nghiệp ở huyện Mỹ Xuyên, Tỉnh Sóc Trăng dưới tác động của xâm nhập mặn," *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, 2, 187-196. DOI:10.22144/ctu.jsi.2017.067.
10. Nguyễn Văn Quỳnh Bôi và cộng sự (2020), "Ảnh hưởng của xâm nhập mặn và thời tiết cực đoan đến hoạt động ương-nuôi cá tra tại Sóc Trăng," *Tạp chí Khoa học-Công nghệ Thủy Sản*, Trường Đại học Nha Trang, 04, 002-010.
11. Sở Khoa học và Công nghệ Tỉnh Sóc Trăng (2023), *Xây dựng công cụ dự báo, cảnh báo xâm nhập mặn và mô phỏng lan truyền chất ô nhiễm trên hệ thống kênh thủy lợi phục vụ quản lý tài nguyên nước Tỉnh Sóc Trăng*.
12. Đài Khí tượng Thủy văn Tỉnh Sóc Trăng (2025), *Số liệu độ mặn tại các trạm đo*.
13. Vũ Thùy Linh và cộng sự (2019), "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," *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, Số phục vụ Hội thảo chuyên đề, 98-110. DOI: 10.36335/VNJHM.2019(EME2).98-110.
14. Nguyễn Văn Tín (2017), "Đánh giá xu thế biến đổi của lượng mưa thời đoạn lớn nhất khu vực thành

phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1971-2016 bằng kiểm định phi tham số Mann-Kendall", *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 11, 52-55.

15. Ngô Đức Thành và Phan Văn Tân (2012), "Kiểm nghiệm phi tham số xu thế biến đổi của một số yếu tố khí tượng cho giai đoạn 1961-2007", *Tạp chí khoa học, ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, 28, 129-135.
16. Đoàn Thị Ngọc Cảnh và cộng sự (2021), "Đánh giá xu thế biến đổi của các yếu tố khí tượng thủy văn khu vực Quảng Nam - Đà Nẵng bằng phương pháp ước lượng phi tham số", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ-Đại học Đà Nẵng*, 8-13.
17. F. Fernández-Chacón et al (2016), "Trends analysis of precipitation and temperature in the Alto Genil basin (Southeast Spain) from 1970 to 2010", in *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 2016, pp. EPSC2016-14606.
18. Ü. Güner Bacanlı (2017), "Trend analysis of precipitation and drought in the Aegean region, Turkey", *Meteorological Applications*, vol. 24, no. 2, pp. 239-249.
19. Pham Thi Minh et al. (2024), "Applying the Mann-Kendall method to test the change trend of rainfall and temperature in Bac Lieu province 1980-2022", *VNUHCM Journal of Earth Science Environment*, vol. 8, no. 2, pp. 975-987.
20. A. Mustapha (2013), "Detecting surface water quality trends using Mann-Kendall tests and Sen's slope estimates", *International Journal of Agriculture Innovations Research*, vol. 1, pp. 108-114.
21. R. Yadav et al. (2014), "Trend analysis by Mann-Kendall test for precipitation and temperature for thirteen districts of Uttarakhand", *Journal of Agrometeorology*, vol. 16, no. 2, pp. 164-171.
22. J. Mallick et al. (2021), "Analysing the trend of rainfall in Asir region of Saudi Arabia using the family of Mann-Kendall tests, innovative trend analysis, and detrended fluctuation analysis", *Theoretical Applied Climatology*, vol. 143, no. 1, pp. 823-841.
23. F. Aditya et al. (2021), "Rainfall trend analysis using Mann-Kendall and Sen's slope estimator test in West Kalimantan," in *IOP conference series: earth and environmental science*, vol. 893, no. 1, p. 012006: IOP Publishing.
24. S. Alashan (2024), "Non-monotonic trend analysis using Mann-Kendall with self-quantiles", *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 155, no. 2, pp. 901-910.
25. M. G. Kendall (1948), "Rank correlation methods", pp. 146-163.
26. R. O. Gilbert (1987), *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: John Wiley & Sons.
27. P. K. Sen (1968), "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", *Journal of the American statistical association*, vol. 63, no. 324, pp. 1379-1389.

ANALYSIS OF SALTWATER INTRUSION TRENDS IN FORMER SOC TRANG PROVINCE USING NON-PARAMETRIC STATISTICAL METHODS

Nguyen Trong Khanh⁽¹⁾, Le Hoang Nghiem⁽¹⁾, Tran Thi Thuy An⁽¹⁾,
Duong Ngoc Thuy⁽²⁾, Do Huy Lap⁽³⁾, Duong Van Tuan⁽⁴⁾, Can Thu Van⁽¹⁾

⁽¹⁾Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment

⁽²⁾Can Tho City Center for Natural Resources and Environment Monitoring

⁽³⁾Can Tho City Meteorological and Hydrological Station

⁽⁴⁾NetPlus Joint Stock Company

Received: 22/7/2025; Accepted: 25/8/2025

Abstract: Saltwater intrusion (SWI) in Soc Trang Province (former), located at the downstream end of

the Hau River and adjacent to the sea, is complex, with salinity increasingly penetrating inland, affecting agriculture, freshwater resources, soil quality, and socio-economic development. This study analyzes SWI trends at monitoring stations across the province using the non-parametric Mann-Kendall test and Sen's slope estimator. Results indicate that maximum salinity (S_{max}) at most stations occurs between February and April. Increasing trends were detected at five stations: Long Phu, Dai Ngai, An Lac Tay, Soc Trang, and Khanh Hoa, with the strongest increases at An Lac Tay and Long Phu ($S = 136$ and 92). In contrast, Tran De and Thanh Phu showed decreasing trends ($S = -170$ and -80), primarily due to the operation of salinity control sluices in the My Tu, Nga Nam, and Ninh Quoi areas, which reduce salinity and limit intrusion. At Tran De estuary, strong winds maintain low salinity locally, though intrusion occurs further inland via main river branches. Statistically, considering $\alpha < 0.1$, only Long Phu, Thanh Phu, Tran De, and An Lac Tay showed significant trends. This study provides a basis for developing early warning and risk prevention measures related to water supply and socio-economic development in the region.

Keywords: Trend analysis, saltwater intrusion, Mann-Kendall test, Sen's slope.