

Bài báo khoa học

Đánh giá tính dễ tổn thương do xâm nhập mặn đến nông nghiệp ở các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long

Trần Thị Kim¹, Phùng Thị Mỹ Diễm¹, Hoàng Phan Phương Quỳnh¹, Ngô Nam Thịnh¹, Lê Thị Kim Thoa^{1*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Tp.HCM; ttkim@hcmunre.edu.vn ; diemtm@hcmunre.edu.vn; nnthinh@hcmunre.edu.vn; thoa.ltk@hcmunre.edu.vn.

*Tác giả liên hệ: thoa.ltk@hcmunre.edu.vn;; Tel.: +84–936854385

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2023; Ngày phản biện xong: 23/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

Tóm tắt: Đồng bằng sông Cửu Long là vùng sản xuất nông nghiệp chính ở Việt Nam, có vùng đất cửa sông ven biển với chế độ thủy văn phức tạp do chịu ảnh hưởng của dòng chảy sông Mê Kông và thủy triều. Nghiên cứu này tập trung đánh giá tính dễ bị tổn thương do xâm nhập mặn đến nông nghiệp ở Đồng bằng sông Cửu Long, có xét đến ảnh hưởng nước biển dâng bằng phương pháp AHP và mô hình hóa. Các thành phần về khả năng thích ứng, phơi nhiễm và độ nhạy của ngành nông nghiệp được tính toán và từ đó, xác định mức độ tổn thương của từng tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long trong năm 2020 và dự báo đến 2050. Kết quả nghiên cứu cho thấy các chỉ số tổn thương có sự thay đổi trong các tỉnh ĐBSCL, tỉnh Trà Vinh có chỉ số tổn thương tăng đến 62,16 năm 2050, trong khi năm 2020 chỉ ghi nhận được 55,74. Chỉ số tổn thương ở Vĩnh Long và Kiên Giang ghi nhận dấu hiệu giảm, còn tương ứng 43 và 58,92, so với năm 2020 là 61,36 và 59,3. Kết quả là cơ sở khoa học phục vụ cho các quy hoạch nông nghiệp, phát triển kinh tế - xã hội tại địa phương.

Từ khóa: Đồng bằng sông Cửu Long; Xâm nhập mặn; Tính dễ bị tổn thương; Khả năng thích ứng, Phơi nhiễm; Độ nhạy.

1. Giới thiệu

Theo tiếp cận mới hiện nay trong việc ứng phó với thiên tai là dựa trên tiếp cận quản lý rủi ro. Rủi ro (RR) là khả năng xảy ra một sự kiện bất lợi hoặc mất mát trong tương lai. Hay là tần suất của các hậu quả gây hại hoặc các mất mát được kỳ vọng (người chết, thương vong, tài sản, kế sinh nhai, các hoạt động kinh tế bị gián đoạn hoặc môi trường bị thiệt hại) do kết quả từ các tương tác giữa hiểm họa tự nhiên (hoặc do con người tạo ra) và các tình trạng dễ bị tổn thương [1]. Tính dễ bị tổn thương (TDBTT) thể hiện mức độ mất mát hoặc tổn hại có thể hoặc thiệt hại đến con người, các tòa nhà và môi trường do hiểm họa thiên nhiên gây ra. TDBTT thể hiện tính nhạy cảm khi bị ảnh hưởng [2, 3]. Năm 1979, tổ chức cứu trợ thiên tai của Liên Hợp Quốc (UNDRO) và Tổ chức Giáo dục, Khoa học và Văn hóa Liên Hợp Quốc (UNESCO) bắt đầu đưa ra khái niệm về hiểm họa, TDBTT, RR, yếu tố rủi ro hay phơi nhiễm, rủi ro tổng hợp. Theo tiếp cận này, nhiều nghiên cứu đã được triển khai và thực hiện để đưa ra những bộ chỉ thị cho đánh giá TDBTT bằng chỉ số. Lisa K. Flax đã xây dựng công cụ đánh giá TDBTT của cộng đồng (CVAT) hỗ trợ các nhà quản lý và lập kế hoạch khẩn cấp trong nỗ lực giảm thiểu TDBTT [4]. Tác giả [5] đã xem xét các phương pháp đánh giá lũ lụt và so sánh lợi ích và hạn chế của chúng. Nghiên cứu này kết luận rằng phương pháp tiếp cận dựa trên chỉ số về TDBTT do lũ lụt nói chung ở từng khu vực hơn là

các phương pháp tiếp cận khác. Nghiên cứu [6] đã đánh giá TDBTT do lũ lụt ở lưu vực sông Bến Hải - Thạch Hãn, đặc biệt là tỉnh Quảng Trị thuộc miền Trung Việt Nam, nơi lũ lụt hàng năm xảy ra từ tháng 9 đến tháng 11. Khung đánh giá TDBTT được sử dụng để tính toán các chỉ số TDBTT do lũ lụt (FVI) dưới các khía cạnh kinh tế xã hội, môi trường và vật lý. Tác giả [7] đã nghiên cứu ảnh hưởng của xâm nhập mặn (XNM) đến hệ sinh thái nông nghiệp theo không gian và thời gian thông qua Các cuộc phỏng vấn hộ gia đình và chuyên gia, thảo luận nhóm nhằm tập trung và đánh giá các văn bản chính sách được sử dụng để nắm bắt các vấn đề về độ mặn trong quá khứ cũng như những thay đổi trong hệ thống canh tác. Tuy nhiên, [8] cũng chỉ ra điểm thách thức trong hạn chế về đánh giá TDBTT, đó là hạn chế về phạm vi (khu vực) đánh giá. Điều này cho thấy từng địa phương tương ứng với từng khía cạnh sẽ có các chỉ thị và trọng số đánh giá khác nhau dựa trên khung đánh giá tổn thương chung [8–10]. Các nghiên cứu đánh giá TDBTT phổ biến dựa trên 3 thành phần: Độ phơi nhiễm (ĐPN), độ nhạy (ĐN) và khả năng thích ứng (KNTU) [11–23].

Để đánh giá TDBTT, phương pháp được dùng phổ biến là phương pháp phân tích thứ bậc (AHP). Phương pháp này đã được áp dụng phổ biến và rộng rãi trên thế giới [14, 15, 18, 19] và cả Việt Nam [11–13, 16, 17, 20, 21, 23] trong việc đánh giá tình tổn thương. Tác giả [19] đã đánh giá tổn thương hệ sinh thái sử dụng GIS và AHP cho khu vực cao nguyên ở Trung Quốc dựa trên các yếu tố tự nhiên, yếu tố môi trường và yếu tố kinh tế xã hội của Diên An năm 1997, 2004 và 2011. Tác giả [15] cũng đã dự đoán TDBTT của các khu vực có nguy cơ lũ lụt bằng phương pháp GIS và AHP. Việc lập bản đồ TDBTT do lũ dựa theo cách tiếp cận đa thông số và tích hợp một số yếu tố gây lũ lụt như phân bố lượng mưa, độ cao và độ dốc, mạng lưới thoát nước và mật độ, sử dụng đất/lớp phủ đất và loại đất. Các nghiên cứu cho thấy việc bản đồ hóa TDBTT bằng chỉ số hiệu quả trong việc cung cấp cơ sở dữ liệu trong dự báo và quy hoạch những khu vực tổn thương cao do thiên tai. Tại Việt Nam, tác giả [17] đã đánh giá TDBTT do thiên tai tại các xã thuộc thành phố Quy Nhơn, Bình Định bằng phương pháp AHP. Trong nghiên cứu này, sự thiệt hại có quan hệ chặt chẽ với độ phơi lộ, ĐN và KNTU. Cùng với hướng trên, tác giả [16] cũng đã áp dụng phương pháp tính toán trọng số AHP để xác định TDBTT dưới tác động của biến đổi khí hậu tại Côn Đảo. Bộ chỉ số tổn thương trong nghiên cứu này được xây dựng với 3 thành phần: ĐPN, ĐN và KNTU [11, 20, 22]. Tác giả [21] đã áp dụng phương pháp AHP để xác định TDBTT về sinh kế SVI của nông hộ trong bối cảnh ảnh hưởng của sự thay đổi lũ ở thượng nguồn sông Mê Kông. Nghiên cứu này chỉ ra rằng, nguồn vốn là yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến sinh kế của địa phương.

Việt Nam đang chịu nhiều tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) [24], đặc biệt, Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là một trong những quan trọng nhất của nước đang chịu áp lực lớn từ sự BĐKH và xâm nhập mặn. Vùng ĐBSCL không chỉ là một trong những khu vực nông nghiệp chính của Việt Nam [25], mà còn là trọng điểm của nền kinh tế và sinh thái quốc gia. Tuy nhiên, hiện nay, khí hậu trong vùng biến đổi theo hướng không thuận lợi cho hoạt động nông nghiệp. Những vấn đề như thiếu nước ngọt trong mùa khô, thay đổi mùa mưa, và sự tăng mực nước biển dâng đã dẫn đến sự xâm nhập mặn sâu vào nội đồng. Khu vực các cửa sông của ĐBSCL, là bộ phận quan trọng của dòng sông Mê Kông, chịu ảnh hưởng đồng thời từ sông Mê Kông và thủy triều [26, 27]. Vào mùa khô, sự kết hợp giữa nước từ thượng nguồn suy giảm và thủy triều biển dâng đã ảnh hưởng đến nông nghiệp, đặc biệt là trong điều kiện BĐKH. Sự gia tăng mực nước biển dẫn đến XNM ăn sâu vào nội đồng, ảnh hưởng nông nghiệp và cuộc sống hàng ngày của người dân [28]. Có rất nhiều nghiên cứu về XNM đã được thực hiện ở ĐCSCL bằng mô hình toán [26, 29–33]. Tác giả [26] đã xác định ranh giới mặn 2,5 g/l sẽ dịch chuyển lên tới 15 km về phía thượng nguồn trên các nhánh chính của sông với giả định mực nước biển dâng (NBD) 20 cm và giảm 38% lưu lượng vào năm 2030. Tác giả [27] cũng đã mô phỏng ranh mặn 4 g/l sẽ ăn sâu vào nội đồng 6-10 km theo kịch bản NBD 0,5 m và hơn 20 km theo kịch bản NBD 1 m. Điều này có thể ảnh hưởng tương ứng từ 132.500 đến 331.000 ha, ảnh hưởng đến hệ thống

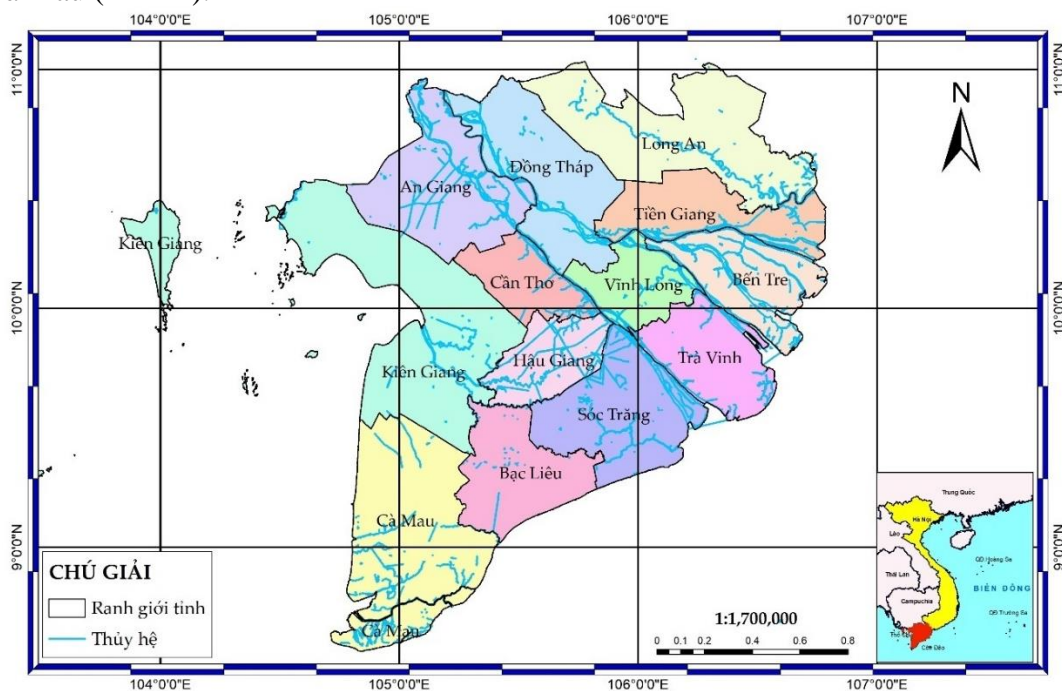
thủy lợi ở Gò Công, Ba Lai và Nam Mang Thít. Theo nghiên cứu [34], trong số 13 tỉnh ở ĐBSCL thì có 9 tỉnh bị ảnh hưởng XNM nghiêm trọng và tất cả các tỉnh đều bị thiếu nước. Hiện có khoảng 400.000 ha đất trồng trọt bị nhiễm mặn, trong đó 238.276 ha là ruộng lúa [35]. Do đó, việc đánh giá ảnh hưởng của giá ảnh hưởng của XNM đến nông nghiệp trong bối cảnh BĐKH là cần thiết cho việc quy hoạch nông nghiệp, phát triển kinh tế - xã hội khu vực ĐBSCL.

Từ các phân tích trên, nghiên cứu này tập trung đánh giá về TDBTT của yếu tố XNM đến nông nghiệp ở ĐBSCL trong bối cảnh NBD năm 2050. Nghiên cứu đã đánh giá được KNTU, ĐPN và ĐN của ngành nông nghiệp và từ đó, đưa ra đánh giá TBDTT của từng tỉnh ĐBSCL. Điểm đóng góp của nghiên cứu này là việc đánh giá ảnh hưởng của XNM đến nông nghiệp có xét đến các yếu tố xã hội, kinh tế và môi trường một cách tổng thể tại ĐBSCL. Kết quả nghiên cứu cho thấy được TDBTT do XNM đến nông nghiệp, đây là cơ sở khoa học phục vụ cho các quy hoạch nông nghiệp, phát triển kinh tế - xã hội khu vực ĐBSCL ứng với tương lai khi có ảnh hưởng của NBD.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu bao gồm 13 tỉnh: Long An, Bến Tre, Tiền Giang, Vĩnh Long, Đồng Tháp, Trà Vinh, An Giang, Cần Thơ, Hậu Giang, Sóc Trăng, Bạc Liêu, Kiên Giang, và Cà Mau (Hình 1).



Hình 1. Phạm vi nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu thu thập

Các dữ liệu cho tính toán tổn thương thu thập được trình bày như Bảng 1.

Số liệu cho mô hình MIKE 11 bao gồm các bản đồ địa hình khu vực ĐBSCL được thu thập theo hệ tọa độ địa lý hoặc UTM.

Các dữ liệu đầu vào biên mực nước lưu lượng theo giờ, được thu thập từ các trạm đo đặc thủy văn trên khu vực ĐBSCL như An Thuận, Bến Lức, Bến Trại, Biên Hòa, Bình Đại, Cà Mau, Cần Thơ, Cao Lãnh, Châu Đốc, Chợ Lách, Đại Ngải, Gành Hào, Long Xuyên, Mộc Hóa, Mỹ Tho, Mỹ Thuận, Năm Căn, Rạch Giá, Sông Đốc, Tân Châu, Trà Vinh. Số

liệu năm 2020 được thu thập từ đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ dùng làm biên, và tháng 04/2009, 03/2014 để kiểm tra mô hình.

Dữ liệu thủy văn lưu lượng năm 2020 tại Tân Châu và Châu Đốc được sử dụng làm biên thượng. Biên hạ gồm các biên mực nước biển sử dụng số liệu thực đo của các trạm thủy văn tại các trạm An Thuận, Bến Trại, Bình Đại, Gành Hào, Nam Căn, Rạch Giá, Sông Đốc, Trần Đề, Vàm Kênh, Vũng Tàu, Xẻo Rô.

Số liệu mặn thực đo theo giờ tại trạm thủy văn Gành Hào và Phước Long trong 3 ngày 19, 20, 21 tháng 3 năm 2014 được sử dụng để kiểm tra mô hình.

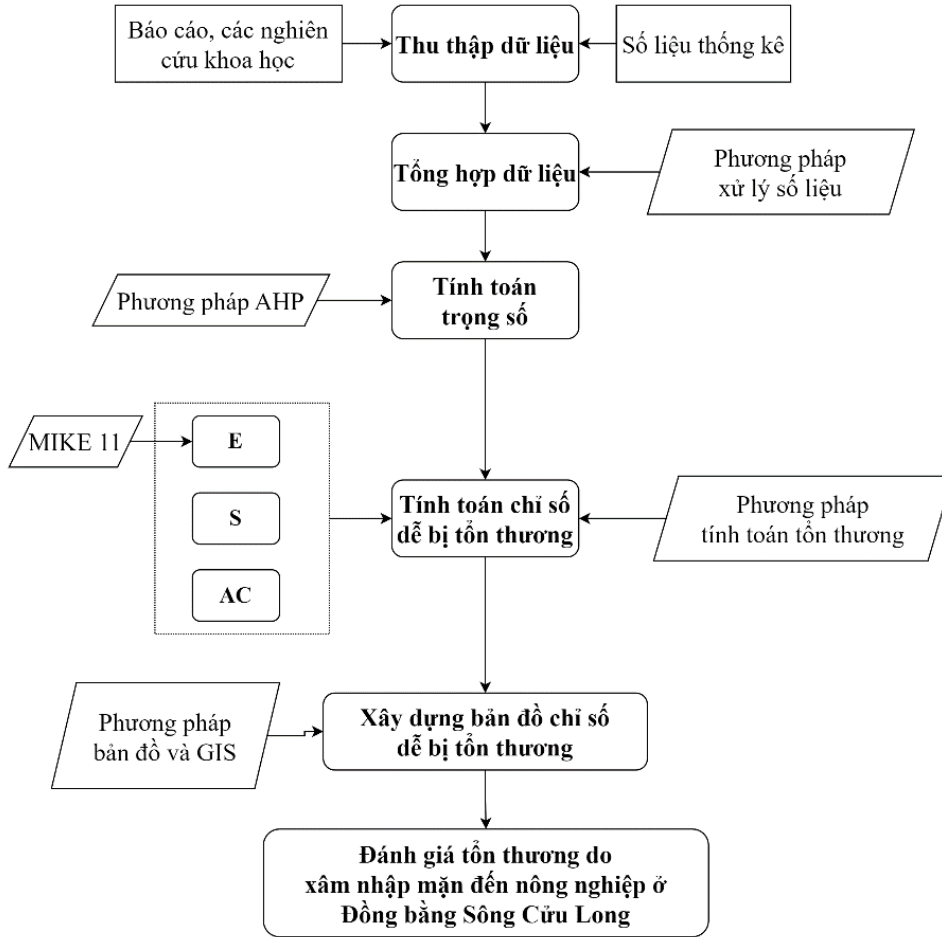
Bảng 1. Bảng dữ liệu.

Nhóm chỉ tiêu	Chỉ tiêu	Ký hiệu	Nguồn thu thập
Dân số (S_{ds})	Diện tích (Km^2)	S.ds.1	Niên giám thống kê 2020
	Dân số nông thôn trung bình phân theo địa phương (Nghìn người)	S.ds.2	Niên giám thống kê 2020
	Lực lượng lao động từ 15 tuổi trở lên phân theo địa phương (Nghìn người)	S.ds.3	Niên giám thống kê 2020
	Tỷ lệ lao động từ 15 tuổi trở lên đã qua đào tạo (%)	S.ds.4	Niên giám thống kê 2020
	Tỷ lệ hộ nghèo phân theo địa phương (%)	S.ds.5	Niên giám thống kê 2020
Điều kiện tự nhiên (S_{dk})	Đất nông nghiệp (Ha)	S.dk.1	Niên giám thống kê 2020
	Đất lâm nghiệp (ha)	S.dk.2	Niên giám thống kê 2020
Điều kiện Kinh tế (S_{kt})	Diện tích lúa cả năm phân theo địa phương (km^2)	S.kt.1	Niên giám thống kê 2020
	Năng suất lúa cả năm phân theo địa phương (Ha)	S.kt.2	Niên giám thống kê 2020
	Sản lượng lúa cả năm phân theo địa phương (Triệu/tấn)	S.kt.3	Niên giám thống kê 2020
	Sản lượng thủy sản phân theo địa phương (Nghìn tấn)	S.kt.4	Niên giám thống kê 2020
	Sản lượng thủy sản khai thác phân theo địa phương (Nghìn tấn)	S.kt.5	Niên giám thống kê 2020
	Sản lượng thủy sản nuôi trồng phân theo địa phương (Nghìn tấn)	S.kt.6	Niên giám thống kê 2020
Cộng đồng dân cư (A_{cd})	Thu nhập bình quân đầu người một tháng năm 2020 theo giá hiện hành phân theo nguồn thu và theo địa phương (Nghìn đồng)	A.cd.1	Niên giám thống kê 2020
	Số dân bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn (%)	A.cd.2	Báo cáo kinh tế xã hội các tỉnh năm 2020
Chính quyền địa phương (A_{cq})	Số trạm quan trắc mặn	A.cq.1	Kế thừa từ dự án: “Lập quy trình vận hành công ĐBSCL” do Viện Khoa học Thủy lợi miền nam chủ trì năm 2020
	Cổng	A.cq.2	Kế thừa từ dự án: “Lập quy trình vận hành công ĐBSCL” do Viện Khoa học Thủy lợi miền nam chủ trì năm 2017

Ngoài ra, mô hình còn sử dụng các dữ liệu mặt cắt sông thu thập trên toàn khu vực nghiên cứu và các dữ liệu về công trình thủy văn như hệ thống điều tiết, các cửa cống, các đập tràn...

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để đánh giá TDBTT do XNM đối với nông nghiệp ở các tỉnh ĐBSCL, nghiên cứu đã áp dụng phương pháp tính trọng số để tối ưu hóa tính toán đa biến và các đặc điểm định tính. Quá trình tính TDBTT do XNM đối với nông nghiệp ở các tỉnh ĐBSCL được thực hiện như khung sau (Hình 2).



Hình 2. Khung định hướng nghiên cứu.

2.3.1. Phương pháp chỉ số

TDBTT do XNM (V) được tính toán theo công thức (1):

$$V = \frac{E + S + (100 - AC)}{3} \quad (1)$$

Trong đó công thức tính thành phần E, S và AC được trình bày như Bảng 2 và kết quả tính toán sẽ được phân cấp thành 04 mức độ khác nhau:



Bảng 2. Công thức tính toán các chỉ số thành phần của chỉ số TDBTT do XNM [36-38].

Thành phần E	Thành phần S	Thành phần AC
$E = \sum_{i=1}^n E_i \times W_{E_i}$	$S = \sum_{i=1}^n S_i \times W_{S_i}$	$AC = \sum_{i=1}^n AC_i \times W_{AC_i}$
- E: CS khả năng phơi nhiễm với XNM	- S: CS mức DN cảm với XNM	- AC: CS năng lực thích ứng với XNM
- E_i biến số thứ i đã chuẩn hóa	- S_i biến số thứ i đã chuẩn hóa	- AC_i biến số thứ i đã chuẩn hóa
- W_{E_i} trọng số ưu tiên của các	- W_{S_i} trọng số ưu tiên của các	

Thành phần E	Thành phần S	Thành phần AC
biến phụ thứ i	biến phụ thứ i	- W_{AC_i} trọng số ưu tiên của các biến phụ thứ i
- n số lượng chỉ thị thành phần	- n số lượng chỉ thị thành phần	- n số lượng chỉ thị thành phần

2.3.2. Chuẩn hóa các giá trị

Có hai loại hàm thường được sử dụng để chuẩn hóa giá trị [39]: Nếu các chỉ số tương quan thuận với RR, chuẩn hóa được thực hiện với công thức (2). Ngược lại, nếu có mối quan hệ nghịch, thì quá trình chuẩn hóa được thực hiện bằng cách sử dụng công thức (3):

$$\text{Chỉ số} = \frac{\text{Giá trị } i - \text{giá trị thấp nhất}}{\text{Giá trị cao nhất} - \text{Giá trị thấp nhất}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Chỉ số} = \frac{\text{Giá trị cao nhất} - \text{Giá trị } i}{\text{Giá trị cao nhất} - \text{Giá trị thấp nhất}} \times 100 \quad (3)$$

2.3.3. Phương pháp so sánh thứ bậc AHP

Tiếp theo, nhóm nghiên cứu đã áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) [40] để tìm các trọng số cho các tiêu chí với bốn bước sau:

Bước 1. Phân rã vấn đề ra thành các phần nhỏ hơn, sau đó, xây dựng hệ thống phân cấp AHP

Bước 2. Thiết lập ma trận để so sánh các chỉ tiêu

Bước 3. Tính trọng số cho các chỉ tiêu

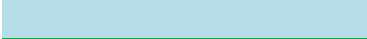




Bước 4. Kiểm tra tính thống nhất và tổng hợp kết quả

Kết quả khảo sát sẽ được tổng hợp bằng phương pháp trung bình nhân.

2.3.4. Phương pháp GIS thành lập bản đồ

Nghiên cứu đã sử dụng GIS để xây dựng bản đồ đánh giá TDBTT do XNM (V), màu sắc quy định mức độ tổn thương dựa theo [41] được thống nhất như trong Bảng 3.

Bảng 3. Thang mức độ dễ bị tổn thương.

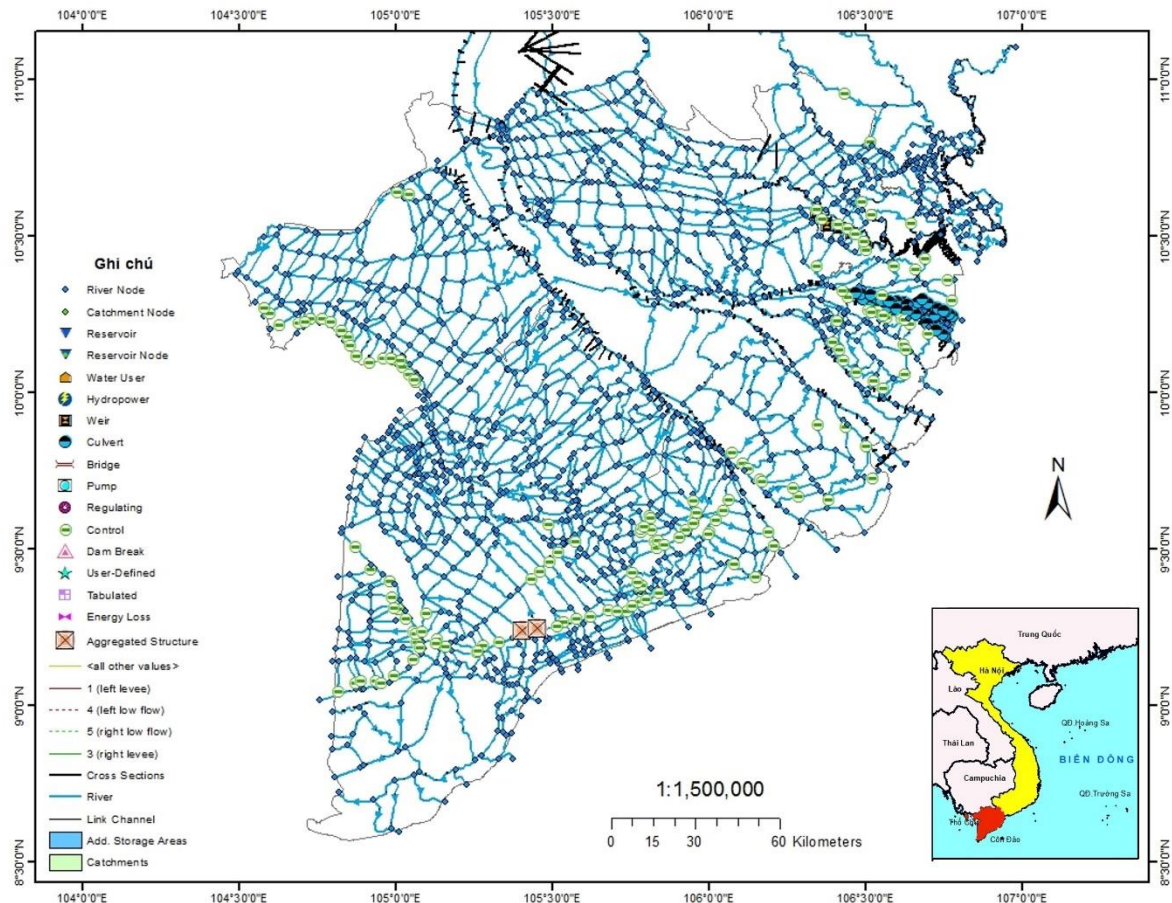
STT	TBDDT	Mức độ tổn thương	Bảng màu
1	$0 < V \leq 0.2$	Tổn thương không đáng kể	
2	$20 < V \leq 40$	Tổn thương vừa phải	
3	$40 < V \leq 60$	Tổn thương tương đối	
4	$60 < V \leq 80$	Tổn thương lớn	
5	$80 < V \leq 100$	Tổn thương rất lớn	

2.3.5. Mô hình Mike 11

Trong nghiên cứu này, sự lan truyền mặn được mô phỏng bằng mô hình Mike 11. Mike 11 là mô hình thủy động lực học 1 chiều, dựa xây dựng trên phương trình một chiều Saint – Venant. Đây là một hệ thống mô hình phổ biến có thể được sử dụng để quản lý tài nguyên nước. Mô hình này được do Viện Thủy lực Đan Mạch (DHI) (<http://www.mikebydhi.com>) phát triển, được thiết kế để mô phỏng dòng chảy trong sông và kênh rạch, bao gồm một số mô-đun sau: mưa-dòng chảy (RR), thủy động lực học (HD), tải - khuếch tán (AD), v.v. [42].

2.3.6. Thiết lập mô hình

Mạng sông trong khu vực nghiên cứu được thể hiện bằng một hệ thống bao gồm 12,681 điểm tính toán liên quan đến lưu lượng và mực nước, 1,116 nhánh sông lớn và nhỏ, 4 đập tràn, 54 cửa cống, và 155 công trình điều tiết thủy lợi được kế thừa từ đề tài [43].



Hình 3. Mạng thủy lực sông.

Điều kiện biên:

Đối với mô hình thủy lực: (1) Biên thượng lưu: lưu lượng giờ năm 2009, 2014 và 2020 tại Tân Châu và Châu Đốc; (2) Biên hạ lưu: mực nước biển theo giờ tại các trạm thủy văn An Thuận, Bến Trại, Bình Đại, Gành Hào, Năm Căn, Rạch Giá, Sông Đốc, Trần Đề, Vàm Kênh, Vũng Tàu và Xẻo Rô.

Đối với mô hình XNM: Biên thượng thiết lập là 0,1 PSU, và biên hạ trong khoảng 28 - 33 PSU.

Điều kiện ban đầu: Mực nước tĩnh với bước thời gian 30s.

2.3.7. Các kịch bản tính toán

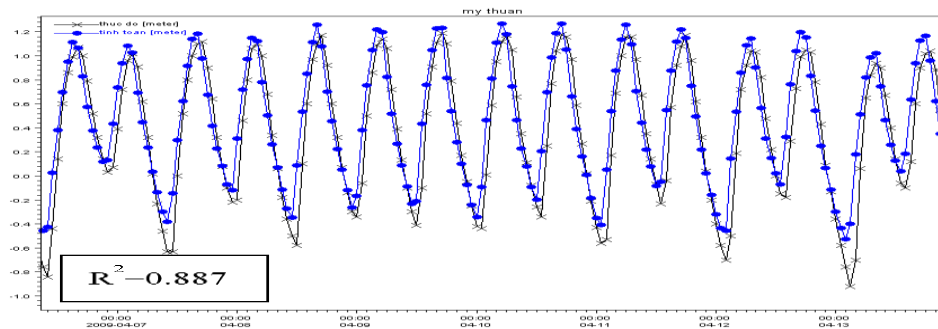
Trong nghiên cứu này, hai kịch bản được tính toán gồm: (1) Kịch bản năm 2020: Kịch bản hiện trạng; (2) Kịch bản năm 2050: Mực NBD 0,28 m, các dữ liệu về ĐN và KNTU giữ nguyên như năm 2020.

3. Kết quả và thảo luận

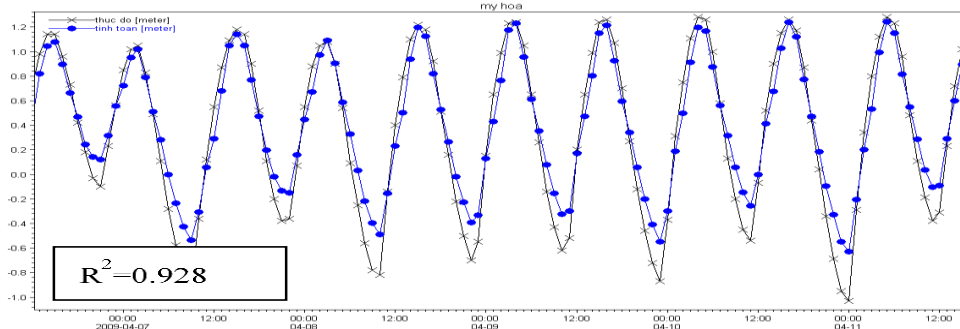
3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

3.1.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Hiệu chỉnh mô hình thủy lực: Quá trình hiệu chỉnh vào tháng 04/2009 và quá trình kiểm định được thực hiện vào tháng 03/2014. Kết quả của quá trình hiệu chỉnh mực nước tại hai trạm thủy văn điển hình (Mỹ Thuận và Mỹ Hóa) đã được trình bày trong Hình 4 và Hình 5.



Hình 4. Hiệu chỉnh mực nước tính toán và thực đo tại Mỹ Thuận, tháng 4/2009.



Hình 5. Hiệu chỉnh mực nước tính toán và thực đo tại Mỹ Hoá, tháng 4/2009.

Kết quả tính toán cho hệ số NASH và hệ số tương quan mực nước (R^2) tại trạm Mỹ Thuận (NASH = 0,82; R^2 = 0,88) và Mỹ Hóa (NASH = 0,84; R^2 = 0,92) cho thấy rằng kết quả của mô hình khá tốt khi mực nước biến đổi từ mức thấp lên cao và ngược lại. Tuy nhiên, độ chính xác giảm xuống ở các điểm đỉnh và chân của sóng nước.

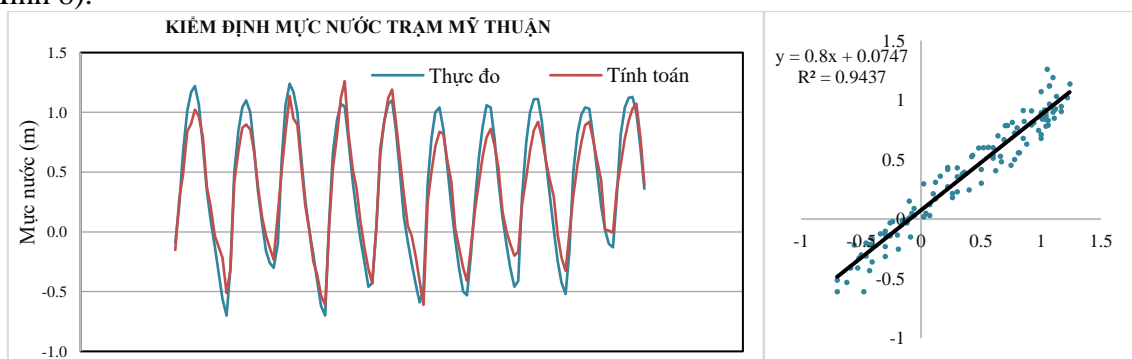
Trong quá trình thiết lập và hiệu chỉnh mô hình thủy lực, đã thực hiện tối ưu hóa bộ thông số thủy lực như sau:

- + Hệ số nhám Manning đã được điều chỉnh để phù hợp với khu vực nghiên cứu và nằm trong khoảng từ 30 đến 45 $m^{1/3}/s$.

- + Điều kiện ban đầu của mực nước: Mực nước ban đầu đã được đặt ở mức 0,5 mét.

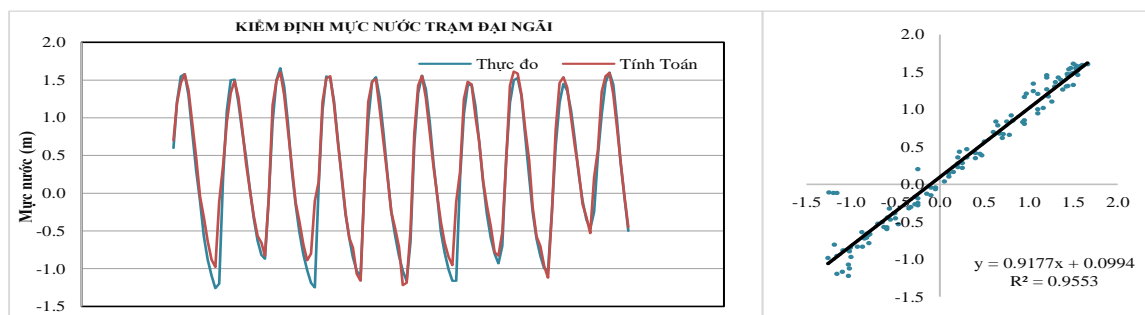
- + Điều kiện lưu lượng ban đầu: Lưu lượng ban đầu đã được thiết lập ở mức 10 m^3/s .

Kiểm định mô hình thủy lực: Kết quả kiểm định mực nước đã được thực hiện vào tháng 3/2014 tại các trạm điển hình, bao gồm Mỹ Thuận, Đại Ngãi và Cần Thơ (Hình 6 - Hình 8).

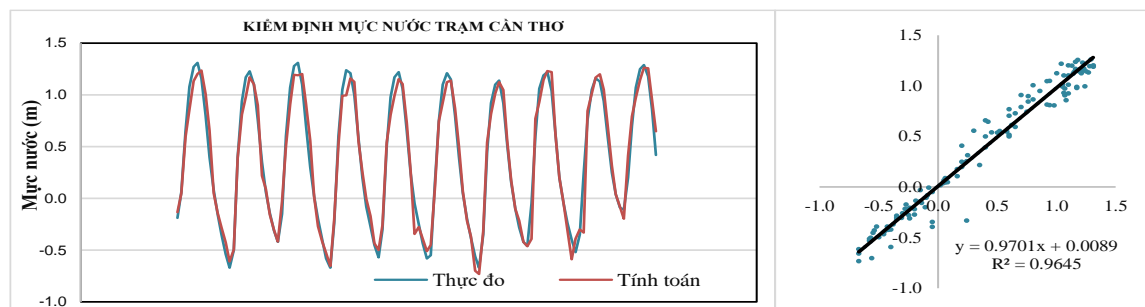


Hình 6. Kết quả kiểm định mực nước và tương quan trạm Mỹ Thuận T3/2014.

Kết quả hiệu chỉnh thủy lực tại các trạm đo đã đạt được kết quả rất tốt. Tại trạm Mỹ Thuận, hệ số tương quan R^2 đạt 0,94 và hệ số NASH là 0,91. Tương tự, tại trạm Đại Ngãi thu được hệ số tương quan R^2 = 0,95, hệ số NASH = 0,91. Cuối cùng, tại trạm Cần Thơ, kết quả cho thấy hệ số tương quan R^2 = 0,96, hệ số NASH là 0,92.

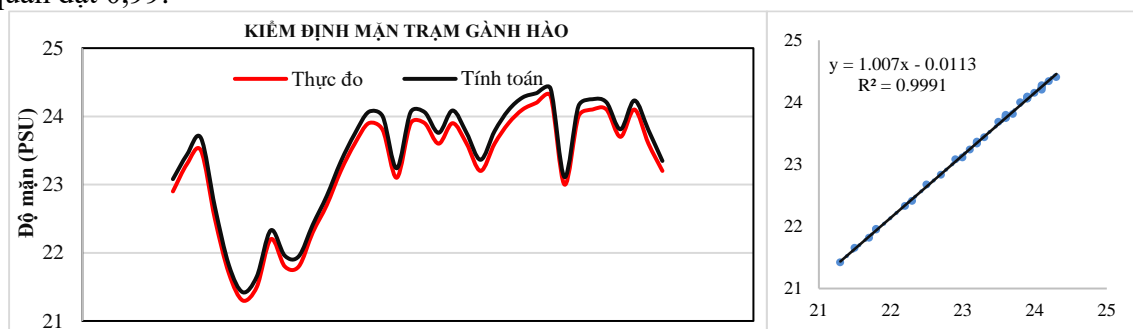


Hình 7. Kết quả kiểm định mực nước và tương quan trạm Đại Ngãi T3/2014.

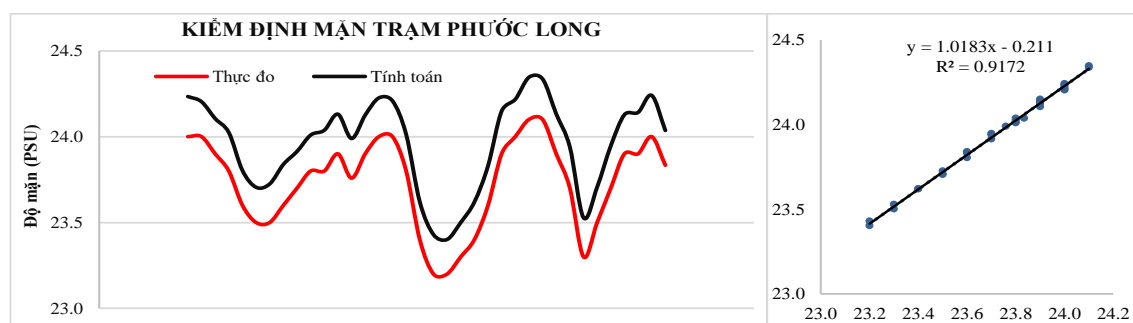


Hình 8. Kết quả kiểm định mực nước và tương quan trạm Cần Thơ T3/2014.

Kết quả kiểm định mô hình thủy lực tại các trạm Mỹ Thuận, Đại Ngãi và Cần Thơ đều cho thấy kết quả rất tốt. Hệ số tương quan R^2 đều vượt trên 0,9, điều này cho thấy rằng mô hình thủy lực được áp dụng phù hợp với dữ liệu thực tế. Do đó, bộ thông số mô hình đã được lựa chọn sẽ được sử dụng để tính toán thủy lực cho các kịch bản khác nhau. Hiệu chỉnh mô hình lan truyền mặn: Kết quả của mô hình XNM đã được so sánh với dữ liệu mặn thực tế tại trạm thủy văn Gành Hào và Phước Long trong 3 ngày (19, 20, 21 tháng 3 năm 2014) với hệ số khuếch tán đã điều chỉnh là 50. Kết quả hiệu chỉnh của mô hình XNM cho thấy sự tương quan tương đối tốt với tình hình thực tế tại tỉnh Bạc Liêu. Trong mùa khô tại trạm Gành Hào, giá trị XNM dao động trong khoảng từ 21 đến 25 PSU. Điều này cho thấy mô hình có một mức độ tương quan mạnh với dữ liệu quan sát thực tế, với hệ số tương quan đạt 0,99.



Hình 9. Kết quả kiểm định mặn và tương quan tại trạm Gành Hào.



Hình 10. Kết quả kiểm định mặn và tương quan tại trạm Phước Long.

Kết quả tính toán XNM đã được kiểm tra và cho thấy phù hợp với tình hình XNM thực tế tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Tại cửa sông Gành Hào ở tỉnh Bạc Liêu, giá trị XNM tính toán trong tháng 3 dao động từ 21 đến 26 PSU. Tại ngã tư Phước Long ở tỉnh Bạc Liêu trên Kênh Quản Lộ - Phụng Hiệp (kênh nội đồng), độ mặn dao động từ 20 đến 25 PSU. Cuối cùng, tại ngã tư Ninh Quới ở tỉnh Bạc Liêu trên kênh Quản Lộ - Phụng Hiệp, trong tháng 3 năm 2014, giá trị XNM tính toán dao động từ 10 đến 16 PSU.

3.2. Lựa chọn các tham số

3.2.1. Thành phần E

Bằng cách tham vấn các chuyên gia, thành phần E được xác định dựa trên ba nhóm yếu tố chính: độ mặn PSU, biến đổi độ mặn, và thời gian nhiễm mặn (Bảng 4).

Bảng 4. Thành phần E.

Nhóm	Chỉ tiêu	Chỉ thị	Kí hiệu	Tương quan
Thành phần E	Độ mặn	Độ mặn PSU (g/l)	E1	Hàm quan hệ thuận
		Dao động mặn (%)	E2	Hàm quan hệ thuận
		Thời gian mặn/ ngày (giờ)	E3	Hàm quan hệ thuận

3.2.2. Thành phần S

Các số liệu về thành phần S được chia thành ba nhóm chính: dân số, xã hội và điều kiện tự nhiên. Ba chỉ tiêu với 13 chỉ thị cơ bản này đánh giá các yếu tố quan trọng liên quan đến nông nghiệp, đặc biệt là những yếu tố ảnh hưởng đến XNM. Bảng 5 hiển thị các chỉ số nhạy cảm với XNM trong vùng ĐBSCL.

Bảng 5. Bộ chỉ số nhạy cảm (S).

Nhóm	Chỉ tiêu	Kí hiệu	Tương quan
Thành phần S	S _{ds}	S.xh.1	Hàm quan hệ thuận
		S.xh.2	Hàm quan hệ thuận
		S.xh.3	Hàm quan hệ thuận
		S.xh.4	Hàm quan hệ thuận
		S.xh.5	Hàm quan hệ thuận
	S _{dk}	S.dk.1	Hàm quan hệ thuận
		S.dk.2	Hàm quan hệ thuận
	S _{kt}	S.kt.1	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.2	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.3	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.4	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.5	Hàm quan hệ thuận
		S.kt.6	Hàm quan hệ thuận

3.2.3. Thành phần AC

Các số liệu về thành phần AC của cộng đồng dân cư đo lường khả năng của người dân trong việc thích ứng sau khi gặp ảnh hưởng từ XNM. Các yếu tố liên quan đến chỉ thị này được thể hiện trong các tiêu chí như: Công, số trạm quan trắc, thu nhập bình quân đầu người một tháng năm 2020 và số dân ảnh hưởng bởi XNM (Bảng 6).

Bảng 6. Bộ chỉ thị đánh giá khả năng thích ứng (AC).

Nhóm	Chỉ tiêu	Kí hiệu	Tương quan
Thành phần AC	AC _{cq}	AC.cq.1	Hàm quan hệ thuận
		AC.cq.2	Hàm quan hệ thuận
	AC _{cd}	AC.cd.1	Hàm quan hệ thuận
		AC.cd.2	Hàm quan hệ thuận

3.3. Tính toán các trọng số

Trọng số cho từng thành phần được xác định dựa trên đánh giá của các chuyên gia dựa trên đánh giá mức độ quan trọng của mỗi cặp chỉ tiêu (hoặc biến) trong việc xác định trọng số của chúng. Điểm số từ các đánh giá này được tổng hợp thành một ma trận, và sau đó ma trận này được chuẩn hóa bằng AHP. Các trọng số sau khi chuẩn hóa được trình bày trong Bảng 7.

Bảng 7. Bảng trọng số của các yếu tố thành phần.

Thành phần	Trọng số chỉ tiêu	Thành phần	Trọng số thành phần	Biến	Trọng số biến
Thành phần E	0,1	E	1	E ₁	0,441
				E ₂	0,289
				E ₃	0,269
				S.xh.1	0,264
				S.xh.2	0,247
				S.xh.3	0,141
				S.xh.4	0,126
				S.xh.5	0,221
Thành phần S	0,1	S	1	S.kt.1	0,25
				S.kt.2	0,14
				S.kt.3	0,09
				S.kt.4	0,16
				S.kt.5	0,09
				S.kt.6	0,07
				S.kt.7	0,12
				S.kt.8	0,09
Thành phần AC	0,1	AC	1	AC.cq.1	0,64
				AC.cq.2	0,36
				AC.cd.1	0,71
				AC.cd.2	0,29

3.4. Tính toán TDBTT

3.4.1. Kết quả tính toán các chỉ số thành phần

Các giá trị của biến được tính toán dựa trên dữ liệu thu thập, sau đó chúng được xử lý, tính toán và chuẩn hóa trước khi tính toán trọng số. Sau quá trình chuẩn hóa dữ liệu của ba nhóm thành phần, nghiên cứu đã áp dụng công thức tính TDBTT dựa trên tiêu chí riêng cho từng tỉnh. Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 8:

Bảng 8. Kết quả tính toán các chỉ số thành phần và TDBTT năm 2020 và 2050.

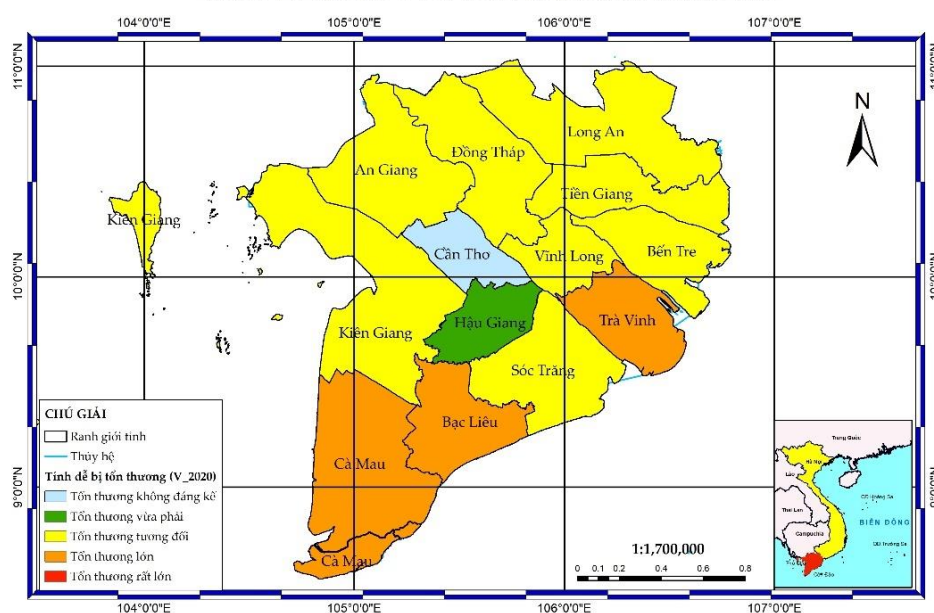
STT	Tỉnh/TP	Năm 2020				Năm 2050			
		E	S	AC	V	E	S	AC	V
1	Long An	53,43	51,99	38,89	55,51	55,78	51,99	38,89	56,29
2	Tiền Giang	90,68	42,80	61,69	57,26	96,01	42,80	61,69	59,04
3	Bến Tre	82,53	35,40	50,72	55,77	87,45	35,40	50,72	57,38
4	Trà Vinh	93,17	34,31	43,40	55,74	95,59	34,31	43,40	62,16
5	Vĩnh Long	41,41	28,71	41,26	61,36	41,55	28,71	41,26	43,0
6	Đồng Tháp	34,37	54,23	43,18	42,95	34,67	54,23	43,18	48,57
7	An Giang	0,65	55,58	8,31	49,31	0,65	55,58	8,31	49,31
8	Kiên Giang	43,62	75,44	42,33	59,30	44,78	75,44	42,33	58,91
9	Cần Thơ	0,27	20,76	70,66	16,72	0,06	20,76	70,66	16,79
10	Hậu Giang	24,87	23,59	44,79	34,64	25,13	23,59	44,79	34,55

STT	Tỉnh/TP	Năm 2020				Năm 2050			
		E	S	AC	V	E	S	AC	V
11	Sóc Trăng	83,59	40,55	44,92	58,75	85,62	40,55	44,92	58,07
12	Bạc Liêu	83,75	31,97	32,55	61,88	85,63	31,97	32,55	61,09
13	Cà Mau	99,43	50,75	24,28	75,30	99,43	50,75	24,28	75,30

3.4.2. Kết quả tính toán TDBTT

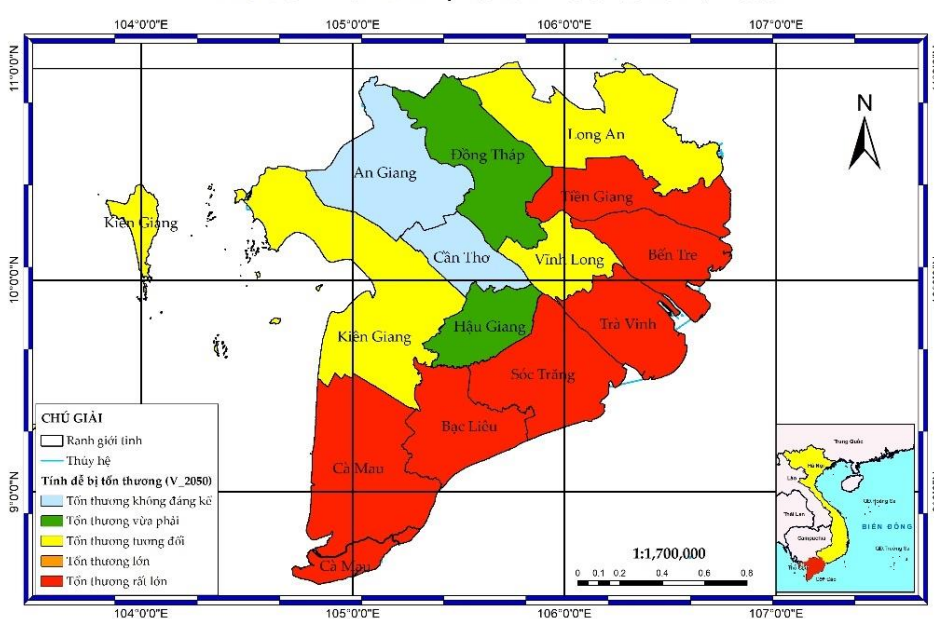
Dựa trên các chỉ số tương ứng cho các thành phần E, S, AC, nghiên cứu tiến hành xác định trọng số cho các chỉ số thành phần, sau đó, áp dụng các công thức để tính toán chỉ số TDBTT do XNM trong lĩnh vực nông nghiệp. Kết quả của chỉ số V được trình bày trong cột cuối cùng của Bảng 8 và thể hiện như Hình 11 - Hình 12.

BẢN ĐỒ TÍNH ĐỀ BỊ TỔN THƯƠNG NĂM 2020



Hình 11. Bản đồ TDBTT do XNM đến nông nghiệp ở ĐBSCL 2020.

BẢN ĐỒ TÍNH ĐỀ BỊ TỔN THƯƠNG NĂM 2050



Hình 12. Bản đồ TDBTT do XNM đến nông nghiệp ở ĐBSCL 2050.

Dựa vào kết quả đã tính toán có thể thấy:

Trong năm 2020, tỉnh Cà Mau thành phần E được tính toán là cao nhất, 99,43. Kết quả tính toán chỉ số V đối với nông nghiệp cũng là cao nhất trong ĐBSCL (75,30). Trong khi đó, về thành phần AC, An Giang là tỉnh được tính toán thấp nhất (8,31) và cao nhất là Cần Thơ 70,66. Điều này cho thấy năng lực thích của chính quyền địa phương và cộng đồng đối với XNM tại Cần Thơ là cao nhất trong ĐBSCL. So với nghiên cứu [44] đánh giá về năng lực thích ứng ở các tỉnh ĐBSCL, kết quả cũng cho thấy sự tương đồng khi ghi nhận năng lực thích ứng của Cần Thơ là cao nhất với sự đầu tư lớn của chính quyền trước ảnh hưởng của BĐKH.

Về thành phần S, tỉnh Kiên Giang có chỉ số S cao nhất (69,49), trong khi tỉnh Bến Tre có chỉ số S là thấp nhất (15,85).

Trong kịch bản năm 2050, độ mặn tăng nhẹ ở một số tỉnh. Ở Trà Vinh, Sóc Trăng và Cà Mau, độ mặn tính toán lớn nhất cho thấy mặn lên 30 PSU. Ba tỉnh này có độ mặn cao nhất trong khu vực, đó là lý do tổn thương ở Trà Vinh năm 2020 chỉ 55,74 nhưng tới năm 2050 lại tăng lên 62,16. Xét về ảnh hưởng của XMN đến năng suất lúa gạo, nghiên cứu [45] đã tính toán dựa trên các biến liên quan đến năng suất lúa gạo, Trà Vinh được ước tính là tỉnh có mức độ tổn thương cao nhất với những thay đổi của điều kiện khí hậu và các hiện tượng cực đoan.

Trong khi đó, sự xếp hạng của các tỉnh có sự thay đổi do sự tăng độ mặn khác nhau nên thành phần E cũng thay đổi. Chỉ số V ở Vĩnh Long và Kiên Giang ghi nhận dấu hiệu giảm, còn tương ứng 43 và 58,92, so với năm 2020 là 61,36 và 59,3. Các tỉnh Bạc Liêu và Hậu Giang cũng ghi nhận chỉ số V giảm nhưng không đáng kể.

4. Kết luận

Kết quả tính toán của nghiên cứu xây dựng bộ chỉ số TDBTT do XNM đến nông nghiệp ĐBSCL cho thấy chỉ số V phân bố ở các mức thấp, trung bình và cao.

Về thành phần E: Các tỉnh Cà Mau, Bạc Liêu, Sóc Trăng, Tiền Giang, Bến Tre và Trà Vinh được tính toán là cao nhất. Long An nằm ở mức trung bình cao, trong khi Kiên Giang, Vĩnh Long, Đồng Tháp, An Giang và Hậu Giang nằm ở mức trung bình thấp, và Cần Thơ, Hậu Giang ở mức thấp nhất.

Về thành phần S: Kiên Giang, Tiền Giang, và Vĩnh Long là các tỉnh có mức độ nhạy cảm ở mức trung bình thấp, trong khi Long An, Đồng Tháp, An Giang, Cà Mau ở mức trung bình cao. Cần Thơ và Hậu Giang có mức nhạy cảm thấp nhất.

Về thành phần AC: Cần Thơ, Tiền Giang và Bến Tre là ba tỉnh có khả năng thích ứng cao nhất. Tuy nhiên, tỉnh An Giang có khả năng thích ứng thấp nhất, và các tỉnh còn lại ở mức trung bình thấp.

Xét về chỉ số V trong năm 2020 và trong kịch bản năm 2050, kết quả cho thấy rằng chỉ số V có sự thay đổi giữa các tỉnh. Sự xếp hạng của các tỉnh có sự thay đổi do sự tăng độ mặn khác nhau nên thành phần E cũng thay đổi. Tỉnh Trà Vinh có chỉ số V tăng đến 62,16 năm 2050, trong khi năm 2020 chỉ ghi nhận được 55,74. Chỉ số V ở Vĩnh Long và Kiên Giang ghi nhận dấu hiệu giảm, còn tương ứng 43 và 58,92, so với năm 2020 là 61,36 và 59,3.

Nghiên cứu này chỉ mới đánh giá TDBTT dưới sự thay đổi của thành phần E, các chỉ số khác vẫn giữ nguyên như năm 2020, đây là hạn chế của nghiên cứu này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.K., P.T.M.D., L.T.K.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.T.K., P.T.M.D., L.T.K.T.; Xử lý số liệu: H.P.P.Q.; Tính toán chỉ số để bị tổn thương: T.T.K., H.P.P.Q.; Phân tích kết quả: T.T.K., P.T.M.D., H.P.P.Q.; Chỉnh sửa bài báo: P.T.M.D., T.T.K.

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. ISDR, U. Disaster occurrence: Number of natural disasters registered in EMDAT. 2007.
2. Moret, W. Vulnerability assessment methodologies: A review of the literature. Washington, DC: FHI, 2014, pp. 360.
3. UNDRR. <https://www.undrr.org/terminology#H>. 2017.
4. Flax, L.K.; Jackson, R.W.; Stein, D.N. Community vulnerability assessment tool methodology. *Nat. Hazard. Rev.* **2002**, 3(4), 163–176.
5. Nasiri, H.; Mohd Yusof, M.J.; Mohammad Ali, T.A. An overview to flood vulnerability assessment methods. *Sustainable Water Resour. Manage.* **2016**, 2, 331–336.
6. Van, C.T.; Tuan, N.C.; Son, N.T.; Tri, D.Q.; Anh, L.N.; Tran, D.D. Flood vulnerability assessment and mapping: A case of Ben Hai-Thach Han River basin in Vietnam. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* **2022**, 75, 102969.
7. Renaud, F.G. Resilience and shifts in agro-ecosystems facing increasing sea-level rise and salinity intrusion in Ben Tre Province, Mekong Delta. *Clim. Change* **2015**, 133, 69–84.
8. Fekete, A.; Damm, M.; Birkmann, J. Scales as a challenge for vulnerability assessment. *Nat. Hazards* **2010**, 55, 729–747.
9. Foden, W.B. et al. Climate change vulnerability assessment of species. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* **2019**, 10(1), e551.
10. Plummer, R.; de Loë, R.; Armitage, D. A systematic review of water vulnerability assessment tools. *Water Resour. Manage.* **2012**, 26, 4327–4346.
11. Văn, C.T.; Son, N.T.; Anh, T.N.; Tuấn, N.C. Xây dựng chỉ số dễ bị tổn thương lũ lụt sử dụng phương pháp phân tích hệ thống phân cấp (AHP) - thử nghiệm cho vài đơn vị cấp xã tỉnh Quảng Nam thuộc vùng hạ lưu sông Thu Bồn. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2014**, 643, 10–18.
12. Trường, N.H. Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) trong lựa chọn phương án thiết kế các dự án thủy lợi. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2020**, 61, 57–65.
13. Thi, N.T.P.; Pham, K.Q.; Nguyen, A.H. Using GIS-based and AHP-GALDIT method for salt intrusion vulnerability mapping in the coastal Pleistocene aquifer, Ba Ria–Vung Tau province. *VNUHCM J. Earth Sci. Environ.* **2021**, 5(S3), 93–102.
14. Sener, E.; Davraz, A. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process(AHP) method: the case of Egirdir Lake basin(Isparta, Turkey). *Hydrogeol. J.* **2013**, 21(3), 701–714.
15. Ouma, Y.O.; Tateishi, R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water* **2014**, 6(6), 1515–1545.
16. Nga, N.T.T.; Thắng, N.T.X. Áp dụng phương pháp tính toán trọng số AHP để xác định chỉ số dễ bị tổn thương dưới tác động của biến đổi khí hậu tại Côn Đảo. *Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 64, 25–35.
17. Long, P.T.; Nam, B.C.; Tín, N.V. Ứng dụng phương pháp AHP đánh giá mức độ tổn thương do thiên tai tại các xã thuộc thành phố Quy Nhơn, Bình Định. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, 660, 26–31.
18. Le Cozannet, G. et al. An AHP-derived method for mapping the physical vulnerability of coastal areas at regional scales. *Nat. Hazards Earth Sys. Sci.* **2013**, 13(5), 1209–1227.
19. Hou, K. et al. Evaluating Ecological Vulnerability Using the GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) Method in Yan'an, China. *Polish J. Environ. Stud.* **2016**, 25(2), 599–605.

20. Hoàng, L.T.T. Đánh giá mức độ tổn thương của ngành nông nghiệp tỉnh Nghệ An do tác động của biến đổi khí hậu có tính đến trọng số của các chỉ thị. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2019**, 35(4), 57–67.
21. Hoàng, H.M.; Luân, P.Đ.M.H.; Bình, N.T.; Trinh, T.T.M.; Hương, T.K.; Trí, V.P.Đ.; Sỹ, L.T. Đánh giá tính tổn thương về sinh kế của nông hộ vùng giáp biên giới tỉnh an giang trước sự thay đổi lũ ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học và công nghệ nông nghiệp Trường Đại học Nông Lâm Huế* **2020**, 4(2), 1970–1980.
22. Hiếu, T.X.; et al. (). Đánh giá tình trạng dễ bị tổn thương do ngập lụt khu vực thị xã Thái Hòa. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng -ĐHXDHN* **2022**, 16(4V), 174–185.
23. Đỗ, M.N.; Đặng, T.T.; Đỗ, M.Đ. Ứng dụng GIS và phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) thành lập bản đồ nguy cơ trượt lở huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang, Việt Nam. *VNU J. Sci.: Earth Environ. Sci.* **2016**, 32(2S), 206–216.
24. Solomon, S. IPCC (2007): Climate change the physical science basis. in Agu fall meeting abstracts. 2007.
25. Tổng cục thống kê. Niên giám thống kê năm 2021. 2021.
26. Dat, T.Q. et al. Modeling the influence of river discharge and sea level rise on salinity intrusion in Mekong Delta. Proceeding of the First Environment Asia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity. 2011.
27. Toan, T.Q. Climate change and sea level rise in the Mekong Delta: flood, tidal inundation, salinity intrusion, and irrigation adaptation methods. *Coastal disasters Clim. Change Vietnam* **2014**, 199–218.
28. Định, L.X.; Quân, N.M.; Tiền, P.A. Xâm nhập mặn tại Đồng bằng Sông Cửu long: Nguyên nhân, Tác động và Các giải pháp ứng phó. Bộ Khoa học Công nghệ, Cục Thông tin Khoa học và Công nghệ Quốc gia, 2016.
29. Tran Anh, D. et al. Simulating future flows and salinity intrusion using combined one-and two-dimensional hydrodynamic modelling—the case of Hau River, Vietnamese Mekong delta. *Water* **2018**, 10(7), 897.
30. Trang, H.; Ha, N.T.T.; Khoi, D.N. Simulating impacts of sea level rise on salinity intrusion in the Mekong Delta, Vietnam in the period 2015-2100 using MIKE 11. *Naresuan Univ. Eng. J.* **2016**, 11(1), 21–24.
31. Hai, T.X. et al. (). Assessing and forecasting saline intrusion in the Vietnamese Mekong Delta Under the impact of upstream flow and sea level rise. *J. Environ. Sci. Eng. B* **2019**, 8, 174.
32. Ho, B.Q. et al. Apply MIKE 11 model to study impacts of climate change on water resources and develop adaptation plan in the Mekong Delta, Vietnam: A case of Can Tho city. *Environ. Monit. Assess.* **2022**, 194, 765.
33. Duong, T.; Bui, M.; Rutschmann, P. Impact of climate change on salinity intrusion in the Mekong Delta. Proceeding of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2015), Rhodes, Greece, 2015.
34. Nguyen, N.A. Historic drought and salinity intrusion in the Mekong Delta in 2016: Lessons learned and response solutions. *VN J. Sci. Techno. Eng.* **2017**, 59(1), 93–96.
35. Leinenkugel, P. et al. Characterisation of land surface phenology and land cover based on moderate resolution satellite data in cloud prone areas—A novel product for the Mekong Basin. *Remote Sens. Environ.* **2013**, 136, 180–198.
36. WWF Việt Nam. Báo cáo đánh giá tính dễ tổn thương trước biến đổi khí hậu của các hệ sinh thái tại Việt Nam, 2013.

37. IPCC WGII. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, . Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, pp. 869–883.
38. World Bank. Climate Risks and Adaptation in Asian Coastal Mega cities. A Synthesis Report, 2010.
39. Connor, R.; Hiroki, K. Development of a method for assessing flood vulnerability. *Water Sci. Technol.* **2005**, 51(5), 61–67.
40. Saaty, R. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Math. Modell.* **1987**, 9(3-5), 161–176.
41. Balica, S.F.; Wright, N.G.; Van der Meulen, F. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat. Hazards* **2012**, 64, 73–105.
42. Trực tuyến: <https://www.mikepoweredbydhi.com/>.
43. Bảy, N.T. Nghiên cứu hiện tượng bồi lắng, sạt lở bờ sông, xác định nguyên nhân, đề xuất các giải pháp phòng chống, khắc phục ở tỉnh Vĩnh Long. 2014 - 2015.
44. Birkmann, J. et al. Vulnerability, coping and adaptation to water related hazards in the Vietnamese Mekong Delta. The Mekong Delta System: Interdisciplinary Analyses of a River Delta: 2012, pp. 245–289.
45. Thuy, N.N.; Anh, H.H. Vulnerability of rice production in Mekong River Delta under impacts from floods, salinity and climate change. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* **2015**, 5(4), 272–279.

Determining the Vulnerability of Agriculture to Salinity Intrusion in the Mekong Delta Provinces

Tran Thi Kim¹, Phung Thi My Diem¹, Ngo Nam Thinh¹, Hoang Phan Phuong Quynh¹, Le Thi Kim Thoa^{1*}

¹ Ho Chi Minh University of Natural Resources and Environment;
 ttkim@hcmunre.edu.vn; diemptm@hcmunre.edu.vn; nnthinh@hcmunre.edu.vn;
 thoa.ltk@hcmunre.edu.vn

Abstract: The Mekong Delta is the primary agricultural production area in Vietnam, characterized by its coastal river-mouth region with complex hydrological regimes, influenced simultaneously by the upstream flow of the Mekong River and the East and West sea tides. This study focuses on assessing the vulnerability of saline intrusion to agriculture in the Mekong Delta in the context of climate change using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and modeling. The components of adaptability, exposure, and sensitivity of the agricultural sector are calculated, allowing the determination of the level for each province in the Mekong Delta in 2020 and projected until 2050. The research results show that the vulnerability indexes vary among the provinces in the Mekong Delta but do not increase significantly in the 2050 scenario. Ca Mau province continues to have the highest index due to saline intrusion. The research findings provide a scientific basis for local agricultural planning and socio-economic development.

Keywords: The Mekong Delta; Saltwater Intrusion; Vulnerability; Adaptability; Exposure; Sensitivity.