

Bài báo khoa học

Nghiên cứu đánh giá tác động kép của biến đổi khí hậu và các phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn vùng Đồng bằng sông Cửu Long

Dương Hồng Sơn¹, Bùi Huyền Linh^{1*}, Nguyễn Anh Đức¹, Trần Anh Phương¹

¹ Viện khoa học Tài nguyên nước, Bộ Tài nguyên và Môi Trường;
dhson.monre@gmail.com; linhb.dctv@gmail.com; nganhduc@yahoo.com;
phuongtran.monre@gmail.com

*Tác giả liên hệ: linhb.dctv@gmail.com; Tel.: +84-326730802

Ban Biên tập nhận bài: 15/2/2024; Ngày phản biện xong: 25/3/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Các hoạt động khai thác tài nguyên nước thượng nguồn, biến đổi khí hậu và nước biển dâng đã và đang gây ra những tác động tiêu cực đến Đồng bằng sông Cửu Long trong đó xâm nhập mặn được xem là một trong những tác động nghiêm trọng nhất. Trong khi các nghiên cứu trước đây thường tập trung đánh giá tác động riêng lẻ của các hoạt động phát triển thượng nguồn hoặc nước biển dâng đến xâm nhập mặn, nghiên cứu này trình bày kết quả đánh giá diễn biến xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long đồng thời theo kịch bản hiện trạng và các kịch bản phát triển kinh tế - xã hội (KT-XH) thượng nguồn đến năm 2030 và 2050 sử dụng phương pháp mô hình toán và GIS. Kết quả tính toán cho thấy so với kịch bản hiện trạng, đến năm 2050 chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất tương ứng với ranh mặn 4 g/l sẽ tăng 5,6 km trên sông Tiền, 6,2 km trên sông Hậu và 13,7 km trên sông Cổ Chiên. Dự báo đến năm 2050 khoảng hơn 2,5 triệu ha đất vùng ĐBSCL sẽ bị nhiễm mặn với độ mặn lớn hơn 1 g/l, tăng 9,1% so với kịch bản hiện trạng. Các kết quả tính toán của nghiên cứu này sẽ cung cấp thông tin quan trọng phục vụ đề xuất các giải pháp thích ứng, giảm thiểu tác động của hoạt động khai thác tài nguyên nước thượng nguồn, biến đổi khí hậu và nước biển dâng đến xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; Xâm nhập mặn; MIKE 11; Thượng nguồn.

1. Mở đầu

Biến đổi khí hậu và các hoạt động khai thác sử dụng nước thượng nguồn đã và đang ảnh hưởng tới sinh kế của người dân không chỉ ở ĐBSCL mà còn ở nhiều đồng bằng châu thổ trên toàn thế giới. Tại ĐBSCL ảnh hưởng rõ rệt nhất là sự gia tăng nguy cơ xâm nhập mặn, gây ra những tác động tiêu cực đến kinh tế, xã hội và hệ sinh thái của toàn lưu vực. Trong những năm gần đây, ĐBSCL đã phải hứng chịu liên tiếp các đợt hạn, mặn với cường độ có xu hướng ngày càng gia tăng. Theo thống kê của cục thông tin khoa học và công nghệ quốc gia, năm 2011 hạn hán đã làm nước mặn xâm nhập nhiều địa phương vùng ĐBSCL sớm hơn trung bình nhiều năm. Tại một số tỉnh ven biển ĐBSCL, nước biển xâm nhập sâu vào các sông rạch khiến các dòng sông bị nhiễm mặn từ giữa tháng 2, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống người dân và hoạt động sản xuất nông nghiệp. Năm 2016, ĐBSCL tiếp tục hứng chịu thiệt hại nặng nề với diện tích lúa bị ảnh hưởng trên 160,000 ha, hoa màu trên 7.000 ha và số hộ dân bị ảnh hưởng là 400,000 hộ. Đến năm 2020, hạn mặn lại xảy ra với cường độ và quy mô mạnh hơn, ranh giới ảnh hưởng bởi độ mặn lớn hơn 4 g/l chiếm diện tích 1.688.600 ha [1, 2]. Các đợt hạn mặn liên tiếp xảy ra đã đặt ra yêu cầu cần có các giải pháp

cấp bách để thích ứng và giảm thiểu tác động của hạn, mặn đến sinh kế và môi trường. Nguyên nhân của sự gia tăng hạn, mặn trong thời gian gần đây ở ĐBSCL là do tác động tổ hợp của các yếu tố bao gồm phát triển thủy điện và chuyển nước ở thượng lưu vực sông Mê Công, biến đổi khí hậu và nước biển dâng [3–6]. Do đó, đánh giá tác động định lượng của tổ hợp của các yếu tố này đến ĐBSCL góp phần đề ra các giải pháp giảm thiểu, thích ứng phù hợp là một yêu cầu cấp bách.

Gần đây, một số nghiên cứu đã phân tích tác động của BĐKH và các hoạt động phát triển thượng nguồn đến ĐBSCL. Chẳng hạn, nghiên cứu [7] sử dụng mô hình thủy động lực với bốn kịch bản để thể hiện những thay đổi về lưu lượng ở thượng nguồn, mưa ở ĐBSCL và mực nước biển dâng trong giai đoạn 2036-2065 cho vùng ĐBSCL. Kết quả tính toán cho thấy, lưu lượng tại bốn trạm đại diện có thể giảm đáng kể từ -2,5% xuống đến -100,2%. Trong mùa mưa, lưu lượng sông tính toán tăng từ 7,3% đến 46,7% theo bốn kịch bản được xem xét. Nghiên cứu [8] đã đánh giá tác động của chế độ dòng chảy đến xâm nhập mặn và chỉ ra rằng việc thay đổi chế độ dòng chảy trong sông sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới phạm vi xâm nhập mặn tại vùng ĐBSCL, đặc biệt là những năm kiệt. Nghiên cứu [9] sử dụng các kịch bản biến đổi khí hậu năm 2016 của Bộ Tài nguyên và Môi trường làm đầu vào cho mô hình lan truyền mặn để đánh giá ảnh hưởng của BĐKH đến xâm nhập mặn ở ĐBSCL. Kết quả tính toán cho thấy trong tương lai xu hướng gia tăng độ sâu xâm nhập mặn tại hầu hết các sông, kênh, rạch vùng ĐBSCL. Ranh mặn 4g/l được dự báo chiếm 53%, 56% và 65% toàn bộ diện tích vùng theo các kịch bản đến năm 2030, năm 2050 và 2100. Nghiên cứu [10] sử dụng mô hình thủy lực 1 chiều và 2 chiều để mô phỏng, tính toán vận tốc dòng chảy, mực nước và độ mặn trên sông Hậu theo các kịch bản tương lai. Nghiên cứu [11] kết hợp mô hình thủy động lực 1D và 3D mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vùng ĐBSCL với các kịch bản phát triển đến năm 2030 và đề xuất một số chiến lược quản lý để thích ứng với tình trạng xâm nhập mặn. Nghiên cứu [12] đã sử dụng mô hình MIKE 11 và MIKE-GIS để mô phỏng dòng chảy vùng hạ lưu sông Cửu Long và tính toán quá trình xâm nhập mặn cho khu vực Nam Bộ. Nghiên cứu [13] tích hợp hai mô hình SWAT và HEC-RAS cùng với các phép thử Mann-Kendall và độ dốc Theil-Sen để đánh giá và phân tích xu hướng thay đổi dòng chảy và xâm nhập theo các kịch bản đến năm 2035.

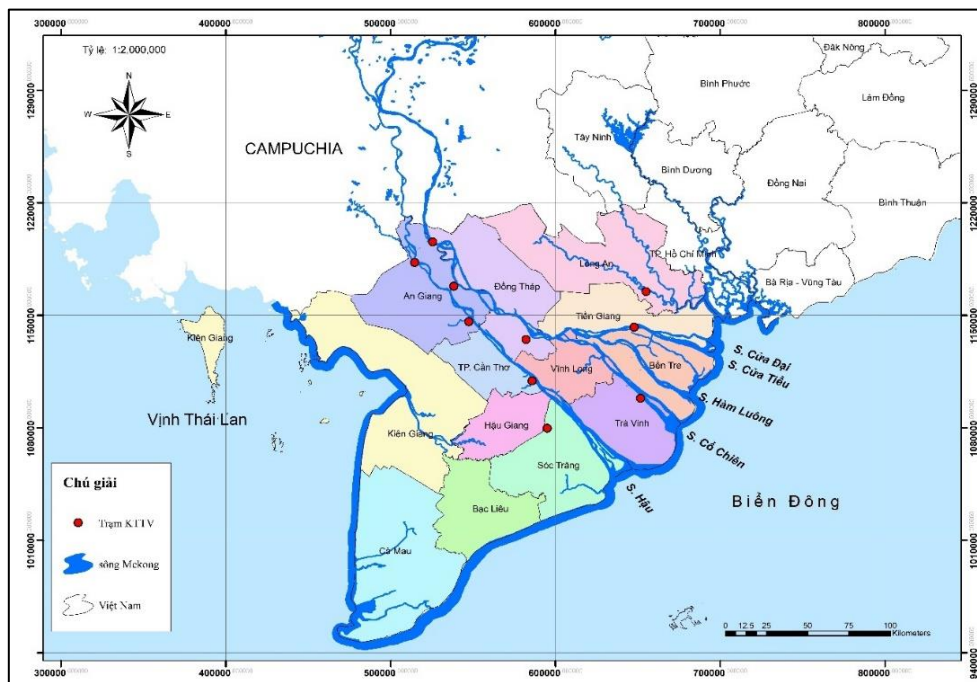
Các nghiên cứu trên đã cung cấp các thông tin tương đối đầy đủ về các tác động thượng nguồn và BĐKH. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu chỉ tập trung vào đánh giá tác động của một trong hai yếu tố, đó là phát triển thượng nguồn hoặc tác động của nước biển dâng đến xâm nhập mặn. Một số nghiên cứu sử dụng dữ liệu trong các nghiên cứu trước đó mà chưa cập nhật các kịch bản BĐKH mới, các công trình ngăn mặn được xây dựng trong thời gian gần đây [14–17]. Bài báo này sử dụng phương pháp mô hình thủy - động lực MIKE11 và GIS để đánh giá tác động của tổ hợp BĐKH (theo kịch bản biến đổi khí hậu cập nhật năm 2020) và phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn vùng bờ biển ĐBSCL, với nguồn dữ liệu cập nhật mới nhất về các công trình ngăn mặn dự báo tác động đến năm 2030, 2040 và 2050. Nghiên cứu này do đó cung cấp các đánh giá tác động kép của đồng thời 2 yếu tố phát triển thượng nguồn và biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn, giúp các nhà quản lý, hoạch định chính sách có cái nhìn toàn diện hơn về diễn biến xâm nhập mặn ở ĐBSCL, từ đó có các giải pháp ứng phó, giảm thiểu phù hợp.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

ĐBSCL là một phần của đồng bằng châu thổ sông Mê Công bắt đầu từ Campuchia nơi sông Mê Công chia thành hai nhánh chính là nhánh sông Tiền và sông Hậu. Khi nhập vào Việt Nam, hệ thống sông phân thành 9 nhánh chính và đổ ra biển Đông (Hình). ĐBSCL có diện tích khoảng 3,9 triệu ha, chiếm 70% châu thổ sông Mê Công. Trong khi phần châu thổ trên lãnh thổ Campuchia chủ yếu bị chi phối bởi các quá trình dòng chảy sông, ĐBSCL bị

ảnh hưởng bởi sự tương tác của dòng chảy sông với các quá trình biển như thủy triều, sóng và dòng hải lưu [18]. ĐBSCL nằm trong khí hậu nhiệt đới gió mùa, chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam và Đông Bắc. Mùa cạn kéo dài từ tháng 12 đến tháng 5 năm sau và mùa lũ từ tháng 6 đến tháng 11. Tổng lượng mưa hàng năm xấp xỉ 1800 mm nhưng phân bố không đều theo cả không gian và thời gian, với khoảng 90% tổng lượng mưa tập trung vào mùa mưa, và chỉ có khoảng 10% trong mùa khô. Chế độ thủy văn ĐBSCL chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của dòng chảy sông Mê Công, thủy triều biển Đông, vịnh Thái Lan và chế độ mưa nội vùng. Do có 2 phía giáp biển nên vùng ven biển bị mặn xâm nhập mạnh, vào mùa khô mặn xâm nhập sâu vào nội đồng, ước tính gần 2 triệu ha đất ở ĐBSCL bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn [11]. Về mặt hành chính, ĐBSCL bao gồm 13 tỉnh, thành phố chiếm 19% diện tích và 12% dân số của Việt Nam. Đây được coi là vựa lúa, trung tâm sản xuất nông nghiệp và thủy sản lớn nhất cả nước, đóng vai trò chính trong đảm bảo an ninh lương thực của nước ta.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

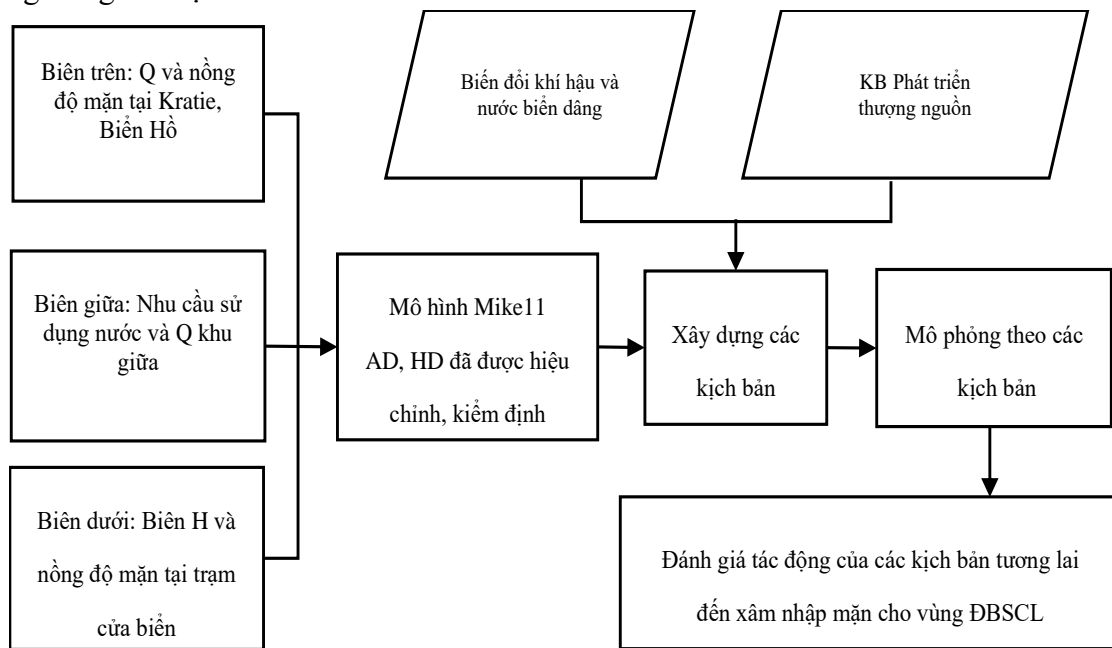
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sơ đồ phương pháp nghiên cứu được trình bày trên Hình 2. Theo đó, để đánh giá tác động tổ hợp của các phát triển thượng nguồn và BĐKH đến xâm nhập mặn, nghiên cứu đã tiến hành theo 3 bước chính bao gồm: (1) Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực và xâm nhập mặn; (2) Xây dựng và mô phỏng các kịch bản tổ hợp về BĐKH và phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn đến năm 2030 và 2050; (3) Đánh giá tác động của các kịch bản tương lai đến xâm nhập mặn cho vùng ĐBSCL. Cụ thể các bước thực hiện được trình bày trên hình 2.

2.2.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực và xâm nhập mặn

Nghiên cứu sử dụng mô MIKE 11 [19], phát triển bởi Viện Thủy lực Đan Mạch để mô phỏng quá trình xâm nhập mặn vào ĐBSCL. Mô hình MIKE 11 cho sông Mê Công được kế thừa từ Văn phòng thường trực Ủy ban sông Mê Công Việt Nam (VNMC). mô hình sử dụng 2 modul HD và AD để mô phỏng lưu lượng và nồng độ mặn trên các sông ĐBSCL. Các dữ liệu sử dụng trong mô hình bao gồm: Dữ liệu về địa hình, sông, kênh, cống được sử dụng để thiết lập mạng lưới thủy lực: bao gồm 1935 chi lưu với tổng số 12,316 mặt cắt ngang và 23,753 nút tính toán với tổng chiều dài kênh mô phỏng khoảng 24,000 km. Dữ liệu khí tượng

thủy văn: bao gồm dữ liệu đo mưa, mực nước, lưu lượng và độ mặn tại các trạm thượng lưu và hạ lưu được sử dụng làm đầu vào cho các mô hình thủy văn và thủy lực. Ngoài ra còn các thông tin, dữ liệu về sử dụng nước, trữ nước các vùng, thông tin về vận hành các công trình công trong lưu vực.



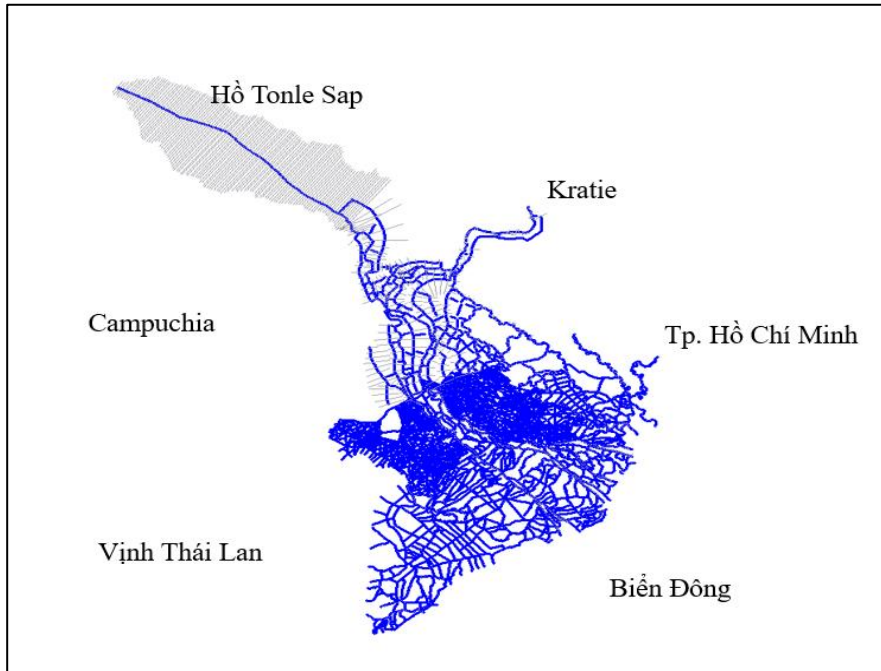
Hình 2. Sơ đồ các bước nghiên cứu.

Về điều kiện biên, biên trên: Các biên lưu lượng tại Kratie và mực nước tại biển Hồ, dữ liệu được lấy từ MRC và VNMC trong giai đoạn 2016 và 2020. Biên khu giữa: Bao gồm các biên nhu cầu sử dụng nước của các khu giữa và biên dòng chảy được tính toán từ mô hình mưa- dòng chảy MIKE NAM, kết quả mô hình được thừa kế từ VNMC. Biên hạ lưu: Gồm biên mực nước và độ mặn theo giờ tại 9 cửa sông (Vũng Tàu, Vàm Kênh, Bến Trai, Gánh Hào, Sông Đốc, Mỹ Thành, Rạch Giá, Soài Rạp, An Thuận). Dữ liệu được thu thập từ MRC, VNMC và Trung tâm Thông tin và Dữ liệu KTTV. Năm 2016 được chọn làm giai đoạn hiệu chỉnh và mùa khô năm 2020 là giai đoạn kiểm định, đây là hai năm có hạn mặn nghiêm trọng nhất trong thời gian gần đây.

2.2.2. Xây dựng và mô phỏng các kịch bản tổ hợp về BĐKH và phát triển thượng nguồn đến xâm nhập mặn

Phát triển kinh tế - xã hội trên hệ thống dòng chính sông Mê Công trong tương lai đã được xác định bởi Ủy hội sông Mê Công quốc tế bao gồm các thay đổi về phát triển thủy điện, hệ thống kiểm soát lũ, diện tích tưới và các dự án chuyển nước trong lưu vực theo quy hoạch đến 2030 và 2050. Các phát triển và BĐKH sẽ tác động trực tiếp đến dòng chảy biên trên tại Kratie và đã được nhiều nghiên cứu đánh giá. Nghiên cứu này kế thừa kết quả đánh giá từ [13] trong đó các kịch bản được xây dựng sử dụng các dự báo về các điều kiện khí tượng thủy văn, các nhu cầu khai thác, sử dụng nước và các giả thiết can thiệp trong tương lai đã được Ủy hội sông Mê Công quốc tế xác định. Các kịch bản nước biển dâng ảnh hưởng đến biên dưới của mô hình được lựa chọn theo kịch bản BĐKH cập nhật năm 2020 (RCP 4.5) của Bộ Tài nguyên Môi trường [15]. Nghiên cứu lựa chọn năm 2020 là năm gần đây nhất phản ánh các điều kiện phát triển mới nhất trên lưu vực đại diện cho năm kịch bản hiện trạng (KBHT). Đồng thời đây là cũng năm hạn, mặn diễn ra nghiêm trọng nhất trong những năm qua ở ĐBSCL. Điều kiện thủy văn KBHT là các điều kiện thủy văn, công trình năm 2020. Với các KB2030 và KB2050, lưu lượng tại Kratie được xác định giảm 15% và 37% so

với KBHT. Với kịch bản BDKH RCP 4.5, mực nước biển tăng 12 cm vào năm 2030 và 23cm vào năm 2050. Bảng 1 cung cấp thông tin mô tả chi tiết các kịch bản này.



Hình 3. Mạng lưới thủy lực, ĐBSCL.

Bảng 1. Các kịch bản về điều kiện thủy văn và nước biển dâng.

STT	Kịch bản	Dòng chảy tại Kratie	BDKH&NBD	Điều kiện phát triển
1	KBHT	Hiện trạng	Không	Các đặc trưng hồ đập, hệ thống kiểm soát lũ, diện tích tưới thời kì hiện trạng.
2	KB2030	-15%	RCP 4.5 + NBD 12cm	Hệ thống đập, hệ thống kiểm soát lũ, Diện tích tưới và các dự án chuyển nước trong lưu vực theo quy hoạch đến 2030.
4	KB2050	-37%	RCP 4.5 + NBD 23cm	Hệ thống đập trên các sông, hệ thống kiểm soát lũ, diện tích tưới và các dự án chuyển nước trong lưu vực theo quy hoạch đến 2050.

2.2.3. Đánh giá tác động của các kịch bản tương lai đến xâm nhập mặn cho vùng ĐBSCL

Ở bước này các kết quả mô phỏng xâm nhập mặn bằng mô hình sẽ được xuất ra và đưa lên bản đồ sử dụng công cụ GIS. Bằng các công cụ nội suy, nghiên cứu sẽ lập bản đồ ảnh hưởng của xâm nhập mặn cho toàn ĐBSCL với các cấp độ mặn 1g/l và 4 g/l. Sau đó, các đặc trưng chiều dài xâm nhập mặn, diện tích xâm nhập mặn theo các cấp độ mặn khác nhau sẽ được tính toán sử dụng các công cụ phân tích không gian trên GIS.

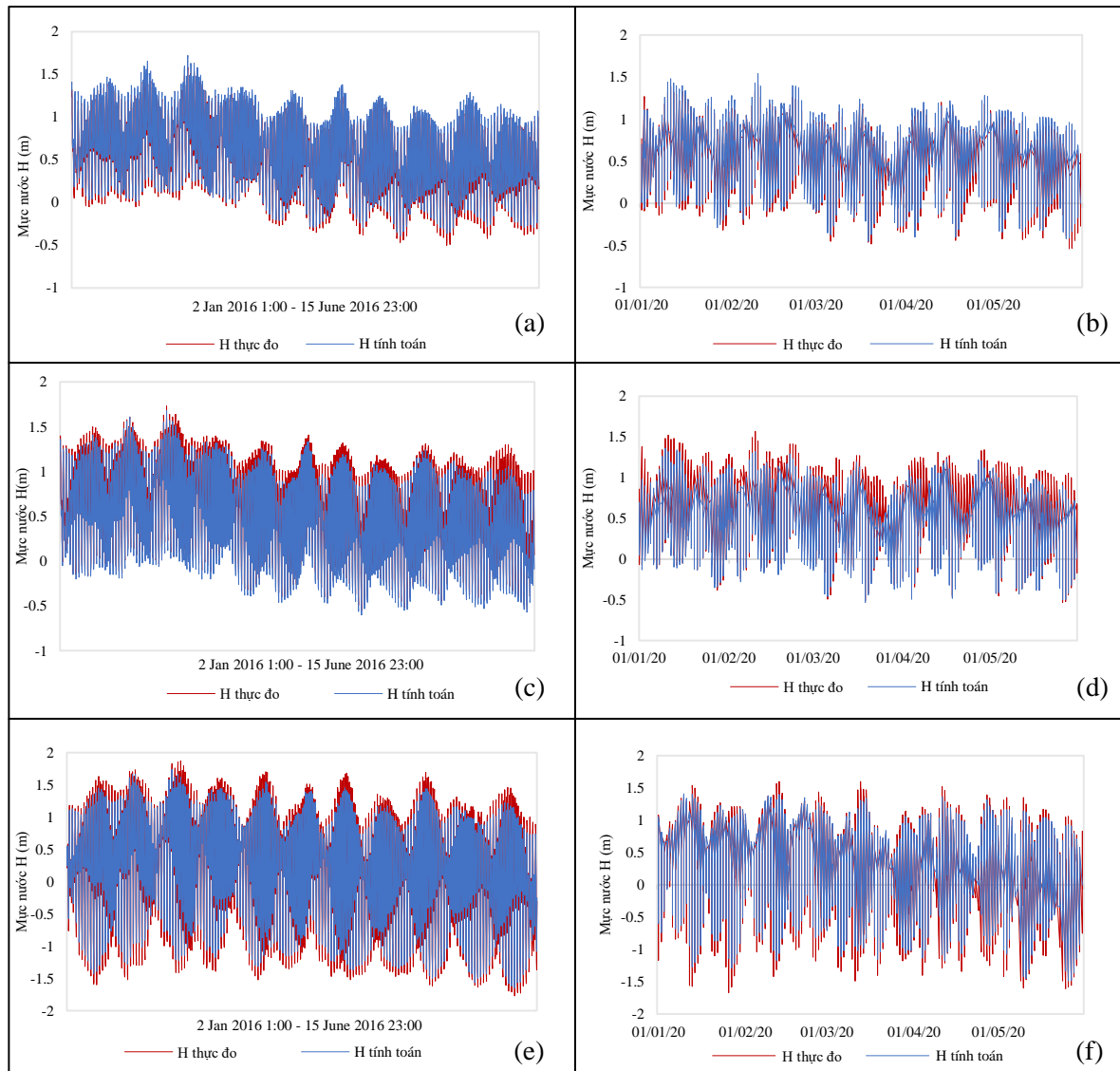
3. Phân tích kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả mô hình MIKE 11

3.1.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình HD

Bảng 2 và Hình 4 trình bày kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình thủy lực tại 7 trạm thủy văn vùng ĐBSCL. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định rất tốt với hệ số tương quan $R^2 > 0,96$ và Nash-Sutcliffe $> 0,86$. Kết quả kiểm định năm 2020 các giá trị Nash và R^2 đều trên 0,72.

Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định trên cho thấy bộ mô hình hoàn toàn có thể sử dụng để mô phỏng chế độ dòng chảy, phục vụ cho mô hình lan truyền mặn trên toàn ĐBSCL.



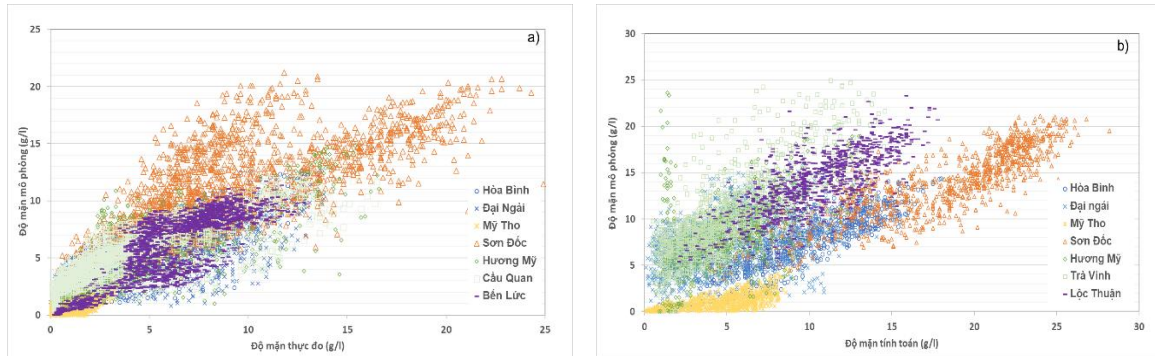
Hình 4. Đường quá trình so sánh mực nước tính toán và thực đo giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định tại các trạm Tân Châu, Châu Đốc, Đại Ngãi: (a) Trạm Tân Châu, hiệu chỉnh 2016; (b) Trạm Tân Châu, kiểm định 2020; (c) Trạm Châu Đốc, hiệu chỉnh 2016; (d) Trạm Châu Đốc, kiểm định 2020; (e) Trạm Đại Ngãi, hiệu chỉnh 2016; (f) Trạm Đại Ngãi, kiểm định 2020.

Bảng 2. Bảng chỉ số hiệu chỉnh, kiểm định mô hình thủy lực MIKE 11 vùng ĐBSCL.

STT	Trạm	Hiệu chỉnh 2016		Kiểm định 2020	
		Nash	R ²	Nash	R ²
1	Cần Thơ	0,92	0,96	0,97	0,92
2	Mỹ Tho	0,95	0,98	0,98	0,95
3	Trà Vinh	0,95	0,98	0,98	0,92
4	Đại Ngãi	0,96	0,99	0,98	0,95
5	Mỹ Thuận	0,94	0,98	0,88	0,93
6	Tân Châu	0,96	0,99	0,98	0,96
7	Châu Đốc	0,86	0,97	0,91	0,73

3.1.2. Kết quả hiệu chỉnh kiểm định mô hình lan truyền mặn

Tương tự như hiệu chỉnh, kiểm định mô hình thủy lực, nghiên cứu tiến hành hiệu chỉnh mô hình lan truyền mặn trong giai đoạn từ tháng 1-5/2016 và kiểm định trong giai đoạn từ tháng 1-5/2020.



Hình 5. Tương quan độ mặn thực đo và mô phỏng giai đoạn hiệu chỉnh (a) và kiểm định (b) tại các trạm Đại Ngãi, Hòa Bình, Hương Mỹ, Mỹ Tho, Cầu Quan, Lộc Thận, Bến Lức và trạm Sơn Đốc.

Bảng 3. Chi số hiệu chỉnh, kiểm định mô hình lan truyền mặn ĐBSCL.

STT	Hiệu chỉnh			Kiểm định		
	Vị trí	R ²	Pbias	Vị trí	R ²	Pbias
1	Đại Ngãi	0,78	-5,44	Đại Ngãi	0,69	-8,11
2	Sơn Đốc	0,72	-9,77	Sơn Đốc	0,79	9,92
3	Hòa Bình	0,69	0,48	Hòa Bình	0,86	5,51
4	Mỹ Tho	0,66	8,07	Mỹ Tho	0,62	4,72
5	Bến Lức	0,85	0,59	Lộc Thuận	0,64	-9,77
6	Cầu Quan	0,82	-5,42			
7	Hương Mỹ	0,77	-5,27			

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình xâm nhập mặn được đánh giá đạt, kết quả so sánh độ mặn thực đo và tính toán tại các trạm đo mặn có sự tương đồng về pha dao động với hệ số tương quan R² nằm từ 0,5-0,85, hệ số cân bằng tổng lượng ở mức chấp nhận để mô phỏng xâm nhập mặn vùng ĐBSCL theo các kịch bản hiện trạng và tương lai ở các bước tiếp theo.

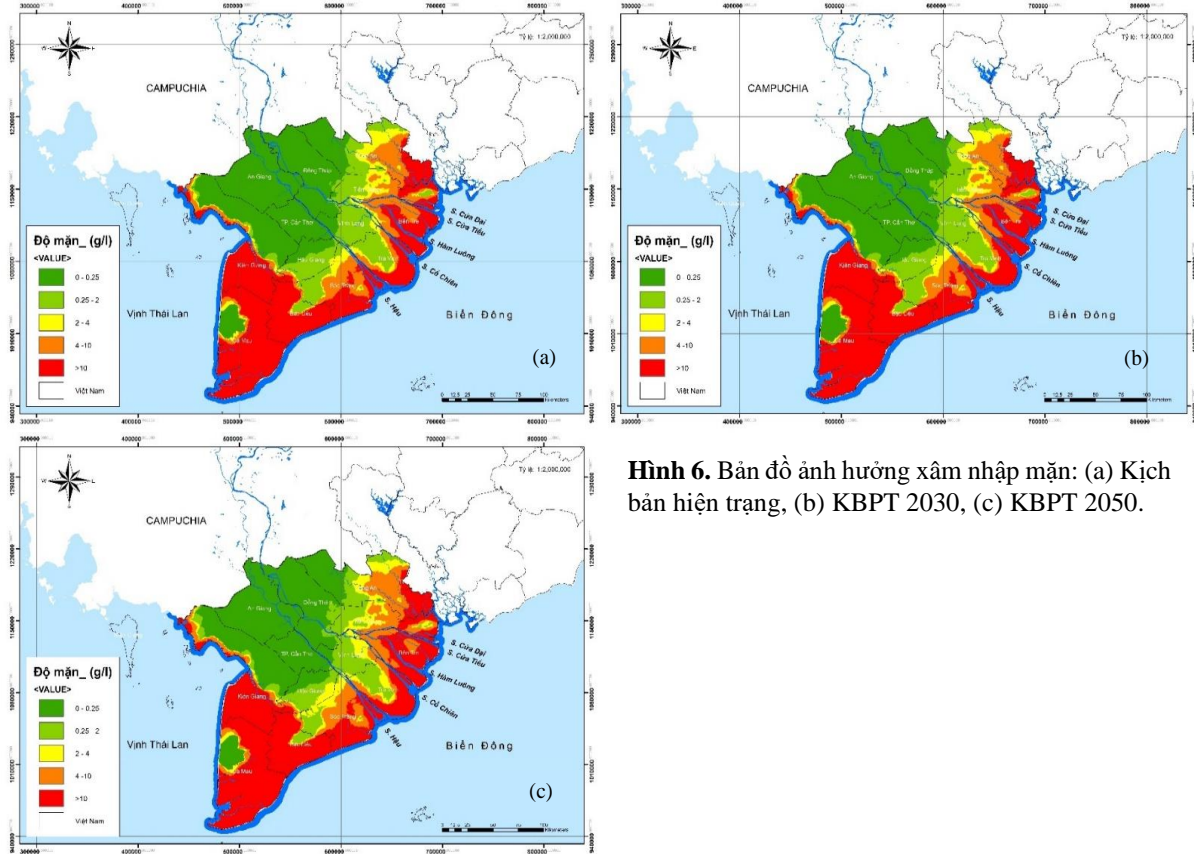
3.2. Đánh giá tình hình xâm nhập mặn theo các kịch bản

Công cụ GIS được sử dụng để thành lập bản đồ mặn và phân tích sự thay đổi của độ mặn theo các kịch bản từ kết quả của mô hình MIKE 11. Bảng 4 trình bày kết quả tính toán chiều dài xâm nhập mặn lớn nhất tương ứng với độ mặn > 4 g/l. Theo đó, với kịch bản hiện trạng năm 2020, gianh mặn 4 g/l xâm nhập vào sông Tiền 83,3 km, sông Hậu 48,9 km và sông Cổ Chiên 53 km.

Bảng 4. Chiều sâu lớn nhất độ mặn > 4g/l vùng ĐBSCL theo các kịch bản.

Chiều sâu lớn nhất độ mặn > 4g/l các kịch bản			
Sông	KBHT (km)	KB 2030 (km)	KB 2050 (km)
Sông Tiền	83,3	85,6	88,9
Sông Hậu	48,9	50,4	55,1
Sông Cổ Chiên	53	55,4	66,7

Hình 6 trình bày bản đồ ảnh hưởng của xâm nhập mặn cho kịch bản hiện trạng, 2030 và 2050 theo các cấp độ mặn khác nhau. Dự báo đến năm 2030, 2050 khi bị ảnh hưởng bởi tác động của BĐKH và nước biển dâng cùng với tác động của các phát triển thượng lưu, chiều dài xâm nhập mặn vào các sông tăng sẽ đáng kể. Cụ thể, đến năm 2030, so với kịch bản hiện trạng chiều dài xâm nhập mặn tương ứng với ranh mặn 4 g/l tăng thêm 2,3 km trên sông Tiền; 1,5 km trên sông Hậu và 2,4km trên sông Cỏ Chiên. Đến năm 2050 chiều dài xâm nhập mặn tăng 5,6 km trên sông Tiền, 6,2 km trên sông Hậu và 13,7 km trên sông Cỏ Chiên.



Hình 6. Bản đồ ảnh hưởng xâm nhập mặn: (a) Kịch bản hiện trạng, (b) KBPT 2030, (c) KBPT 2050.

Bảng 1. Diện tích xâm nhập mặn vùng ĐBSCL theo các kịch bản.

Độ mặn (g/l)	Diện tích xâm nhập mặn (10 ⁶ ha)		
	HT	2030	2050
<1	1,692	1,647	1,480
1-2	0,231	0,256	0,306
2-4	0,230	0,226	0,280
>4	1,872	1,896	1,960

Từ bản đồ ảnh hưởng của xâm nhập mặn, nghiên cứu cũng đã tính toán diện tích bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn tương ứng với các cấp mặn khác nhau như trình bày ở Bảng 5. Kết quả tính toán cho thấy ranh giới vùng nước nhạt (< 1g/l) có xu hướng co hẹp, trong khi ranh giới vùng mặn > 4g/l tăng lên. Diện tích xâm nhập mặn với độ mặn dưới 1g/l giảm từ 1,6 tr.ha trong điều kiện hiện trạng xuống còn 1,4×10⁶ ha vào năm 2050 (giảm 4,1%). Trong khi đó, diện tích xâm nhập mặn với độ mặn lớn hơn 4 g/l tăng lên khoảng 0,6% (khoảng 24,2 nghìn ha) vào năm 2030 và 2,3% (khoảng 88 nghìn ha) vào năm 2050. Dự báo đến năm 2050 khoảng hơn 2,5×10⁶ ha vùng ĐBSCL sẽ bị nhiễm mặn với độ mặn lớn hơn 1 g/l, tăng 9,1% so với hiện trạng.

4. Kết luận

Trong bối cảnh ảnh hưởng của các hoạt động khai thác tài nguyên nước ở thượng lưu và biến đổi khí hậu đến nguồn nước ĐBSCL ngày càng gia tăng, việc nghiên cứu, đánh giá định lượng tác động của các yếu tố này đến xâm nhập mặn vùng ĐBSCL từ đó đề ra các biện pháp giảm thiểu, thích ứng phù hợp là một yêu cầu cấp bách. Nghiên cứu này sử dụng kết hợp các phương pháp mô hình và GIS để xây dựng bản đồ xâm nhập mặn và đánh giá sự thay đổi của quá trình xâm nhập mặn trên sông thuộc vùng ĐBSCL theo các kịch bản hiện trạng, 2030, 2050. Kết quả cho thấy sự gia tăng đáng kể về chiều dài và diện tích xâm nhập mặn trong tương lai dưới tác động của biến đổi khí hậu và các hoạt động khai thác tài nguyên nước thượng nguồn. Nước mặn sẽ xâm nhập vào sông Tiền 85,6 km, khoảng 50,4 km trên sông Hậu và 55,4 km trên sông Cổ Chiên vào năm 2030. Đến năm 2050, chiều dài xâm nhập mặn tăng 5,6 km trên sông Tiền, 6,2 km trên sông Hậu và 13,7 km trên sông Cổ Chiên, diện tích bị ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn tương ứng với ranh mặn 4 g/l tăng 2,3% (khoảng 88 nghìn ha) so với hiện trạng.

Hiện nay nhiều hoạt động xây dựng các công trình giảm thiểu ảnh hưởng của xâm nhập mặn ĐBSCL đã được xúc tiến (xây dựng các cống, đập ngăn mặn). Tuy nhiên, nghiên cứu chưa cập nhật các kế hoạch xây dựng các công trình này vào mô hình mà mới sử dụng dữ liệu về các công trình này đến năm 2020. Trong nghiên cứu tiếp theo, việc đánh giá tác động và hiệu quả của các công trình này cũng như các giải pháp thích ứng với ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến vùng ĐBSCL sẽ được xem xét đánh giá.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.H.S., B.H.L., N.A.Đ., T.A.P.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: D.H.S., B.H.L., N.A.Đ., T.A.P.; Xử lý số liệu: B.H.L.; Viết bản thảo bài báo: B.H.L.; Chỉnh sửa bài báo: B.H.L., T.A.P.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự hỗ trợ của đề tài “Nghiên cứu, đánh giá tác động tổ hợp của các hoạt động kinh tế - xã hội và hệ thống hồ chứa trên dòng chính sông Mê Công đến vùng bờ biển đồng bằng sông Cửu Long” mã số: ĐTĐL.CN-56/21.

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. Anh, T.N.; Bình, N.T.; Tùng, N.B.; Đức, Đ.Đ.; Hạnh, N.Đ.; Dur, N.H. Xây dựng công cụ đánh giá ảnh hưởng của xâm nhập mặn đến kinh tế-xã hội và áp dụng tính thử nghiệm cho đồng bằng Sông Cửu Long. *Tap chí Khoa học Biến đổi Khí hậu* **2021**, 17, 20–29.
2. Định, L.X.; Quân, N.M.; Tiến, P.A. Xâm nhập mặn tại đồng bằng sông Cửu Long: nguyên nhân, tác động và các giải pháp ứng phó. Cục thông tin Khoa học và công nghệ Quốc gia, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2016.
3. Fan, H.; He, D.; Wang, H. Environmental consequences of damming the mainstream Lancang-Mekong river: A review. *Earth-Sci. Rev.* **2015**, 146, 77–91. doi:10.1016/j.earscirev.2015.03.007.
4. Kuenzer, C.; Campbell, I.; Roch, M.; Leinenkugel, P.; Tuan, V.Q.; Dech, S. Understanding the impact of hydropower developments in the context of upstream–downstream relations in the Mekong river basin. *Sustain. Sci.* **2013**, 8, 565–584. doi:10.1007/s11625-012-0195-z.
5. Räsänen, T.A.; Koponen, J.; Lauri, H.; Kummu, M. Downstream hydrological impacts of hydropower development in the upper Mekong basin. *Water Resour. Manag.* **2012**, 26, 3495–3513. doi:10.1007/s11269-012-0087-0.

6. Kantoush, S.; Binh, D.V.; Sumi, T.; Trung, L.V. Impact of upstream hydropower dams and climate change on hydrodynamics of Vietnamese Mekong Delta. *J. Japan Soc. Civil Eng. Ser B1* **2017**, 73, I109–I114.
7. Duong, T.A.; Long, H.P.; Duc, M.B.; Peter, R. Modelling seasonal flows alteration in the Vietnamese Mekong delta under upstream discharge changes, rainfall changes and sea level rise. *Int. J. River Basin Manage.* **2018**, 17(4), 1–15.
8. HDR. Nghiên cứu tác động của các công trình thủy điện trên dòng chính sông Mê Công (MDS). DHI, 2016, tr. 113.
9. Mai, V.T.; Vũ, H.N.; Khiêm, M.V.; Hoàng, T.T. Nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu đến xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long, đánh giá điển hình tại tỉnh Bến Tre. *Tap chí Khoa học Biến đổi Khí hậu* **2018**, 5, 90–98.
10. Duong, T.A.; Long, H.P.; Duc, M.B.; Peter, R. 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.
11. Dung, T.D.; Thuc, P.T.B.; Park, E.; Hang, P.T.T.; Man, D.B.; Wang, J. Extent of saltwater intrusion and freshwater exploitability in the coastal Vietnamese Mekong delta assessed by gauging records and numerical simulations. *J. Hydrol.* **2024**, 630, 130655.
12. Trí, Đ.Q. Ứng dụng mô hình Mike 11 mô phỏng và tính toán xâm nhập mặn cho khu vực Nam Bộ. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2016**, 671, 39–46.
13. Linh, V.; Nguyen, L.; Hà, P.; Dung, H.; Nguyen, L. Đánh giá xu thế của ngập lụt và xâm nhập mặn tại thành phố Hồ Chí Minh dựa trên mô hình SWAT và HEC-RAS trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Hội thảo Ứng dụng GIS toàn quốc 2019, 2019.
14. Smajgl, A.; Toan, T.Q.; Nhan, D.K.; Ward, J.; Trung, N.H.; Tri, L.Q.; Tri, V.P.D.; Vu, P.T. Responding to Rising Sea Levels in the Mekong Delta. *Nat. Clim. Change* **2015**, 5, 167–174. doi:10.1038/nclimate2469.
15. Thắng, N.V.; Ngà, P.T.T.; Hương, H.T.L.; Thắng, V.V.; Phong, D.H.; Huy, L.Q.; Khiêm, M.V.; Hiền, N.X. Kịch bản biến đổi khí hậu phiên bản cập nhật năm 2020, 2020.
16. Khang, N.D.; Kotera, A.; Sakamoto, T.; Yokozawa, M. Sensitivity of salinity intrusion to sea level rise and river flow change in Vietnamese Mekong delta-impacts on availability of irrigation water for rice cropping. *J. Agric. Meteorol.* **2008**, 64, 167–176. doi:10.2480/agrmet.64.3.4.
17. Eslami, S.; Hoekstra, P.; Minderhoud, P.S.J.; Trung, N.N.; Hoch, J.M.; Sutanudjaja, E.H.; Dung, D.D.; Tho, T.Q.; Voepel, H.E.; Woillez, M.-N.; et al. Projections of salt intrusion in a mega-delta under climatic and anthropogenic stressors. *Commun. Earth Environ.* **2021**, 2, 1–11. doi:10.1038/s43247-021-00208-5.
18. Tamura, T.; Horaguchi, K.; Saito, Y.; Nguyen, V.L.; Tateishi, M.; Ta, T.K.O.; Nanayama, F.; Watanabe, K. Monsoon-influenced variations in morphology and sediment of a mesotidal beach on the Mekong river delta coast. *Geomorphology* **2010**, 116, 11–23.
19. Trực tuyến: <https://www.Mikepoweredbydhi.Com/Products/Mike-11>.
20. Đức, N.A. Nghiên cứu phân bố dòng chảy tại lưu vực sông Mê Công trong điều kiện phát triển sử dụng nước tưới của các Quốc gia lưu vực sông Mê Công phục vụ cho công tác đàm phán của Việt Nam và chia sẻ nguồn nước trong thực hiện hiệp định Mê Công 1995 và công ước 1997 của Liên hợp Quốc, 2020-04-083/KQNC, 2019.

Quantitative assessing impacts of climate change and upstream developments on saltwater intrusion in the Vietnam Mekong Delta

Dương Hồng Sơn¹, Bui Huyen Linh^{1*}, Nguyen Anh Duc¹, Tran Anh Phuong¹

¹ Water Resources Institute, Ministry of Natural Resources and Environment;
dhson.monre@gmail.com; linhb.dctv@gmail.com; nganhduc@yahoo.com;
phuongtran.monre@gmail.com

Abstract: Upstream exploitation of water resources, climate change and sea level rise have increasingly caused negative impacts on the Vietnam Mekong Delta (VND), of which saltwater intrusion is considered one of the most severe impacts. This paper presents the results of assessing the saltwater intrusion in the VND according to the present and socio-economic development scenarios using numerical modeling and GIS methods. Obtained results show that compared to the present scenario, by 2050 the maximum length of saltwater intrusion corresponding to a salinity level of 4 g/l will increase by 5.6km on the Tien River, 6.2 km on the Hau River and 13.7 km on the Co River. It is forecast that by 2050, more than 2.5 million hectares of land in the VND will be salinized with salinity greater than 1 g/l, an increase of 9.1% compared to the present scenario. The results of this study will provide information to propose solutions to adapt and mitigate the impacts of saltwater intrusion in the Mekong Delta upstream which is caused by water resource exploitation, climate change and sea level rise.

Keywords: Climate Change; Salinization; MIKE11; Vietnam Mekong Delta.