

ẢNH HƯỞNG CỦA NƯỚC BIỂN DÂNG ĐẾN XÂM NHẬP MẶN CÁC CẤU TRÚC NỀN ĐẤT VEN BIỂN QUẢNG NAM

IMPACT OF SEA LEVEL RISE ON THE SALTWATER INTRUSION OF SOIL STRUCTURES IN QUANGNAM PROVINCE

Nguyễn Thị Ngọc Yến¹, Võ Ngọc Dương^{1*}, Nguyễn Trung Quân¹, Nguyễn Công Phong², Đoàn Thụy Kim Phương¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng, Việt Nam

²Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: vnduong@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 26/8/2024; Sửa bài / Revised: 31/10/2024; Chấp nhận đăng / Accepted: 07/11/2024)

Tóm tắt - Ven biển Quảng Nam có đường bờ biển dài 125km, là khu vực chịu ảnh hưởng lớn của nước biển dâng (NBD). NBD đã và đang gây ra những tác động tiêu cực đến môi trường địa chất ven biển Quảng Nam, trong đó là tình trạng xâm nhập mặn vào các cấu trúc nền đất. Sự nhiễm mặn làm cho đất có tính ăn mòn đối với các kết cấu bê tông và kim loại, đồng thời làm thay đổi tính chất cơ lý của đất, càng làm giảm sức chịu tải của các cấu trúc nền đất. Kết quả nghiên cứu cho thấy, NBD làm gia tăng diện tích xâm nhập mặn, theo kịch bản RCP4.5 thì diện tích cấu trúc nền đất bị xâm nhập mặn qua các năm như sau: năm 2030-90,82 km², năm 2050 – 93,89 km²; kịch bản RCP8.5 thì năm 2030-93,37 km², năm 2050 – 96,56 km² và ranh giới nhiễm mặn dịch chuyển sâu vào các cấu trúc nền đất ở vùng hạ lưu sông.

Từ khóa - Nước biển dâng; cấu trúc nền đất; xâm nhập mặn; môi trường địa chất

1. Đặt vấn đề

Quảng Nam đóng vai trò rất quan trọng trong tiến trình hình thành và phát triển vùng kinh tế trọng điểm miền Trung (từ Thừa Thiên Huế đến Bình Định), đây là nơi có tiềm năng lớn về phát triển nền kinh tế năng động của nước ta trong thời kỳ công nghiệp hoá và hiện đại hóa đất nước [1]. Tại các đô thị phát triển và các khu công nghiệp, khu dân cư phân bố dọc theo hành lang kinh tế trọng điểm thì công tác xây dựng đang tăng lên đột biến, nhằm xây dựng các dạng công trình khác nhau [1]. Bên cạnh những thuận lợi về tiềm năng phát triển kinh tế, trong nhiều năm gần đây những biểu hiện của biến đổi khí hậu (BĐKH) - nước biển dâng (NBD) diễn ra ngày càng nhiều và rõ rệt trên thế giới, tại Việt Nam và khu vực miền Trung [11]. Các hiện tượng thời tiết cực đoan diễn ra khá thường xuyên và ngày càng trầm trọng. Đồng bằng ven biển Quảng Nam có điều kiện tự nhiên dễ bị tổn thương trước tác động của BĐKH-NBD [7], đặc biệt là tình trạng xâm nhập mặn sâu vào các cấu trúc nền đất, làm cho đất có tính ăn mòn đối với các kết cấu bê tông và kim loại, đồng thời làm thay đổi tính chất cơ lý của đất, càng làm giảm sức chịu tải của các cấu trúc nền đất, gây ra nhiều tác động tiêu cực cho công trình xây dựng. Hiện nay, các nghiên cứu liên quan đến ảnh hưởng của BĐKH-NBD đến khu vực ven biển Quảng Nam chủ yếu tập trung vào phân tích, đánh giá ảnh hưởng của

Abstract - The coastal area of Quangnam has a coastline of 125km, which is an area greatly affected by rising sea levels. Rising sea levels have been causing negative impacts on the geological environment of Quangnam coastal areas, including saltwater intrusion into the soil structures. Saltwater intrusion makes soil corrosive to concrete and metal structures, changes physical properties and reduces the bearing capacity of soil structures. Research results show, Rising sea levels increase saltwater intrusion areas, according to the scenario RCP4.5, the area of soil structures affected by saltwater intrusion over the years is as follows: in 2030, it will be 90,82 km²; in 2050, it will be 93,89 km²; the scenario RCP8.5, in 2030, it will be 93,37 km²; in 2050, it will be 96,56 km² and the salinity boundary moves deeply into the soil structures in the downstream area of the river.

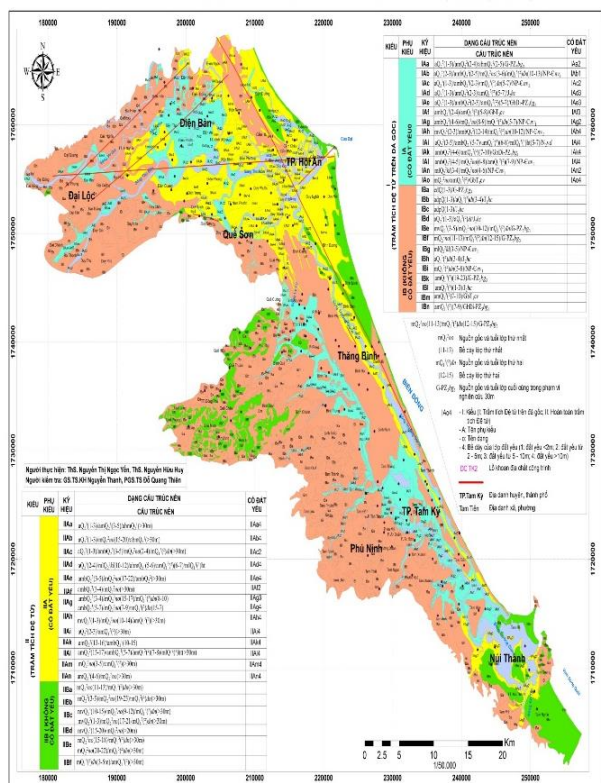
Key words - Rising sea levels; soil structures; saltwater intrusion; geological environment

BĐKH-NBD đến sinh kế người dân ven biển, hệ sinh thái ven biển, sản xuất nông nghiệp các huyện ven biển ([2], [6]). Bên cạnh đó, một số tác giả tập trung nghiên cứu tác động của BĐKH đến ngập lụt, xâm nhập mặn nước mặt ở khu vực ([3]; [4]; [5]) đồng thời đưa ra định hướng phát triển đô thị ven biển Quảng Nam trước thách thức của BĐKH [7]. Các nghiên cứu chuyên sâu đến môi trường địa chất ven biển Quảng Nam của các tác giả ([8]; [9]; [10]) cho thấy: Vùng đồng bằng ven biển Quảng Nam mang đặc điểm chung của khí hậu vùng nhiệt đới ẩm chịu ảnh hưởng của chế độ gió mùa, nhiệt độ phân hoá mạnh theo chiều kinh tuyến nên quá trình phong hóa diễn ra mãnh liệt, cùng với mạng lưới thủy văn phức tạp đã tạo điều kiện cho vật liệu trầm tích vận chuyển vào đồng bằng khá đa dạng và hình thành nên các kiểu cấu trúc nền với tính chất cơ lý khác nhau. Do vậy, việc nghiên cứu các kiểu cấu trúc nền vùng đồng bằng ven biển Quảng Nam không chỉ có ý nghĩa trong công tác quy hoạch xây dựng và khai thác hợp lý mà còn là tài liệu quan trọng giúp các nhà thiết kế đưa ra các giải pháp xử lý nền hiệu quả, đảm bảo sự ổn định lâu dài cho công trình xây dựng trong điều kiện NBD. Kết quả nghiên cứu [8] cho thấy, đồng bằng ven biển Quảng Nam có thể phân thành 2 kiểu, 4 phụ kiểu, 45 dạng và 27 phụ dạng cấu trúc nền (Hình 1). Đồng thời tác giả [8] đã xây dựng bản đồ tải trọng giới hạn tiêu chuẩn (TTGHTC) đất

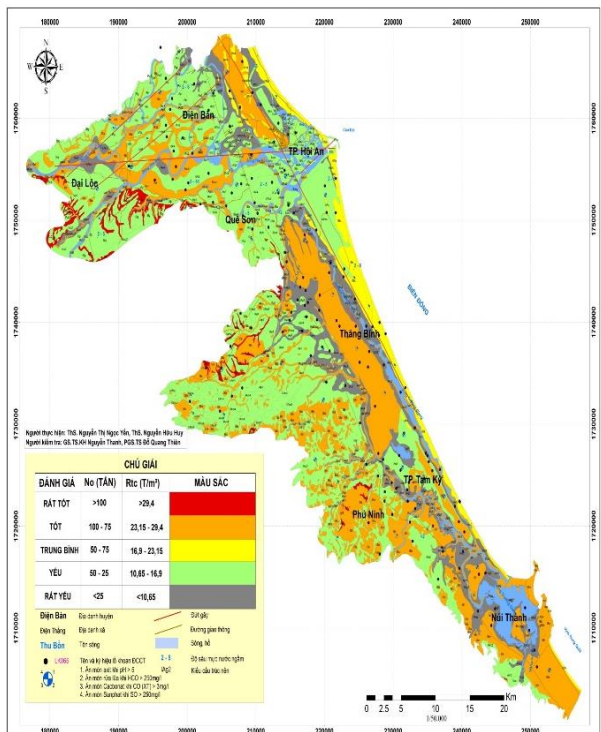
¹ The University of Danang - University of Science and Technology, Vietnam (Nguyen Thi Ngoc Yen, Vo Ngoc Duong, Nguyen Trung Quan, Doan Thuy Kim Phuong)

² Vietnam Southern Institute of Water Resources Research, Vietnam (Nguyen Cong Phong)

nền khu vực, kết quả phân thành 5 cấp tải trọng giới hạn tiêu chuẩn và được thể hiện bằng các màu sắc khác nhau: rất tốt, tốt, trung bình, yếu và rất yếu (Hình 2, Bảng 1).



Hình 1. Bản đồ cấu trúc nền đất ĐBVĐ Quảng Nam [8]



Hình 2. Bản đồ tải trọng giới hạn tiêu chuẩn đất nền ven biển
Quảng Nam [8]

Tuy nhiên, các nghiên cứu liên quan đến xâm nhập mặn các cấu trúc nền đất ven biển Quảng Nam dưới tác động của NBD theo kịch bản mới nhất của Bộ Tài nguyên và

Môi trường năm 2020 [11] còn hạn chế. Do vậy, nghiên cứu diễn biến xâm nhập mặn các cấu trúc nền đất ở đồng bằng ven biển Quảng Nam dưới tác động của NBD là rất cần thiết, nhằm làm cơ sở khoa học cho việc đề xuất các giải pháp giảm thiểu xâm nhập mặn để ngăn chặn sự biến đổi cấu trúc nền đất và bảo vệ công trình xây dựng.

Bảng 1. Bảng phân cấp giá trị tải trọng giới hạn tiêu chuẩn, sức chịu tải tiêu chuẩn và màu biểu thị trên bản đồ [8]

Phân cấp TTGHTC	N_0^{tc} (Tán)	R_{tc} (T/m ²)	Màu sắc	Diện tích km ²
Rất tốt	>100	>294	Đỏ	27,68 km ² ứng 2%
Tốt	75 – 100	231,5 - 294	Cam	484,44 km ² ứng 34,96%
Trung bình	50 – 75	169 – 231,5	Vàng	72,61 km ² ứng 5,24%
Yếu	25 – 50	10,65 - 169	Xanh lá	631,47 km ² ứng 45,57%
Rất yếu	<25	<10,65	Xám đậm	169,58 km ² ứng 12,23%

2. Cơ sở tài liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở tài liệu

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng số liệu về NBD theo các kịch bản RCP 4.5 (RCP 4.5 là các kịch bản BĐKH trung bình, khả năng dễ xảy ra nhất) kịch bản RCP 8.5 (RCP 8.5 là kịch bản BĐKH nghiêm trọng nhất, ít khả năng xảy ra, nhưng nếu xảy ra sẽ gây tác động lớn nhất) của Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020) [11], các số liệu về khí tượng – thủy văn tại các trạm ở khu vực (trạm Đà Nẵng, Cẩm Lệ thuộc thành phố Đà Nẵng; các trạm: Tiên Phước, Khâm Đức, Hiệp Đức, Hiên, Thành Mỹ, Nông Sơn, Quế Sơn, Hội Khách, Ái Nghĩa, Giao Thủy, Trà My, Câu Lâu, Hội An, Tam Kỳ thuộc tỉnh Quảng Nam) và dữ liệu được cung cấp bởi Đài khí tượng thủy văn khu vực Trung Trung bộ. Bên cạnh đó, bài báo sử dụng các tài liệu về địa hình, thủy văn, địa chất [6] để xây dựng bản đồ phân vùng ngập mặn các huyện ven biển hạ du sông Vu Gia – Thu Bồn theo các kịch bản khác nhau.

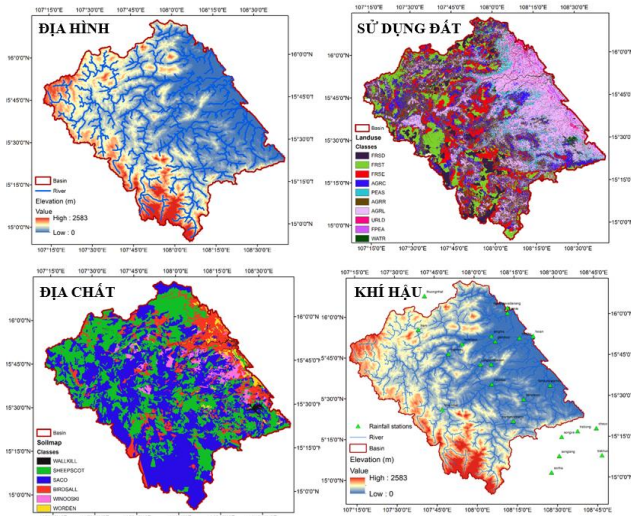
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Để phân tích tác động của NBD đến xâm nhập mặn các cấu trúc nền đất khu vực nghiên cứu, bài báo sẽ thực hiện phân tích hệ thống đối với các địa hệ tự nhiên - kỹ thuật có trong phạm vi nghiên cứu. Dựa trên tài liệu thu thập và các đặc điểm diễn biến xâm nhập mặn của lưu vực sông, bài báo áp dụng mô hình toán MIKESHE, MIKEFLOOD và MIKE21FM ([12]; [13]) để mô phỏng dòng chảy và tính toán quá trình xâm nhập mặn cho khu vực theo các kịch bản RCP 4.5, kịch bản RCP 8.5 của Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020) [11]. Đây là hai mô hình đã được sử dụng rộng rãi ở Việt Nam và trên thế giới, đã được kiểm chứng qua nhiều đề tài, dự án ([3]; [4]; [5]).

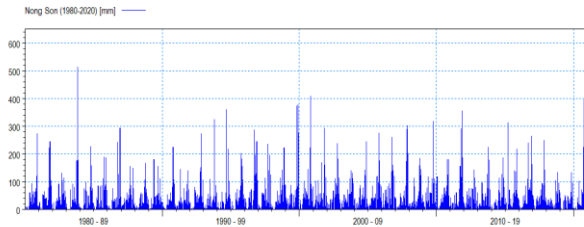
2.3. Thiết lập mô hình

Mô hình MIKESHE she được thiết lập để mô phỏng quá trình mưa dòng chảy cho diện tích lưu vực 10.350 km². (Hình 3). Mô hình sử dụng dữ liệu mưa ngày từ 1980- 2016 của 16 trạm đo mưa (trạm Đà Nẵng, Cẩm Lệ thuộc thành phố Đà Nẵng; các trạm: Tiên Phước, Khâm Đức, Hiệp Đức, Hiên, Thành Mỹ, Nông Sơn, Quế Sơn, Hội Khách, Ái Nghĩa, Giao Thủy, Trà My, Câu Lâu, Hội An, Tam Kỳ

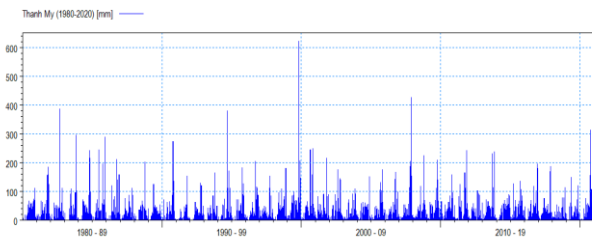
thuộc tỉnh Quảng Nam) và dữ liệu được cung cấp bởi Đài khí tượng thủy văn khu vực Trung Trung bộ. Lượng mưa thực đo của 02 trạm điển hình Nông Sơn và Thạnh Mỹ được thể hiện như ở biểu đồ Hình 4a và Hình 4b.



Hình 3. Thiết lập mô hình Mike SHE tỉnh Quảng Nam



Hình 4a. Biểu đồ lượng mưa thực đo trạm Nông Sơn từ năm 1980 đến năm 2016



Hình 4b. Biểu đồ lượng mưa thực đo trạm Thạnh Mỹ từ năm 1980 đến năm 2016

Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định so với dữ liệu lưu lượng thực đo tại hai trạm Nông Sơn, Thạnh Mỹ. Hiệu quả mô hình được đánh giá thông qua hệ số tương quan (R), hệ số Nash-Sutcliffe coefficient ($NASH$) ([14], [15]).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs})(X_{model,i} - \bar{X}_{model})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs})^2 \sum_{i=1}^n (X_{model,i} - \bar{X}_{model})^2}} \quad (1)$$

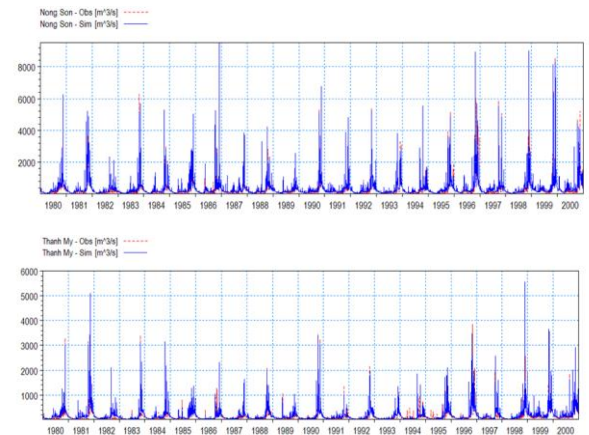
$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X}_{obs})^2} \quad (2)$$

Trong đó, X_{obs} giá trị thực đo và X_{model} giá trị mô phỏng tại bước thời gian i .

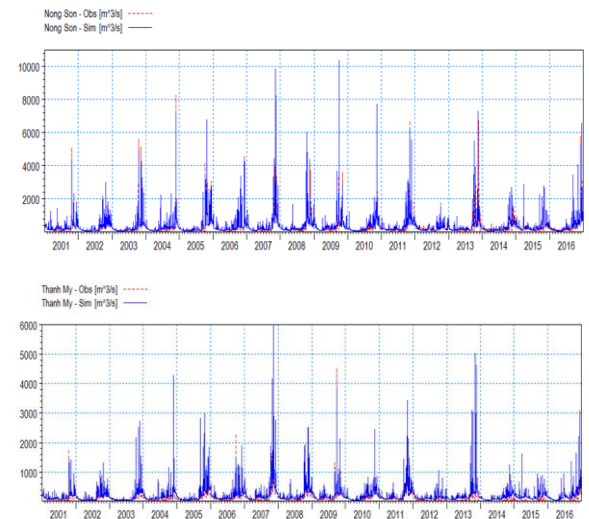
Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định của mô hình được thể hiện ở Bảng 2, Hình 5 và Hình 6 với hệ số tương quan đạt tới $R=0,791 - 0,881$ và phân bố các giá trị giữa thực đo và mô phỏng cũng khá tương đồng nhau, do vậy kết quả là rất tốt và đủ tin cậy cho các nghiên cứu tiếp theo.

Bảng 2. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình

Thông số	Trạm	Hiệu chỉnh (1980-2000)		Kiểm định (2001-2016)	
		R	NASH	R	NASH
Lưu lượng (m^3/s)	Thạnh Mỹ	0,813	0,619	0,791	0,577
	Nông Sơn	0,881	0,746	0,872	0,738



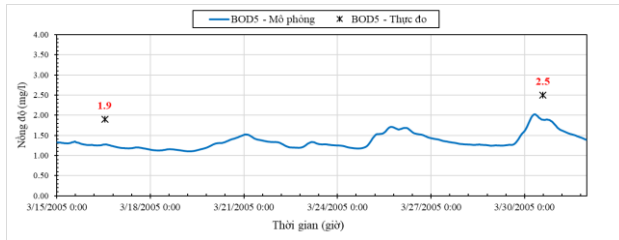
Hình 5. Biểu đồ hiệu chỉnh lưu lượng thực đo và quan trắc tại trạm Nông Sơn (trên) và Thạnh Mỹ (dưới) từ năm 1980-2000



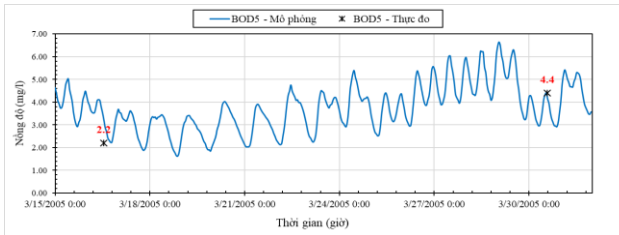
Hình 6. Biểu đồ hiệu chỉnh lưu lượng thực đo và quan trắc tại trạm Nông Sơn (trên) và Thạnh Mỹ (dưới) từ năm 2001-2016

Quá trình lan truyền chất được mô phỏng với mô hình MIKE21 FM (mô đun HD, ECO Lad/Oilspill) cho toàn bộ lưu vực sông Vu Gia – Thu Bồn (tỉnh Quảng Nam, thành phố Đà Nẵng). Mô hình được thiết lập cho khu vực hạ lưu với diện tích mô phỏng $1.000km^2$. Dữ liệu địa hình được cung cấp bởi Cục bản đồ dưới dạng địa hình tỉ lệ 1/5.000 với khu vực ven biển dọc từ thành phố Đà Nẵng đến thành phố Hội An và khu vực thành phố Tam Kỳ là bản đồ tỉ lệ 1/2.000, các khu vực khác của tỉnh Quảng Nam là bản đồ địa hình 1/100000; dữ liệu mạng lưới sông.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định của mô hình thể hiện Bảng 3, Hình 7. Từ kết quả so sánh ở Bảng 3, Hình 7 cho thấy, phân bố các giá trị thực đo và mô phỏng khá tương đồng nhau, do vậy kết quả hiệu chỉnh và kiểm định là rất tốt, đủ tin cậy cho các việc đánh giá tác động của NBD đến khu vực nghiên cứu (Bảng 3, Hình 7, Hình 8).



Hình 7. Biểu đồ hiệu chỉnh và kiểm định chỉ số BOD₅ tại cầu Tuyên Sơn tháng 3/2005



Hình 8. Biểu đồ hiệu chỉnh và kiểm định chỉ số BOD₅ tại cầu Thuận Phước tháng 3/2005

Bảng 3. So sánh kết quả chỉ số BOD₅ mô phỏng và thực đo tại cầu Tuyên Sơn và cầu Thuận Phước

Vị trí lấy mẫu	Ngày lấy mẫu	Giờ lấy mẫu	Đặc điểm thời tiết	BOD ₅ Thực đo	BOD ₅ Mô phỏng
Cầu Tuyên Sơn	30/03/2005	14h00	Nắng	2,50	1,89
	16/03/2005	14h00	Nắng	1,90	1,34
Cầu Thuận Phước	30/03/2005	13h00	Nắng	4,40	4,41
	16/03/2005	13h00	Nắng	2,20	2,31

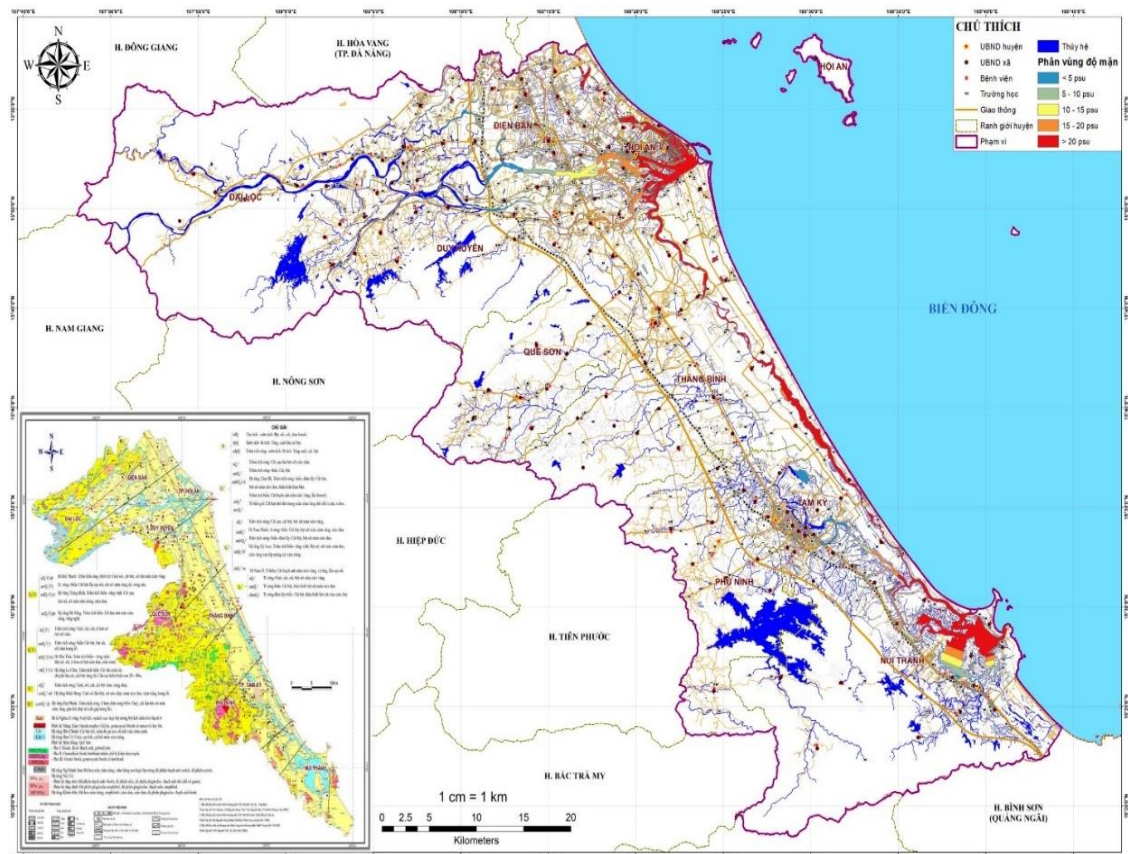
3. Kết quả và bàn luận

Quá trình tan băng tại hai cực Bắc và Nam của trái đất, và sự gia tăng nhiệt độ nước biển là những nguyên nhân cơ bản gây ra hiện tượng NBD. NBD sẽ làm tăng nguy cơ nước biển xâm nhập vào trong đất liền, kết hợp với việc khai thác thủy điện không hợp lý dẫn đến không có đủ nước ngọt từ thượng nguồn đổ về, NBD làm cho ranh giới mặn ngày càng đi sâu vào đất liền. Kết quả xây dựng bản đồ phân vùng ngập mặn theo các kịch bản RCP 4.5, kịch bản RCP 8.5 được thể hiện Hình 9, 10, 11 và Bảng 5.

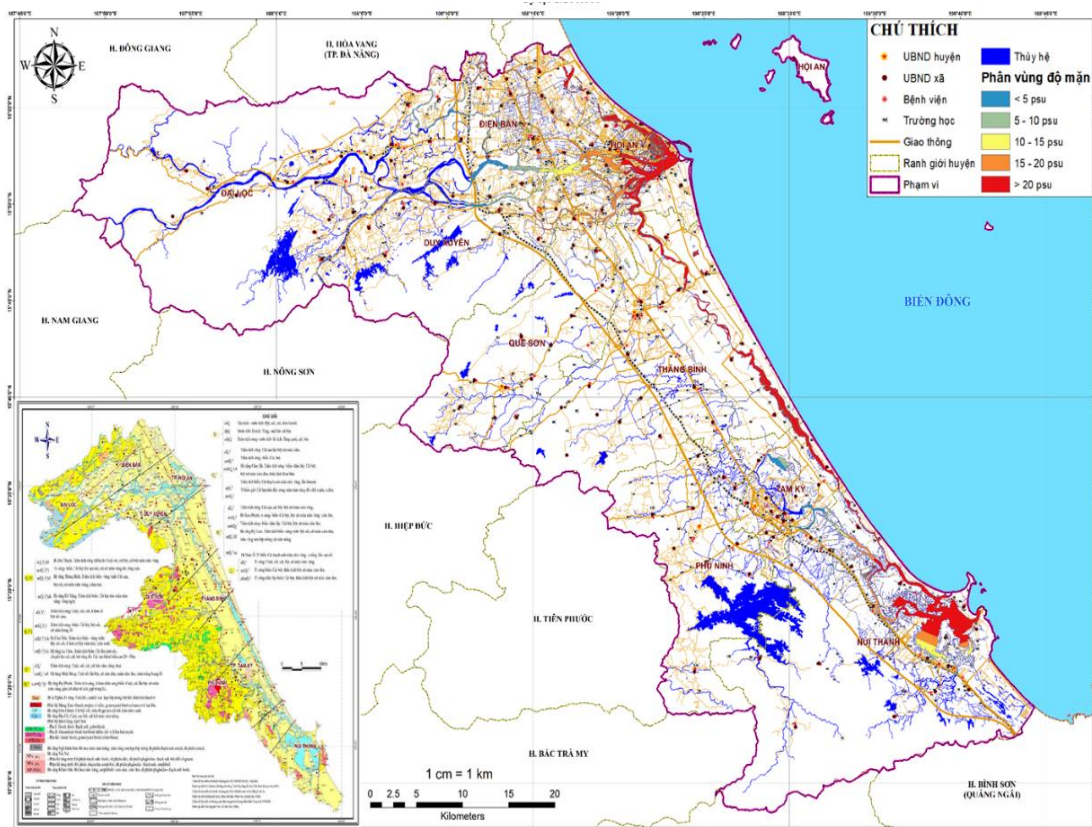
Bảng 5. Diện tích xâm nhập mặn với các kịch bản BĐKH khác nhau (km²)

Phân vùng độ mặn, psu	Diện tích xâm nhập mặn, (km ²)			
	RCP 4.5		RCP 8.5	
	2030	2050	2030	2050
<5	7,24	7,38	7,29	7,91
5-10	7,22	7,44	7,90	8,29
10-15	9,45	9,57	10,02	10,11
15-20	16,70	17,54	17,18	17,63
>20	50,21	51,96	50,98	52,65

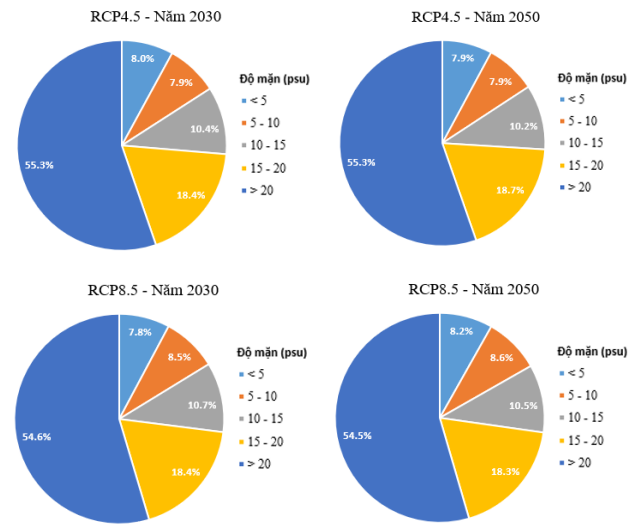
Kết quả xây dựng bản đồ phân vùng ngập mặn theo kịch bản RCP4.5 (Hình 9, 10, 11 và Bảng 5) cho thấy, NBD làm gia tăng diện tích xâm nhập mặn, theo kịch bản RCP4.5 thì diện tích cấu trúc nền đất bị xâm nhập mặn qua các năm như sau: năm 2030-90,82 km², năm 2050 – 93,89 km²; theo kịch bản RCP8.5 thì năm 2030 - 93,37 km², năm 2050 – 96,56 km²; ranh giới nhiễm mặn dịch chuyển sâu vào các cấu trúc nền đất ở vùng hạ lưu sông.



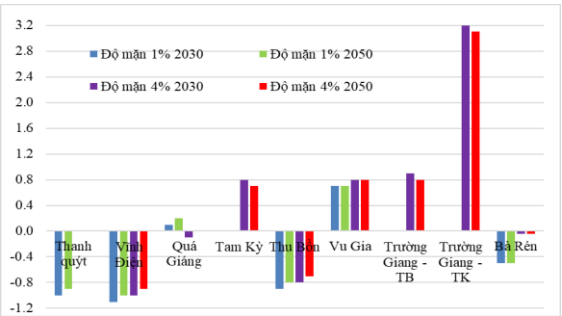
Hình 9. Bản đồ phân vùng ngập mặn các huyện ven biển hạ du sông Vu Gia – Thu Bồn, kịch bản RCP4.5 năm 2030



Hình 10. Bản đồ phân vùng ngập mặn các huyện ven biển hạ du sông Vu Gia – Thu Bồn, kịch bản RCP8.5 năm 2030



Hình 11. Biểu đồ tỷ lệ diện tích xâm nhập mặn theo các kịch bản mô phỏng



Hình 12. Độ mặn trên các sông trong lưu vực

Do ảnh hưởng NBD gây ra tình trạng xâm nhập mặn vào hạ du của các sông, làm gia tăng độ mặn của các sông lớn trong khu vực: Sông Tam Kỳ, sông Trường Giang – Thu Bồn., sông Trường Giang – Tam Kỳ, Sông Vu Gia (Hình 12).

Từ số liệu Bảng 5, Hình 1, Hình 2 kết hợp với kết quả xây dựng bản đồ phân vùng ngập mặn theo các kịch bản khác nhau (Hình 9, 10, 11 và Bảng 5) cho thấy, xâm nhập mặn xảy ra dọc hạ du các sông trong khu vực, nơi đây phân bố chủ yếu các cấu trúc nền đất có sức chịu tải yếu (chiếm 631,47 km² ứng 45,57%) đến rất yếu (169,58 km² ứng 12,23%). Xâm nhập mặn sẽ làm gia tăng quá trình ăn mòn địa hóa các kết cấu bê tông, kim loại và móng các công trình xây dựng đặt trong cấu trúc nền đất có hàm lượng muối NaCl cao, đồng thời khả năng ăn mòn sunfat sẽ gia tăng đối với các kết cấu nêu trên. Bên cạnh đó, sự nhiễm mặn làm thay đổi tính chất cơ lý của đất, càng làm giảm sức chịu tải của các cấu trúc nền đất. Khi hàm lượng các muối dễ hòa tan như clorua-natri, clorua-sunphat-natri trong đất tăng thì làm cho các giới hạn dẻo của đất tăng, nhưng khi hàm lượng này tăng vượt quá giới hạn nhất định thì tính dẻo của đất giảm đi và giới hạn này phụ thuộc vào loại đất. Theo kết quả công bố của tác giả Nguyễn Thị Nụ [16] và tác giả Tô Văn Lận [17] thì giới hạn trên thay đổi 0,6-0,8% trọng lượng đất khô tuyệt đối.

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu rút ra một số kết luận sau:
- Bài báo áp dụng mô hình toán MIKESHE, MIKEFLOOD và MIKE21FM để mô phỏng dòng chảy và tính toán quá trình xâm nhập mặn cho khu vực theo các

kịch bản RCP 4.5, kịch bản RCP 8.5. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình với hệ số tương quan đạt tới $R=0,791 - 0,881$ và phân bố các giá trị giữa thực đo và mô phỏng cũng khá tương đồng nhau, do vậy đủ tin cậy cho việc đánh giá tác động của NBD đến khu vực nghiên cứu.

- Kết quả xây dựng bản đồ phân vùng ngập mặn theo các kịch bản RCP 4.5, kịch bản RCP 8.5 cho thấy, diện tích cấu trúc nền đất bị xâm nhập mặn qua các năm như sau: theo kịch bản RCP 4.5 thì năm 2030-90,82 km², năm 2050 – 93,89 km²; theo kịch bản RCP8.5 thì năm 2030-93,37 km², năm 2050 – 96,56 km²; ranh giới nhiễm mặn dịch chuyển sâu vào các cấu trúc nền đất ở vùng hạ lưu sông.

- NBD đã và đang làm biến đổi môi trường địa chất ven biển Quảng Nam, đặc biệt là tình trạng xâm nhập mặn vào các cấu trúc nền đất có sức chịu tải yếu đến rất yếu (chiếm 57,8% và phân bố dọc theo hạ du lưu vực các sông) đã và đang làm gia tăng diện tích xâm nhập mặn, ranh giới nhiễm mặn dịch chuyển sâu vào các cấu trúc nền đất ở vùng hạ lưu sông làm cho các cấu trúc nền đất bị thay đổi tính chất cơ lý theo chiều hướng bất lợi,... gây ra nhiều tác động tiêu cực cho công trình xây dựng, hoạt động xây dựng công trình, thậm chí gây tổn hại cho các công trình xây dựng trên các cấu trúc nền nằm trong vùng chịu tác động mạnh mẽ của sự biến đổi này.

- Để giảm nhẹ những hậu quả do NBD, cần xác định và đánh giá chi tiết hơn nữa phạm vi xâm nhập mặn và mức độ nhiễm mặn của các cấu trúc nền trong phạm vi ảnh hưởng, từ đó xây dựng hành lan bảo vệ nhằm ngăn chặn sự biến đổi cấu trúc nền đất do xâm nhập mặn như: đập ngăn mặn giữ ngọt trên sông nhằm không cho nước mặn xâm nhập sâu vào sông; kè chống sạt lở và xâm nhập mặn; nâng cấp kè, đê ngăn mặn kết hợp đường giao thông.

Lời cảm ơn: Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số: T2023-02-44.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Prime Minister, *Decision approving the Planning of Quang Nam province for the period 2021 - 2030, vision to 2050*, No. 72/QĐ-TTg, 2024.
- [2] H. P. Tung, N. T. Ha, H. M. Hung, N. M. Hai, and T. D. Minh, "Combining physical and social modeling to assess the impact of climate change on coastal areas of Quang Nam province, Vietnam", The University of Danang – University of Science and Technology, Viet Nam, Code T2022-02-01HTQT, 2023.
- [3] V. N. Duong, N. C. Cong, N. T. Hao, D. V. Long, N. V. Que, and N. Q. Binh, "Study on the impact of climate change on flooding in the downstream area of Vu Gia – Thu Bon river basin, Vietnam", The University of Danang, Viet Nam, Code: B2016-DNA-26-TT, 2019.
- [4] V. N. Duong and G. Philipp, "Flood Risk Assessment: A View of Climate Change Impact at Vu Gia Thu Bon Catchment, Vietnam", in *Proc. Advances in Hydroinformatics, SimHydro 2017 - Choosing The Right Model in Applied Hydraulics*, Springer Singapore, 2018, pp. 727-737, https://doi.org/10.1007/978-981-10-7218-5_52.
- [5] V. N. Duong, G. Philipp, V. M. Tue, S. V. Raghavan, and S. Y. Liong, "A deterministic hydrological approach to estimate climate change impact on river flow: Vu Gia–Thu Bon catchment, Vietnam", *Journal of Hydro-environment Research*, Vol. 11, pp.59-74, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.jher.2015.11.001>.
- [6] N. T. T Ha, D. N. Khoi, and D. Q. Tuc, "Assessing the evolution of saltwater intrusion under the impact of climate change in Hoi An city", *Journal of Agriculture and Rural Development*, ISSN 1859-4581, vol 24, 2015.
- [7] L. D. Cuong, N. T. T. Hang, and N. C. Hung, "Developing coastal urban areas in Quang Nam facing the challenge of climate change", <https://tapchixaydung.vn/>, June 26, 2022. [Online]. Available: <https://tapchixaydung.vn/phat-trien-do-thi-ven-bien-quang-nam-truoc-thach-thuc-cua-bien-doi-khi-hau-2020122400001178.html> [Accessed June 26, 2022].
- [8] N. T. N. Yen et al., "Research on establishing a zoning map of soil structure types in the coastal plain of Quang Nam at a scale of 1:50,000 to serve the planning and design of construction works", The University of Danang, Viet Nam, Code B2016-DNA-23-TT, 2019.
- [9] H. N. T. Do, "Quaternary geological characteristics and underground water resources in the coastal plain of Quang Nam province", PhD Thesis in Geology, Hanoi University of Mining and Geology, 2016.
- [10] D. Q. Thien et al., "Dividing types of geological environmental structures and comprehensive assessment of the level of hydrodynamic activity in the lower Thu Bon River area", Ministry of Education and Training, Viet Nam, Code B2004-07-06, 2005.
- [11] Ministry of Natural Resources and Environment, "Climate change and sea level rise scenarios for Vietnam", Viet Nam, 2020.
- [12] Danish Hydraulic Institute (DHI), *MIKE SHE User Manual*, Volume 1: User Guide, pp.370, 2014a.
- [13] Danish Hydraulic Institute (DHI), *MIKE SHE User Manual*, Volume 2: Reference Guide, pp.444, 2014b.
- [14] A. Safari, F. Smedt, and F. Moreda, "WetSpa model application in the distributed model intercomparison project (DMIP2)", *Journal of Hydrology*, vol. 418, pp.78-89, 2012.
- [15] S. Wang, Z. Zhang, G. Sun, P. Strauss, J. Guo, Y. Tang, Y and A. Yao, "Multi-site calibration, validation, and sensitivity analysis of the MIKE SHE Model for a large watershed in northern China", *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 16, no. 12, pp. 4621-4632, 2012.
- [16] N. T. Nu, "Study on engineering geological properties of soft clay soil amQ₂₋₃ distributed in coastal provinces of Mekong Delta for roadbed treatment", PhD Thesis in Geology, Hanoi University of Mining and Geology, 2015.
- [17] T. V. Lan, "Study on the impact of saline and salt-contaminated environments on the stability and deformation of construction works", PhD Thesis, Southern Institute of Water Resources, Ho Chi Minh City, 2002.