



Original Article

Flood Hazard Assessment in Phu Loc District, Thua Thien Hue Province in the Context of Climate Change

Nguyen Kim Ngoc Anh*, Nguyen Hong Thuy, Nguyen Bach Tung

VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

Received 15 September 2020

Revised 26 January 2021; Accepted 08 February 2021

Abstract: The paper presents a number of results of flooding depth assessment in Phu Loc district, Thua Thien Hue province according to separate causes in case of climate change. The risk of flooding in Phu Loc is determined by 3 causes: Rivers at high stages can inundate the unprotected upstream part of the area and overflow the River dikes (fluvial flood), Heavy rainfall which cannot be effectively drained can cause inundation (pluvial flood) and Strong storms at sea occurring at high tide can raise water levels by several meters and overflow the sea dike (coastal flooding). Based on these three causes, the study evaluates the risk of flooding for separate causes with return periods of 10, 30, and 100 years in combination with climate change scenarios (MONRE, 2016). Sea level rise and rainfall and flow are expected to increase in 2030 and 2070. Mike Flood model is used as a scenarios calculation tool after calibrating and validating model parameters with Nash - Sutcliffe indicators at Kim Long and Phuc Oc stations achieved quite good results (0,95; 0,96; 0,86 and 0,70) and compared flooded area with satellite images. The impact of these three flood risks on Phu Loc is almost the same, with the overall flooding area increasing due to climate change with an increase of 1% to 5%.

Keywords: flood, Phu Loc, climate changescenarios.

* Corresponding author:

E-mail address: ngocanhnk@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4679>

Đánh giá hiểm họa lũ lụt tại huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế trong bối cảnh biến đổi khí hậu

Nguyễn Kim Ngọc Anh*, Nguyễn Hồng Thủy, Nguyễn Bách Tùng

*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 15 tháng 9 năm 2020

Chỉnh sửa ngày 26 tháng 01 năm 2021; Chấp nhận đăng ngày 08 tháng 02 năm 2021

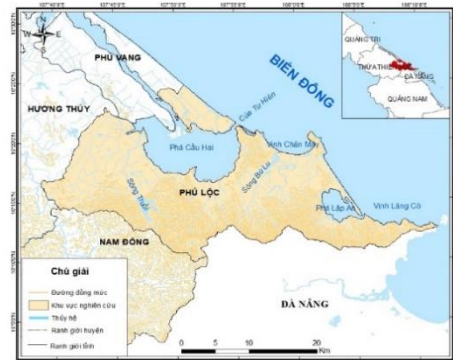
Tóm tắt: Bài báo trình bày một số kết quả đánh giá hiểm họa lũ lụt tại huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế theo các nguyên nhân khác nhau trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Nguy cơ ngập lụt tại Phú Lộc được xác định gồm 3 nguyên nhân: do lũ sông tràn bờ, do mưa lớn nội tại, do nước biển dâng kết hợp mưa trong bão. Xuất phát từ 3 nguyên nhân này, nghiên cứu đánh giá khả năng ngập lụt ứng với mỗi nguyên nhân với các chu kỳ lặp lại 10, 30, 100 năm kết hợp với các kịch bản biến đổi khí hậu (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2016): mực nước biển dâng và lượng mưa và lưu lượng dự kiến tăng trong năm 2030 và 2070. Mô hình Mike Flood được sử dụng là công cụ tính toán các kịch bản sau khi hiệu chỉnh, kiểm định bộ thông số mô hình với chỉ tiêu Nash - Sutcliffe tại trạm Kim Long và Phúc Ốc đạt kết quả khá tốt (0,95; 0,96; 0,86 và 0,70) và so sánh diện ngập với ảnh vệ tinh. Ảnh hưởng của 3 nguy cơ ngập lụt trên đến huyện Phú Lộc là gần như nhau, các khu vực ngập lụt tổng hợp tăng do biến đổi khí hậu với tỷ lệ tăng từ 1% đến 5%.

Từ khóa: ngập lụt, Phú Lộc, kịch bản biến đổi khí hậu.

1. Mở đầu

Tỉnh Thừa Thiên - Huế thường bị ngập lụt đặc biệt các là thành phố/ huyện trung thấp, ven biển. Huyện Phú Lộc là một huyện ven biển, nằm ở cực nam của tỉnh Thừa Thiên Huế, giáp Biển Đông về phía đông và đèo Hải Vân ở phía nam, là nơi thường chịu ảnh hưởng nặng nề của mưa lớn, bão và lũ lụt. Huyện Phú Lộc có diện tích 72.036 ha, huyện bao gồm hai thị trấn Lăng Cô và Phú Lộc và mười sáu xã [1] (Hình 1).

Hệ thống sông Phú Lộc phân bố tương đối đều khắp huyện. Hầu hết các con sông và suối bắt nguồn từ các ngọn núi phía bắc và sườn phía đông của dãy Bạch Mã và chảy từ tây sang đông.



Hình 1. Khu vực huyện Phú Lộc.

Những con sông này chạy từ núi và đồi đến đồng bằng hẹp bị chặn bởi cồn cát trước khi đổ ra biển. Các con sông chính ở huyện Phú Lộc là

* Tác giả liên hệ:

Địa chỉ email: ngocanhk@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4679>

sông Truồi, Bù Lu và Cầu Hai, cùng với nhiều dòng suối nhỏ nên lượng nước khá dồi dào. Ngoài ra, ở đây có những đầm phá lớn như đầm Cầu Hai (11.200 ha) nối với biển qua cửa Tư Hiền và đầm Lập An (1.500 ha) nối với biển qua vịnh Lăng Cô.

Đánh giá hiểm họa lũ lụt cho khu vực huyện Phú Lộc là việc cấp thiết. Các nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đánh giá hiểm họa lũ lụt như:

S. Mosquera-Machado và Sajjad Ahmad (2007) [2] đã đánh giá hiểm họa lũ lụt do sông Atrato ở Quibdó, phía tây bắc Colombia bằng các kỹ thuật mô hình thống kê (Gumbel và GRADEX), mô hình thủy lực (HEC-RAS) và Hệ thống thông tin địa lý (GIS). Tác giả xây dựng bản đồ hiểm họa lũ lụt với các chu kỳ 10, 20 và 50 năm từ đó thấy được vùng ngập lụt ở bờ Tây sông nhiều hơn bờ Đông và độ sâu ngập ở các khu vực.

Y. Keokhumcheng và các tác giả (2012) [3] đã tập trung vào so sánh đánh giá hiểm họa lũ lụt từ mô hình mô phỏng ngập lụt (Mike Flood) và trận lũ lụt xảy ra vào tháng 11 năm 2011 tại khu vực sân bay quốc tế Bangkok, Thái Lan. Tác giả xác định các khu vực bị ngập theo phân cấp độ ngập lụt.

Pankaj Mani và các tác giả (2014) [4] đã sử dụng mô hình thủy động lực kết hợp 1 chiều và 2 chiều xây dựng các kịch bản mô phỏng ngập lụt khu vực phía Bắc Ấn Độ. Từ đó tác giả đánh giá hiểm họa lũ lụt cho vùng và hạ du, phân cấp hiểm họa lũ lụt,...

Trần Ngọc Anh và các tác giả (2012) [5] đã mô phỏng ngập lụt với các kịch bản mưa tần suất 1%, 5%, 10% bằng công cụ mô hình Mike Flood, từ đó đánh giá nguy cơ ngập lụt các khu vực trũng trên địa bàn tỉnh Hưng Yên với sản phẩm được thể hiện dưới dạng bản đồ ngập lụt.

Nguyễn Đình và các tác giả khác (2013) [6] đã ứng dụng mô hình HEC-HMS và HEC-RAS để nghiên cứu mô phỏng dòng chảy lũ lưu vực sông Hương.

Đặng Đình Đức và các tác giả (2013) [7] đã xây dựng bản đồ tính dễ bị tổn thương gây ra bởi ngập lụt cho lưu vực sông Nhuệ Đáy dựa trên công thức: $Tổn\ thương\ lũ = Sự\ phơi\ nhiễm - Khả$

năng\ chống\ chịu

. Trong đó sự phơi bày của các đối tượng trước lũ, ngập lụt được thành lập dựa trên bản đồ hiểm họa lũ, ngập lụt và bản đồ sử dụng đất. Tác giả đã xác định bản đồ hiểm họa lũ, ngập lụt có thể được đánh giá thông qua các chỉ số cơ bản như bản đồ ngập lụt, thời đoạn lũ, vận tốc lũ, xung lượng lũ (là tích của mực nước lũ và vận tốc lũ), vật liệu trong dòng lũ (trầm tích, muối, các chất hóa học, nước thải và đất đá),... Trong các yếu tố đó thì độ sâu ngập lụt, vận tốc đỉnh lũ, thời gian ngập lụt đóng một vai trò quan trọng trong việc xác định các thiệt hại về lũ. Các bản đồ này là kết quả đầu ra của mô hình thủy lực.

Nguyễn Thanh Sơn và các tác giả (2016) [8] đã xây dựng bộ bản đồ ngập lụt, độ phơi nhiễm, tính nhạy dựa trên kết quả ứng dụng mô hình Mike mô phỏng ngập lụt lưu vực sông Bến Hải - Thạch Hãn với các trận lũ thiết kế. Nguyễn Thanh Sơn và các tác giả (2016) [9] đã phân tích tình hình ngập úng và lũ lụt miền hạ du lưu vực sông Lam chỉ ra cần giải quyết bài toán bằng mô hình thủy văn và thủy lực cho 3 trường hợp: mưa lũ tự nhiên, mưa lũ có ảnh hưởng của hồ chứa và mưa lũ khu vực đô thị,...

Bài báo này đánh giá hiểm họa lụt tại huyện Phú Lộc theo các nguyên nhân chính gây nên gồm: lũ sông tràn bờ, mưa lớn nội tại, và nước biển dâng kết hợp mưa trong bão sử dụng mô hình Mike Flood với các kịch bản tính toán có xét đến biến đổi khí hậu.

2. Phương pháp và dữ liệu

2.1. Giới thiệu mô hình Mike Flood

Các công cụ mô hình thủy động lực hiện nay là phương pháp đang được sử dụng rộng rãi để đánh giá nguy cơ ngập lụt do tính ưu việt về khả năng mô tả chính xác quá trình lũ theo thời gian, phân bố theo không gian của các yếu tố động lực và đặc biệt cho phép tính toán dự báo, mô phỏng theo các kịch bản thay đổi trên bề mặt lưu vực hoặc đánh giá tác động của các hoạt động kinh tế xã hội đến tình hình ngập lụt trong khu vực nghiên cứu. Trong số các mô hình thủy động lực hiện có, Mike Flood do Viện Thủy lực Đan Mạch.

(DHI) phát triển là một bộ mô hình thủy lực cho phép kết nối 1-2 chiều để tận dụng hiệu quả tính toán của mô hình 1 chiều cũng như khả năng mô phỏng 2 chiều trên đồng bằng ngập lũ [5]. Để đánh giá các khu vực ngập lụt cho khu vực nghiên cứu này, phần mềm mô hình 1-2D Mike Flood [10] được sử dụng để mô phỏng dòng chảy trong các kênh, sông (1D Mike 11 [11]) và trên bãi ngập lũ (2D Mike 21 [12]). Mô-đun MIKE NAM [11] đã được sử dụng để mô phỏng dòng chảy cho biên trên và biên gia nhập khu giữa.

2.2. Dữ liệu và mô hình hóa ngập lụt

i) Dữ liệu

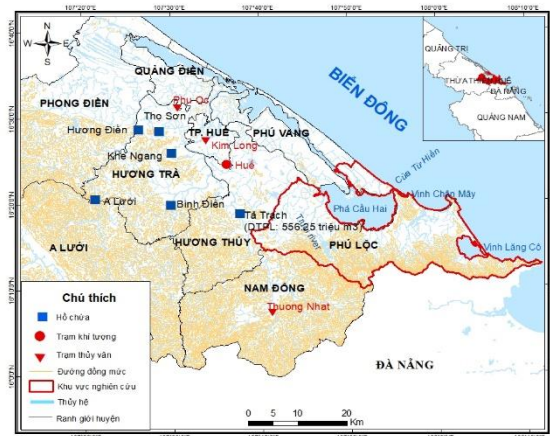
Khu vực nghiên cứu nằm ở hạ lưu lưu vực sông Hương, có kết nối thủy lực với nhiều sông và bãi ngập lũ, các đầm phá ven biển, do đó, miền tính của mô hình thủy lực 1D và 2D đã được mở rộng ra toàn bộ mạng lưới sông của sông Hương;

Dữ liệu địa hình: sử dụng dữ liệu địa hình tỷ lệ 1:10:000, do Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, Bộ Tài nguyên và Môi trường thực hiện, để tạo mô hình số độ cao DEM) với độ phân giải 30 m x 30 m cho toàn bộ huyện Phú Lộc. Ngoài ra, cao trình các đê ở các khu vực sau đây được đưa vào mô phỏng: tây phá Cầu Hai, đông phá Cầu Hai, đông phá Đông [13];

Dữ liệu ảnh vệ tinh: do thiếu thông tin về lũ lụt để đánh giá diện ngập mô phỏng bằng mô hình, hai cảnh ảnh vệ tinh LandsAT đã được thu thập vào ngày 13 tháng 9 năm 2016 và ngày 10 tháng 11 năm 2017 để trích xuất diện ngập trong khu vực nghiên cứu;

Dữ liệu mặt cắt sông: dữ liệu cắt ngang (trừ sông Bù Lu) được tham khảo từ [14]. Dữ liệu mặt cắt trên sông Bù Lu đã được trích xuất từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1/10.000 do Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin Địa lý Việt Nam cung cấp;

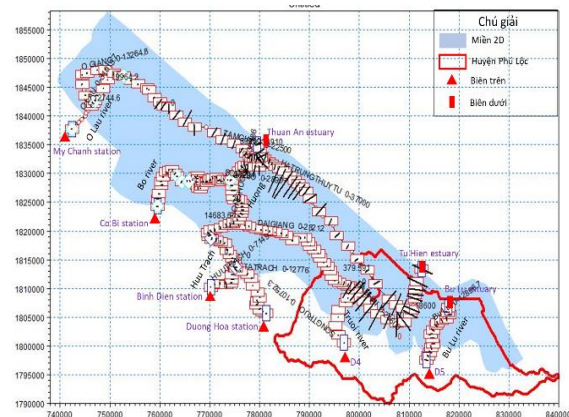
Số liệu khí tượng thủy văn: lượng mưa ngày, mực nước tại trạm Kim Long (1977-2000, 2008-2018), lượng mưa trong các trận bão tại trạm Huế (1915-1925, 1960 - 1997 và 2008-2018) Phú Ốc (1977-2018) và Huế (1977-2018); lưu lượng và mực nước ngày tại trạm Thượng Nhật (1981-2018);



Hình 2. Mạng lưới trạm thủy văn và khí tượng trong khu vực.

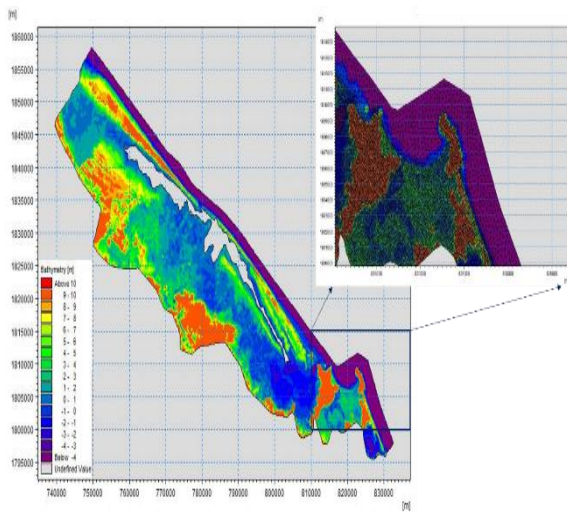
ii) Thiết lập mô hình

Miền tính toán của mô hình thủy lực 1D bao gồm các sông: Ô Giang, Ô Lâu, Bô, Hữu Trạch, Tả Trạch, Hương, Đại Giang, Truồi, sông Bù Lu và các đầm, phá: Tam Giang, Thúy Tú, Hà Trung, Cầu Hai, và Lập An (Hình 3). Các biên trên được tính toán mô phỏng từ mô hình mô hình MIKE NAM tại Mỹ Chánh, Cổ Bi, Bình Điền, Dương Hòa, Bù Lu và các gia nhập khu giữa. Đường quá trình mực nước triều được tính toán bằng cách sử dụng các hằng số điều hòa thủy triều của vùng biển khu vực tỉnh Thừa Thiên Huế, các trường hợp nước dâng trong bão, được sử dụng làm biên dưới;

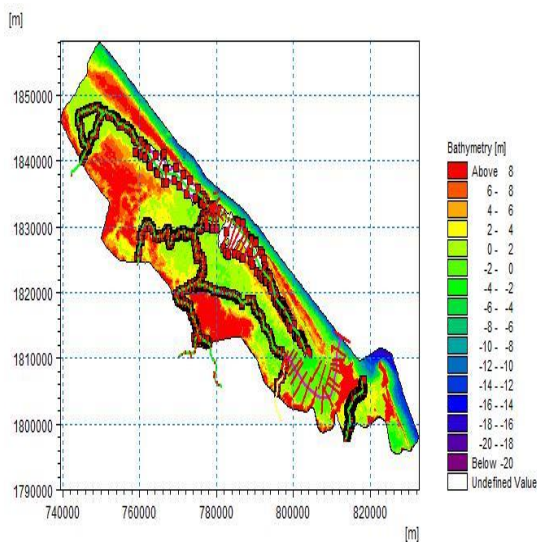


Hình 3. Sơ đồ miền tính toán.

Miền tính toán 2D được xác định trên diện ngập lớn nhất trong lịch sử và được mở rộng thêm để miền tính có thể bao phủ được cả những kịch bản ngập lụt lớn trong tương lai. Miền tính sử dụng lưới phi cấu trúc với diện tích phần tử nhỏ nhất là 500 m², tổng số phần tử tính toán là 855.475 phần tử, đảm bảo độ chi tiết để mô phỏng ngập lụt (Hình 4). Phần mềm MIKE FLOOD sau đó đã được sử dụng để kết nối mô hình 1-2D (Hình 5);

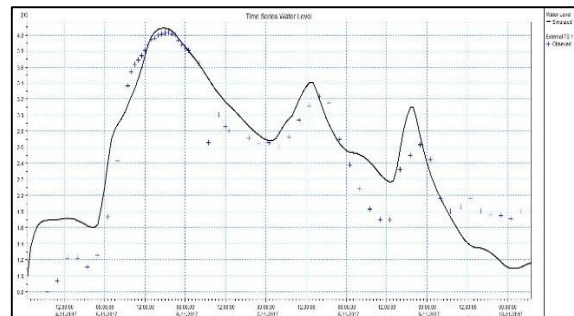


Hình 4. Lưới tính toán 2D trong MIKE 21.



Hình 5. Kết nối 1-2D trong phần mềm MIKE FLOOD.

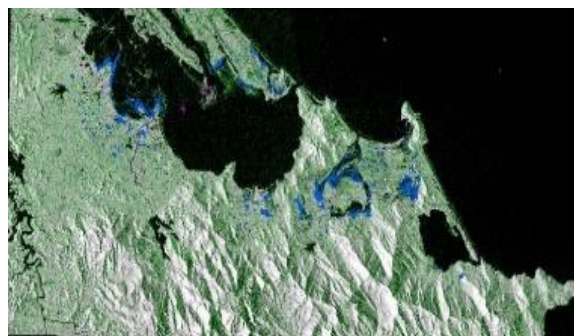
iii) Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình
 Trận lũ từ 04-10/11/2017 đã được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình. Kết quả cho thấy, sai số đỉnh lũ là 0,09 m tại trạm Phú Ốc, 0,04 m tại trạm Kim Long với cùng thời gian xuất hiện đỉnh lũ (Hình 6). Chỉ số Nash-Sutcliffe [15] tại các trạm Phú Ốc và Kim Long là 0,95 và 0,96, đạt mức rất tốt;
 Vùng ngập được mô phỏng bởi mô hình tương tự như vùng được lấy từ ảnh vệ tinh (Hình 7);



Hình 6. Mức nước tính toán và thực đo tại Kim Long tháng 11 năm 2017.



Diện tích ngập vào 10/11/2017 (ảnh vệ tinh)

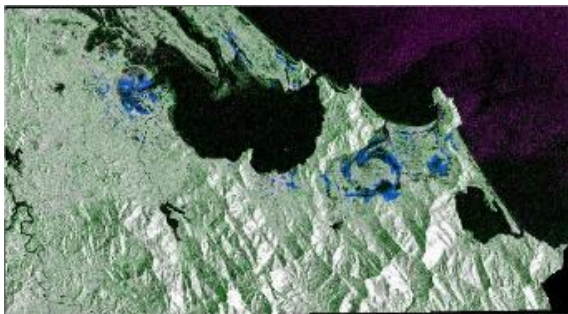


Diện tích ngập vào 10/11/2017 (kết quả của mô hình)

Hình 7. Diện tích ngập đo từ ảnh vệ tinh và tính toán từ mô hình trong trận lũ tháng 11/2017.



Diện tích ngập vào 13/9/2016 (theo ảnh vệ tinh)



Diện tích ngập vào 13/9/2016 (theo mô hình)

Hình 8. Diện tích ngập đo bởi ảnh vệ tinh và tính toán từ mô hình vào tháng 9 năm 2016.

Trận lũ từ 12-14/9/2016 được sử dụng để kiểm định mô hình. Kết quả cho thấy, sai số đỉnh lũ là 0,04 m tại trạm Phú Ốc và 0,02 m tại trạm Kim Long. Chỉ số Nash-Sutcliffe tại trạm Phú Ốc và Kim Long tương ứng là 0,86 và 0,70, đều đạt loại tốt;

Kết quả cho thấy sự tương đồng giữa khu vực ngập lụt được tính toán và mức độ ngập được lấy từ dữ liệu hình ảnh vệ tinh trong cùng thời gian;

Mô hình cho thấy một sự tương đồng tốt giữa kết quả mô phỏng và thực đo trong cả hiệu chỉnh và kiểm định. Do đó, mô hình kết nối 1-2D này có thể sử dụng để mô phỏng ngập lụt theo các kịch bản khác nhau.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kịch bản tính toán

Nguy cơ ngập lụt tại Phú Lộc được xác định gồm 3 nguyên nhân: do lũ sông tràn bờ, do mưa

lớn nội tại, do nước biển dâng kết hợp mưa trong bão. Xuất phát từ 3 nguyên nhân này, nghiên cứu sẽ đánh giá khả năng ngập lụt ứng với mỗi nguyên nhân với các chu kỳ lặp lại 10, 30, 100 năm.

Sử dụng các kịch bản biến đổi khí hậu: mực nước biển dâng, lượng mưa và lưu lượng dự kiến tăng trong năm 2030 và 2070. Lượng mưa tăng đã nội suy đến các năm 2030 và 2070 tại Phú Lộc là 15% và 35% so với giai đoạn nền [16].

Dựa trên các quy tắc trong Quyết định 2482/QĐ-TCT ngày 30/12/2015 [17], khi mực nước tại các hồ chứa thượng nguồn (Bình Điền, Hương Điện và Tả Trạch) đạt mực nước thiết kế, chủ đập sẽ vận hành các cửa xả tràn để đảm bảo rằng lượng xả bằng lượng đến nghĩa là trong những trường hợp này, các hồ chứa không có bất kỳ ảnh hưởng nào đến đỉnh lũ. Điều này củng cố chặt chẽ cho phương pháp trong thiết lập mô hình ngập lụt không xét đến ảnh hưởng hồ chứa.

Để thiết lập các kịch bản mô phỏng, các điều kiện biên được xác định như sau:

i) Điều kiện biên trên

- Đối với các kịch bản lũ sông: các giá trị lưu lượng biên trên ứng với chu kỳ lặp lại 10, 30, 100 năm được tính toán dựa trên phân tích chuỗi số liệu lưu lượng tại trạm thủy văn Thượng Nhật từ năm 1981-2018;

- Đối với các kịch bản do mưa lớn và nước dâng: lưu lượng biên trên lấy bằng lưu lượng trung bình trong các cơn bão đã đổ bộ vào Phú Lộc và khu vực lân cận trong thời gian từ 1969 - 2018;

ii) Điều kiện biên dưới

- Đối với các kịch bản lũ sông và mưa lớn: sử dụng mực nước triều trung bình nhiều năm tại khu vực Phú Lộc. Mực nước trung bình theo QĐ số 1790/QĐ-BTNMT ngày 06/6/2018 [18];

- Đối với các kịch bản nước dâng trong bão: sử dụng mực nước dâng với các chu kỳ lặp lại 10, 30, 100 năm theo TCVN 9901-2014 [19];

iii) Điều kiện mưa

- Đối với các kịch bản lũ sông: lượng mưa được lấy bằng lượng mưa trung bình trong các trận bão đã đổ bộ;

- Đối với các kịch bản mưa lớn nội tại: sử dụng các giá trị mưa thiết kế với các chu kỳ lặp lại 10, 30, 100 năm. Các giá trị này được tính toán dựa trên tài liệu mưa 3 ngày lớn nhất tại Phú Lộc;

- Đối với các kịch bản nước biển dâng: lượng mưa được lấy bằng lượng mưa trung bình trong các trận bão đã đổ bộ.

Dựa trên các lựa chọn này, nghiên cứu tiến hành mô phỏng với 18 KB tổ hợp theo các điều kiện biên đầu vào khác nhau (Bảng 1, Bảng 2).

Bảng 1. Thông tin kịch bản trung hạn (2030)

TT	Tên kịch bản	Nguyên cơ	Chu kỳ lặp lại (năm)	Điều kiện biên trên	Điều kiện biên dưới, mực nước (m)	Lượng mưa (mm)			
						Ngày 1	Ngày 2	Ngày 3	Tổng
			T		Mực nước				
1	1A-RCP 8,5 - 2030	Lũ sông	10	Lưu lượng (T=10): Q=1132 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=93 cm	27,98	110,31	67,11	205,40
2	2A - RCP 8,5 - 2030	Mưa lớn	10	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=220 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=93 cm	283,58	398,10	129,31	810,99
3	3A - RCP 8,5 - 2030	Nước biển dâng	10	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=220 m ³ /s	Mực nước biển (T=10): H=124 cm	27,98	110,31	67,11	205,40
4	1B-RCP 8,5 - 2030	Lũ sông	30	Lưu lượng (T=30): Q=1341 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=93 cm	27,98	110,31	67,11	205,40
5	2B - RCP 8,5 - 2030	Mưa lớn	30	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=220 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=93 cm	364,70	499,73	165,92	1030,35
6	3B - RCP 8,5 - 2030	Nước biển dâng	30	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=220 m ³ /s	Mực nước biển (T=30): H=199 cm	27,98	110,31	67,11	205,40
7	1C-RCP 8,5 - 2030	Lũ sông	100	Lưu lượng (T=100): Q=1506 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=93 cm	27,98	110,31	67,11	205,40
8	2C - RCP 8,5 - 2030	Mưa lớn	100	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=220 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=93 cm	428,09	559,70	249,48	1237,27
9	3C - RCP 8,5 - 2030	Nước biển dâng	100	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=220 m ³ /s	Mực nước biển (T=100): H=264 cm	27,98	110,31	67,11	205,40

Bảng 2. Thông tin kịch bản dài hạn hạn (2070)

TT	Tên kịch bản	Nguy cơ	Chu kỳ lặp lại (năm)	Điều kiện biên trên	Điều kiện biên dưới, mực nước (m)	Lượng mưa (mm)			
						Mực nước	Ngày 1	Ngày 2	Ngày 3
1	1A-RCP 8,5 - 2070	Lũ sông	10	Lưu lượng (T=10): Q=1257 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=121 cm	33,67	132,75	80,76	247,18
2	2A - RCP 8,5 - 2070	Mưa lớn	10	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=244 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=121 cm	341,26	479,06	155,61	975,93
3	3A - RCP 8,5 - 2070	Nước biển dâng	10	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=244 m ³ /s	Mực nước biển (T=10): H=170 cm	33,67	132,75	80,76	247,18
4	1B-RCP 8,5 - 2070	Lũ sông	30	Lưu lượng (T=10): Q=1488 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=121 cm	33,67	132,75	80,76	247,18
5	2B - RCP 8,5 - 2070	Mưa lớn	30	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=244 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=121 cm	438,88	601,37	199,67	1239,92
6	3B - RCP 8,5 - 2070	Nước biển dâng	30	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=244 m ³ /s	Mực nước biển (T=30): H=227 cm	33,67	132,75	80,76	247,18
7	1C-RCP 8,5 - 2070	Lũ sông	100	Lưu lượng (T=100): Q=1672 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=121 cm	33,67	132,75	80,76	247,18
8	2C - RCP 8,5 - 2070	Mưa lớn	100	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=244 m ³ /s	Nước dâng và triều trung bình: H=121 cm	515,16	673,54	300,22	1488,92
9	3C - RCP 8,5 - 2070	Nước biển dâng	100	Lưu lượng trung bình trong bão: Q=244 m ³ /s	Mực nước biển (T=100): H=292 cm	33,67	132,75	80,76	247,18

3.2. Kết quả nhóm kịch bản trung hạn (2030)

Mô hình thiết lập với các điều kiện biên của các kịch bản được xác định cho năm 2030.

Những kết quả này cho thấy, ở Phú Lộc các nguyên nhân gây ra ngập lụt là như nhau, ngập

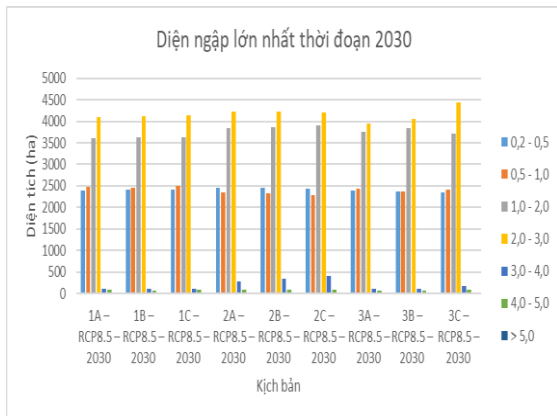
do mưa, ngập do sông và nước biển dâng đều quan trọng mặc dù lượng mưa cực lớn có thể có tác động nhiều hơn một chút so với những nguyên nhân khác (Hình 9).

Đối với các kịch bản ngập lụt do lũ sông, hệ thống đê sông ở Phú Lộc chỉ có thể bảo vệ chống

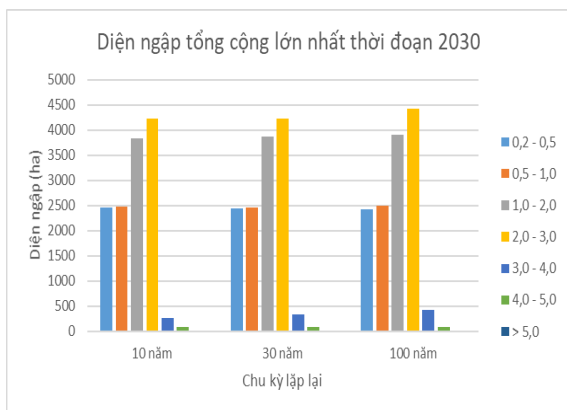
lũ với chu kỳ lặp lại dưới 10 năm và đối với lũ lớn hơn, lũ tràn đê. Diện tích bị ngập khoảng 12.771 ha trong chu kỳ lặp lại 10 năm, khoảng 12.806 ha trong chu kỳ lặp lại 30 năm và khoảng 12.904 ha trong chu kỳ lặp lại 100 năm (Hình 9).

Đối với các kịch bản ngập lụt do mưa lớn, ngập lụt xảy ra trong đê do hậu quả của mưa lớn cục bộ. Đối với lượng mưa có chu kỳ lặp lại 10 năm, diện tích ngập của Phú Lộc là khoảng 13.262 ha, trong khi đối với chu kỳ 30 năm, con số tương ứng là khoảng 13.310 ha. Đối với chu kỳ 100 năm, diện tích ngập là 13.353 ha (Hình 9).

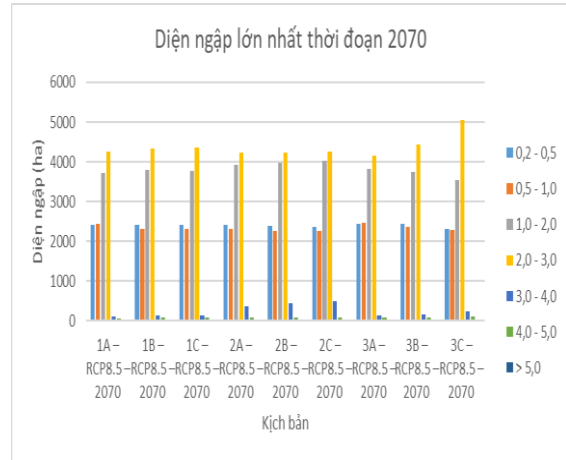
Đối với các KB nước biển dâng, kết quả cho thấy diện tích ngập tối đa nhỏ hơn so với hai kịch bản trước đó, diện tích ngập trong chu kỳ lặp lại 10, 30 và 100 năm lần lượt là 12.720 ha, 12.819 ha và 13.171 ha (Hình 9).



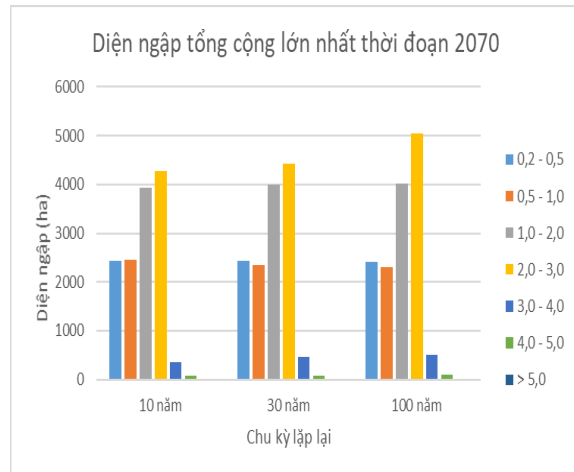
Hình 9. Diện ngập lớn nhất thời đoạn 2030.



Hình 10. Diện ngập tổng cộng lớn nhất tại Phú Lộc trong kịch bản trung hạn.



Hình 11. Diện ngập lớn nhất thời đoạn 2070.



Hình 12. Diện ngập tổng cộng lớn nhất tại Phú Lộc trong kịch bản dài hạn.

Đánh giá diện ngập lớn nhất:

Kết quả của tất cả nguyên nhân gây ngập lụt bao gồm ngập do mưa, ngập do lũ sông và nước biển dâng trong cùng chu kỳ lặp lại được tổng hợp bằng cách sử dụng độ sâu ngập tối đa ở mỗi điểm lưới để tìm độ sâu ngập nước đại diện cho tần suất thống kê này.

Các khu vực ngập tối đa với chu kỳ lặp lại 10, 30 và 100 năm được thể hiện trong Hình 10. Kết quả cho thấy, trong giai đoạn 2030, diện tích ngập trong chu kỳ lặp 10 năm là 13.385 ha, diện tích ngập chu kỳ lặp lại 30 năm và chu kỳ lặp lại 100 năm lần lượt là 13.438 ha và 13.784 ha. Các xã và phường có diện tích ngập lụt lớn bao gồm:

Lộc An, Lộc Trí, Lộc Đình, Lộc Tiên, (Hình 10, Hình 13a, 13b, 13c).

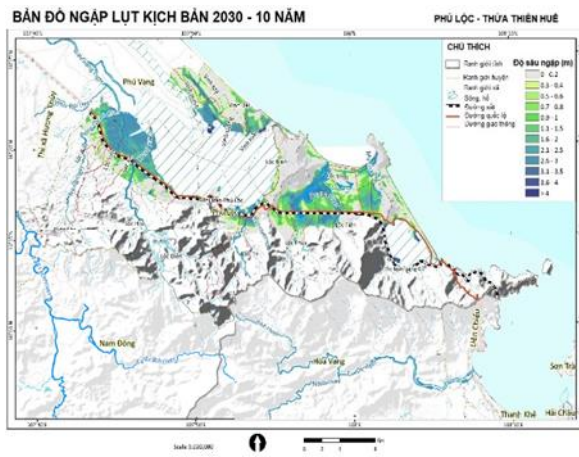
3.3. Kết quả nhóm kịch bản dài hạn (2070)

Đối với các kịch bản ngập do lũ sông, diện tích bị ngập lụt là khoảng 13.058 ha tương ứng chu kỳ lặp lại 30 năm và khoảng 13.100 ha tương ứng thời gian lặp lại 100 năm (Hình 11). Đối với các kịch bản do mưa lớn, diện tích ngập nước của Phú Lộc là khoảng 13.371 ha, 13.449 ha và 13.505 ha cho các khoảng chu kỳ lặp lại 10, 30 và 100 năm (Hình 11). Kết quả kịch bản ngập do nước biển dâng cho thấy diện tích ngập ứng nhỏ

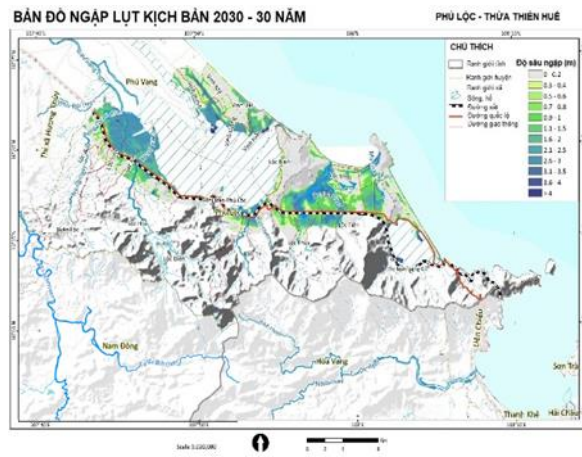
hơn so với vùng ngập do mưa lớn, vì diện tích ngập trong thời gian chu kỳ 10, 30 và 100 năm lần lượt là 13.064 ha, 13.228 ha và 13,571 ha (Hình 11). Các khu vực bị ngập lụt này lớn hơn một chút so với các kịch bản trung hạn.

Đánh giá mức ngập lớn nhất:

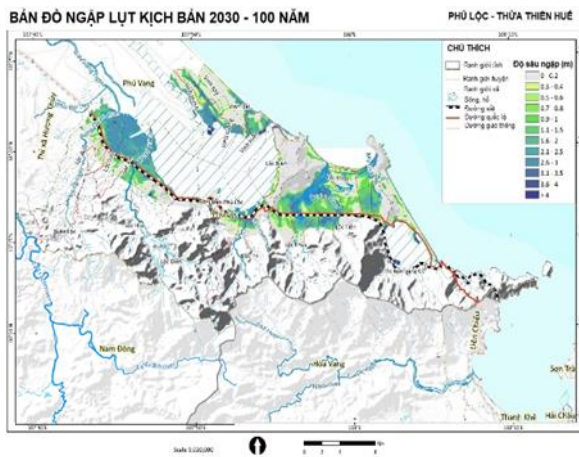
Kết quả cho thấy, trong giai đoạn 2030, diện tích ngập trong chu kỳ lặp lại 10 năm là 13,551 ha, trong chu kỳ lặp lại 30 năm, con số này là 13.769 ha và trong chu kỳ lặp lại 100 năm, con số này là 14.425 ha. Các xã và phường có diện tích ngập lớn là Lộc An, Lộc Trì, Lộc Điện, Lộc Tiên, (Hình 12, Hình 13d, 13e, 13f).



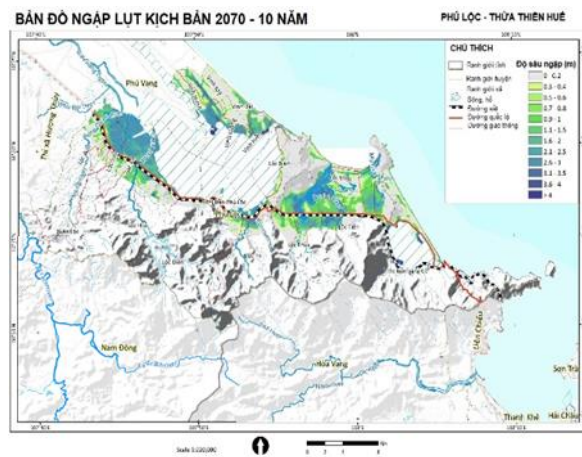
a) Diện ngập kịch bản 2030 chu kỳ 10 năm.



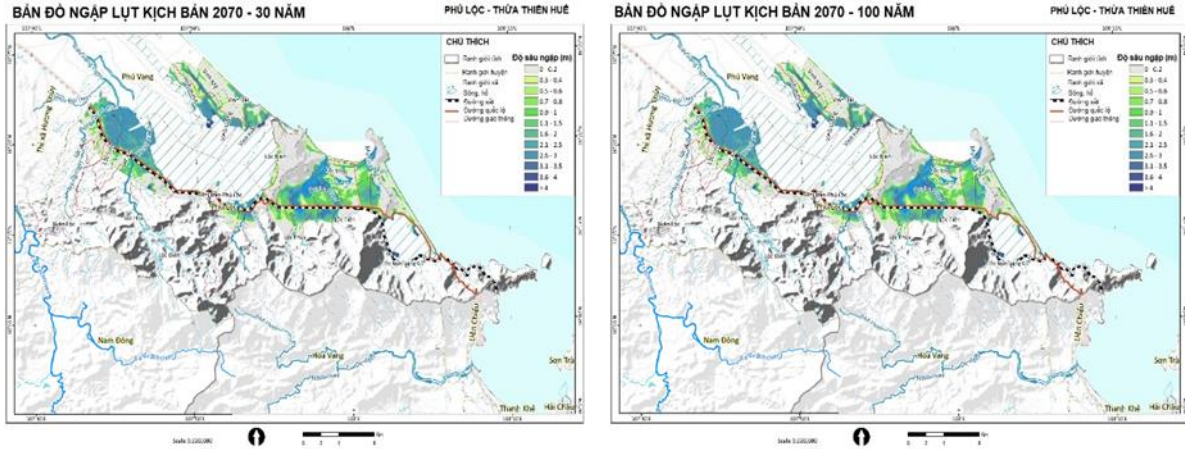
b) Diện ngập kịch bản 2030 chu kỳ 30 năm.



c) Diện ngập kịch bản 2030 chu kỳ 100 năm.



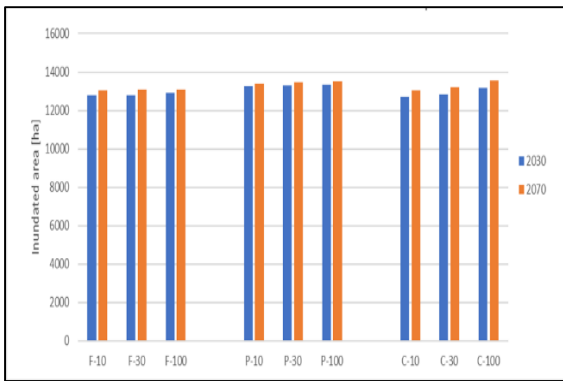
d) Diện ngập kịch bản 2070 chu kỳ 10 năm.



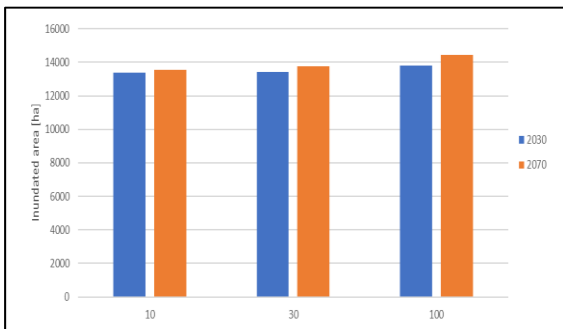
e) Diện ngập kịch bản 2070 chu kỳ 30 năm.

f) Diện ngập kịch bản 2070 chu kỳ 100 năm.

Hình 13. Diện tích ngập tổng cộng tại Phú Lộc cho kịch bản trung hạn và dài hạn. So sánh diện ngập giữa kết quả trung hạn (2030) và dài hạn (2070).



Hình 14. So sánh diện tích ngập lụt (F: do lũ sông, P: lũ do mưa, C: lũ do nước biển dâng) vào 2030 và 2070.



Hình 15. So sánh diện tích ngập cho năm 2030 và 2070 (Kết quả tổng hợp).

Ảnh hưởng của cả ba loại nguy cơ lũ lụt ở Phú Lộc rất giống nhau (xem Hình 14). Tác động của biến đổi khí hậu đến quy mô của các khu vực ngập nước là tương đối nhỏ, từ 1% đến 3% trong chu kỳ lặp lại từ 10 đến 100 năm. Các khu vực ngập lụt tổng hợp tăng do biến đổi khí hậu với tỷ lệ tăng từ 1% đến 5%.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích ngập lụt ở huyện Phú Lộc theo các nguyên nhân khác nhau, cũng như đánh giá hiểm họa ngập lụt cho các chu kỳ lặp lại 10, 30, 100 năm. Ngập do mưa có mức độ lớn nhất ở Phú Lộc, trong khi đó ngập do lũ sông và nước biển dâng có phạm vi nhỏ hơn. Một số điểm nóng được chỉ ra trong nghiên cứu cần được tập trung để giảm thiểu rủi ro ngập lụt, bao gồm các xã: Lộc An, Lộc Trí, Lộc Điền, Lộc Tiên. Trong giai đoạn đến năm 2070 (kịch bản RCP8.5) lượng mưa có thể tăng khoảng 20%, mực nước biển tăng khoảng 28 cm so với giai đoạn đến năm 2030 (giai đoạn này có thể được coi là khí hậu hiện tại) và điều này dẫn đến sự gia tăng mức độ ngập lụt ở huyện Phú Lộc.

Kiến nghị: từ các kết quả đã đạt được đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo mở rộng vùng đánh

giá nhằm nghiên cứu rủi ro lũ vùng đồng bằng sông Hương.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin cảm ơn Dự án “Đánh giá rủi ro ven biển Việt Nam giai đoạn 1 và giai đoạn 2”; Cảm ơn sự hỗ trợ về số liệu, hệ thống tính toán hiệu năng cao của Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội để hoàn thành nghiên cứu này; Cảm ơn sự hỗ trợ và những góp ý quý báu của PGS.TS. Trần Ngọc Anh (Trung tâm Động lực học Thủy khí Môi trường – Trường Đại học Khoa học Tự nhiên) trong suốt quá trình thực hiện.

Tài liệu tham khảo

- [1] Thua Thien Hue Provincial Statistical Office, Thua Thien Hue Statistical Yearbook 2017, 2018 (in Vietnamese).
- [2] S. M. Machado, S. Ahmad, Flood Hazard Assessment of Atrato River in Colombia, *Water Resour Manage*, Vol. 21, 2007, pp. 591-609, <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9032-4>.
- [3] Y. Keokhumcheng, T. Tingsanchali, Flood Hazard Assessment of The Eastern Region of Bangkok Floodplain, Thailand, 2nd International Conference on Biotechnology and Environment Management IPCBEE, vol.42 IACSIT Press, 2012, pp. 201-217, <https://doi.org/10.7763/PCBEE.2012.V42.24>.
- [4] M. P. Chatterjee, C. Kumar, R. Flood, Hazard Assessment With Multiparameter Approach Derived from Coupled 1D and 2D Hydrodynamic Flow Model, *Nat Hazards*, Vol. 70, 2014, pp. 1553-1574, <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0891-8>.
- [5] T. N. Anh et al., Flood Risk Assessment in Hung Yen Province, *VNU Journal of Science: Natural Science and Technology*, Vol. 28, No. 3S, 2012, pp. 1-8 (in Vietnamese).
- [6] N. Dinh, N. H. Son, L. D. Thanh, Application of HEC-HMS and HEC-RAS Models to Simulate Flood Flow in Huong River Basin, *Journal of Science, Technology, Irrigation and Environment*, Vol. 42, 2013, pp. 12-17 (in Vietnamese).
- [7] D. D. Duc, N. T. Son, T. N. Anh, D. D. Kha, N. Y. Nhu, Study on Mapping Vulnerability to Flooding for Nhue Day River Basin in The City, Hanoi, *VNU Journal of Science: Natural Science and Technology*, Vol. 29, No. 1S, 2013, pp. 56-63 (in Vietnamese).
- [8] N. T. Son, N. C. Tuan, N. Q. Hung, P. N. Thang, Analysis of Inundation and Flooding in The Downstream Of Lam River Basin, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Science*, Vol. 32, No. 3S, 2016, pp. 175-183 (in Vietnamese).
- [9] N. T. Son, P. N. Thang, N. X. Tien, Analysis of Inundation and Flooding in The Lower Lam River Basin, *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Science*, Vol. 32, No. 3S, 2016, pp. 167-174 (in Vietnamese).
- [10] Denmark Hydraulic Institute (DHI), MIKE FLOOD 1D - 2D Modelling User Manual, DHI, 2014.
- [11] Denmark Hydraulic Institute (DHI), MIKE 11 A Modelling System for Rivers and Channels Reference Manual, DHI, 2014.
- [12] Denmark Hydraulic Institute (DHI), MIKE 21 Hydrodynamic Module User Manual, DHI, 2014.
- [13] Thua Thien Hue Department of Agriculture and Rural Development, Evaluation of Dyke Status and Dyke Protection Plan for 2018 Report, 2018 (in Vietnamese).
- [14] Deltares, CEFD, RHDHV, Coastal hazards Phase 1, Rapid Assessment Report, 2017.
- [15] M. Waseem, N. Mani, G. Andiego, M. Usman, A Review of Criteria of Fit for Hydrological Models. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 04, Vol. 11, 2017, pp. 1765-1772.
- [16] Ministry of Natural Resources and Environment, Climate Change and Sea Level Rise Scenarios, 2016 (in Vietnamese).
- [17] Decision No. 2482/QĐ-TTg dated December 30, 2015 of the Prime Minister: On Promulgating The Process of Inter-Reservoir Operation in Huong River Basin (in Vietnamese).
- [18] Decision No. 1790/QĐ-BTNMT Dated June 6, 2018 of the Ministry of Natural Resources and Environment Promulgating and Announcing The List of Points With Typical Tidal Water Level Values in The Coastal Area and 10 Islands and Large Island Clusters of Vietnam; Map of The Mean Lowest Sea Level for Many Years and The Outer Boundary of The Mean Lowest Sea Level for Many Years at A Distance of 03 Nautical Miles from The Coastal Area of Vietnam (in Vietnamese).
- [19] National standard TCVN 9901:2014, Irrigation Works - Design Requirements for Sea Dykes (in Vietnamese).