

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN TÌNH HÌNH NGẬP LỤT VÙNG HẠ DU LƯU VỰC SÔNG VU GIA - THU BỒN TRÊN CƠ SỞ ỨNG DỤNG MÔ HÌNH MIKE FLOOD

Đào Đình Châm¹, Đào Thị Thảo², Hoàng Thái Bình,³ Đặng Thị Hồng Nhung⁴, Nguyễn Hoàng Sơn⁵

Tóm tắt: Biến đổi khí hậu (BĐKH) đang làm gia tăng tần suất và mức độ nghiêm trọng của ngập lụt, đặc biệt tại các khu vực đô thị đông dân, gây thiệt hại lớn về người và tài sản. Nghiên cứu này đã sử dụng các công cụ Mike 11, Mike 21 và Mike Flood để mô phỏng quá trình ngập lụt tại hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn. Trận lũ thiết kế với tần suất 1% được phân tích cho thời kỳ cơ sở (1986-2005) và hai giai đoạn tương lai 2046-2065, 2080-2099 theo kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Kết quả cho thấy, diện tích và độ sâu ngập trong tương lai có xu hướng gia tăng đáng kể so với thời kỳ cơ sở; đặc biệt vào giai đoạn 2080-2099, diện tích ngập tăng 5,97% theo RCP 4.5 và 9,38% theo RCP 8.5. Kết quả của nghiên cứu này là cơ sở quan trọng hỗ trợ các nhà quản lý trong việc xây dựng chiến lược và giải pháp ứng phó với ngập lụt dưới tác động của biến đổi khí hậu.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; Mike Flood; Mike 11, Mike 21; Ngập lụt; Vu Gia-Thu Bồn.

ASSESSING THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON THE FLOODING SITUATION IN THE DOWNSTREAM AREA OF THE VU GIA - THU BON RIVER BASIN, APPLYING THE MIKE FLOOD MODEL

Abstract: Climate change has been increasing the frequency and severity of flood events, particularly in densely populated urban areas, resulting in significant losses of lives and property. The paper employed the Mike 11, Mike 21, and Mike Flood modeling tools to simulate the flood inundation process in the downstream area of the Vu Gia-Thu Bon River Basin. A design flood with a 1% frequency was analyzed for the baseline period (1986-2005) and two future periods (2046-2065 and 2080-2099) under the RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change scenarios. The results show that both the flooded area and inundation depth are projected to increase substantially in the future compared with the baseline period. In particular, during 2080-2099, the inundation area is expected to rise by 5.97% under RCP4.5 and 9.38% under RCP8.5. The findings provide an important scientific basis for supporting policymakers and planners in developing effective strategies and adaptive measures to mitigate flood risks under the impacts of climate change..

Keywords: Climate change; Mike Flood; Mike 11, Mike 21; Flood; Vu Gia-Thu Bon.

Nộp bản thảo: 10/3/2025

Chấp nhận đăng: 10/5/2025

¹ PGS. TS., Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam, email liên hệ: chamvdl@gmail.com.

² Th.S., Viện Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam

³ Th.S. NCS., Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam

⁴ Th.S., Viện Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm KHCN Việt Nam

⁵ PGS.TS, Viện Đào tạo mở và Công nghệ thông tin, Đại học Huế.

Tập thể tác giả xin cảm ơn đến dự án KHCN mã số CT0649.01/21-23 và Nhiệm vụ hỗ trợ hoạt động nghiên cứu khoa học cho nghiên cứu viên cao cấp năm 2025 mã số NVCC10.01/25-25 đã cung cấp số liệu, một phần kết quả nghiên cứu và hỗ trợ kinh phí để hoàn thành bài báo này.

1. Đặt vấn đề

Biến đổi khí hậu là vấn đề chung của toàn cầu, ảnh hưởng nghiêm trọng đến phát triển bền vững. Việt Nam được đánh giá là một trong những nước bị ảnh hưởng nghiêm trọng của biến đổi khí hậu (Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 2010), đặc biệt là các hiện tượng thời tiết cực đoan như mưa lớn và lũ lụt. Khu vực hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn, nằm trên địa bàn thành phố Đà Nẵng, thường xuyên ngập lụt nghiêm trọng, gây thiệt hại lớn về người, tài sản và sinh kế. Vì vậy, việc đánh giá tác động của các kịch bản biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt tại khu vực này trở nên vô cùng cấp thiết; là cơ sở để đề xuất các giải pháp hợp lý nhằm ứng phó, giảm thiểu, khắc phục thiệt hại do lũ lụt gây ra.

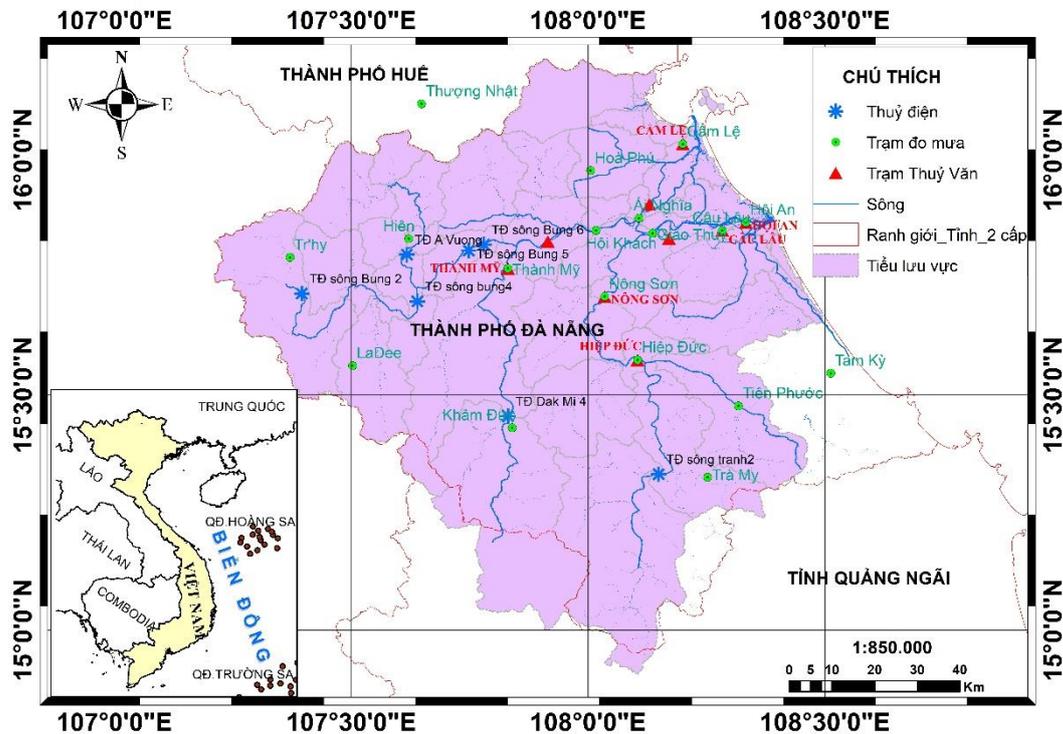
Trên thế giới việc nghiên cứu và đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến ngập lụt đã và đang trở nên rất phổ biến (Ashu, A.B., Kang, J, 2025; Hirabayashi, Y. et al, 2013; Kim, S. et al, 2023; Shadmehri Toosi, A., Doulabian, S., Ghasemi Tousi, E., Calbimonte, G. H. & Alaghmand, S., 2020; Tabari, H, 2020; Xu, K., Zhuang, Y., Bin, L., Wang, C. & Tian, F., 2023; Xu, X. et al, 2019). Ở Việt Nam, các nghiên cứu trước đây chủ yếu sử dụng các công cụ như: mô hình mưa - dòng chảy (Hec-Hms, Mike Nam, Tank, Ssarr...), mô hình thủy lực 1 chiều (Mike 11, Hec-Ras) và mô hình 2 chiều (Mike 21, Delft,...) (Đặng Đình Đoàn và cộng sự, 2015; Lương Văn Việt, 2017; Nguyễn Anh Nam và cộng sự, 2022; Nguyễn Thanh Sơn và cộng sự, 2014; Nguyễn Xuân Hậu, Phan Văn Tân, 2015). Ngoài ra, phần lớn các nghiên cứu này chỉ tập trung mô phỏng các trận lũ lớn trong quá khứ, chưa cập nhật các diễn biến mưa cực đoan gần đây và chưa sử dụng kịch bản BĐKH mới nhất. Trong khi đó, nghiên cứu này đã sử dụng bộ mô hình Mike bản quyền tích hợp (Mike Nam – Mike 11 – Mike 21 fm – Mike Flood) và đã xét thêm đến trận lũ xảy ra gần đây vào năm 2020. Ngoài ra, việc tính toán theo các tần suất thiết kế cũng như xét đến tác động của BĐKH ở khu vực nghiên cứu thì các đề tài khác chưa cập nhật kịch bản BĐKH mới công bố năm 2020 của Bộ Tài nguyên và Môi trường (Bộ TN&MT) (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2020). Vì vậy, trong nghiên cứu này, tập thể tác giả đã sử dụng kịch bản biến đổi khí hậu mới công bố năm 2020 của Bộ TN&MT (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2020) để tính toán ngập lụt do BĐKH trong tương lai.

Vu Gia - Thu Bồn là hệ thống sông lớn ở duyên hải Trung Trung Bộ với diện tích lưu vực 10.350 km², trong đó phần lớn thuộc TP. Đà Nẵng (cũ), một phần nhỏ ở tỉnh Kon Tum (cũ). Lưu vực có tọa độ từ 107°12'40"-108°44'20" kinh Đông và 14°57'10"-16°03'50" vĩ Bắc. Sông bắt nguồn từ dãy Trường Sơn, đặc trưng bởi độ dốc lớn, nhiều ghềnh thác, gây lũ nhanh nhưng rút chậm ở hạ lưu, dẫn đến ngập lụt sâu và kéo dài.

Hệ thống gồm hai nhánh chính: (i) Sông Vu Gia, dài 204 km, hợp thành từ các nhánh Đắc Mi, Bung, A Vương, Con, diện tích lưu vực đến Ái Nghĩa là 5.180 km²; (ii) Sông Thu Bồn, bắt nguồn từ vùng giáp ranh tỉnh Quảng Nam (cũ) - Kon Tum (cũ) - Quảng Ngãi (cũ) (nay là Thành phố Đà Nẵng và tỉnh Quảng Ngãi), dài 152 km, diện tích lưu vực đến Giao Thủy 3.825 km², có nhiều nhánh lớn như sông Tranh, sông Khang, sông Trường Giang.

Địa hình lưu vực đa dạng gồm núi cao, gò đồi, đồng bằng và cát ven biển. Khí hậu nhiệt đới gió mùa, nhiệt độ trung bình năm 24,5 - 26,0°C; lượng mưa 2.000 - 4.000 mm, tập trung 65 - 80% trong mùa mưa (IX-XII), cao nhất tháng X-XI.

HÌNH 1. BẢN ĐỒ VỊ TRÍ LƯU VỰC VU GIA - THU BỒN VÀ MẠNG LƯỚI TRẠM KTTV



2. Cơ sở dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu sử dụng

Bản đồ DEM 1/5.000 cho toàn bộ lưu vực Vu Gia - Thu Bồn, dữ liệu được sử dụng của Dự án: “Ứng dụng công nghệ Địa không gian trong việc xây dựng các mô hình phục vụ cảnh báo tai biến thiên nhiên”, mã số dự án: CT0649.01/21-23.

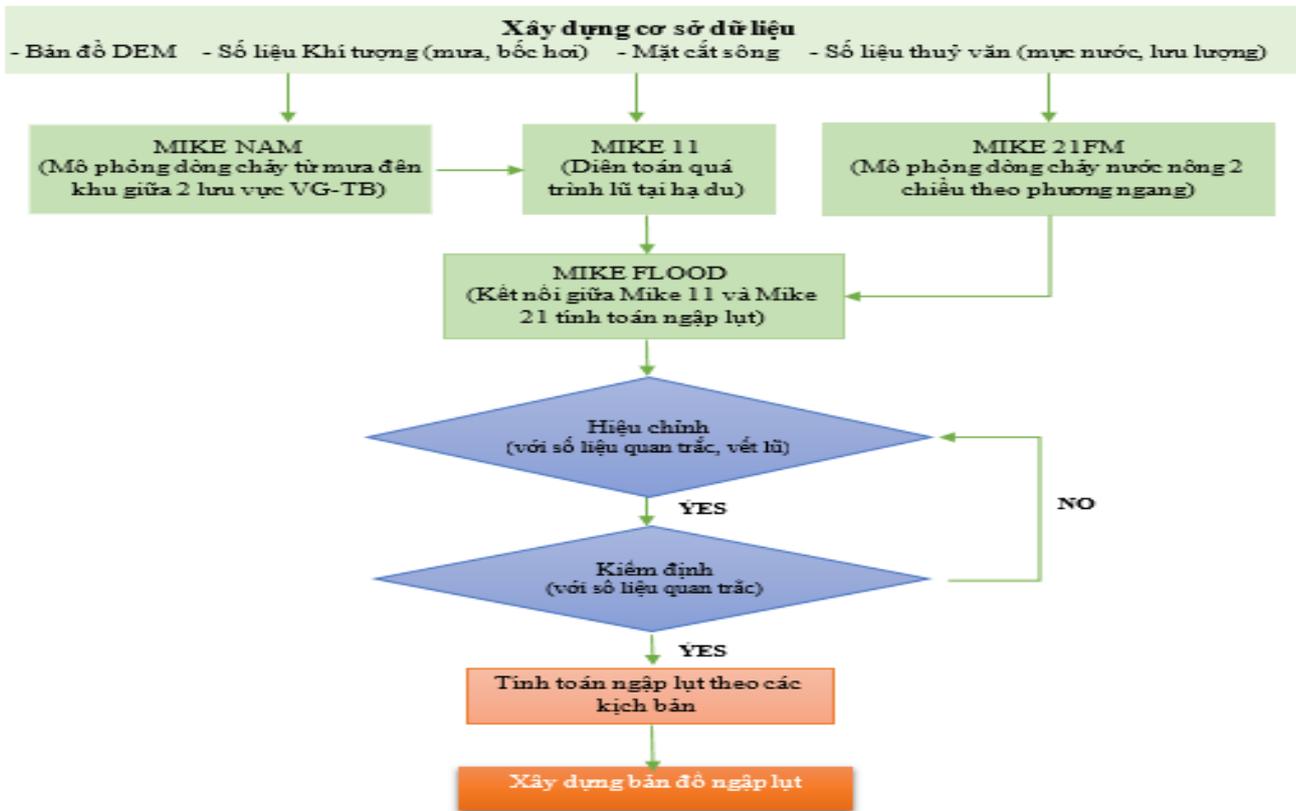
Lưu lượng lũ ($Q_{lũ}$) thực đo thu thập từ năm 1986 đến 2022 của 2 trạm thủy văn (Thành Mỹ và Nông Sơn) của Trung tâm Dự báo Khí tượng thủy văn Quốc gia.

Dữ liệu bốc hơi ngày tại các trạm khí tượng Đà Nẵng, Tam Kỳ, Trà My thu thập từ năm 1986 đến 2022.- Dữ liệu mưa các thời đoạn tại các trạm đo mưa từ 8/11/2007 đến 14/11/2007; 01/09/2009 đến 10/10/2009; ngày 1/10/2020 đến 30/10/2020.- Các số liệu, tài liệu về các yếu tố khí hậu của hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn được lấy từ “Kịch bản BĐKH và nước biển dâng Việt Nam” do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020.

Dữ liệu mực nước trích lũ thu thập tại các trạm Ái Nghĩa, Giao Thủy, Câu Lâu, Hội Khách ở các thời đoạn: từ ngày 8/11/2007 đến 14/11/2007; ngày 26/9/2009 đến 6/10/2009; ngày 6/10/2020 đến 14/10/2020. Số liệu vết lũ về trận lũ cuối tháng IX đầu tháng X năm 2009. Các số liệu trên dùng để hiệu chỉnh - kiểm chứng mô hình.

Tài liệu về công trình cầu, cống có ảnh hưởng đến quá trình lũ tràn trên lưu vực.

HÌNH 2. SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN



2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng phương pháp kế thừa, thu thập và phân tích tài liệu từ các nghiên cứu về ngập lụt đối với hệ thống lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn. Các số liệu khí tượng - thủy văn được thu thập từ Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia, Bộ Tài nguyên và Môi trường, các dự án, đề tài liên quan.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả lựa chọn bộ công cụ MIKE gồm: MIKE NAM, MIKE 11, MIKE 21FM và kết nối MIKE FLOOD với độ tin cậy cao, khả năng tính toán nhanh, giao diện thân thiện và tương thích với nhiều dạng dữ liệu, nhằm mô phỏng và đánh giá tác động của biến đổi khí hậu theo các kịch bản mới nhất (Bộ TN&MT) đến tình hình ngập lụt lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn.

Nghiên cứu này đã sử dụng kết nối tích hợp mô hình thủy lực 1 chiều Mike 11 và mô hình 2 chiều Mike 21 FM.

3. Nội dung nghiên cứu

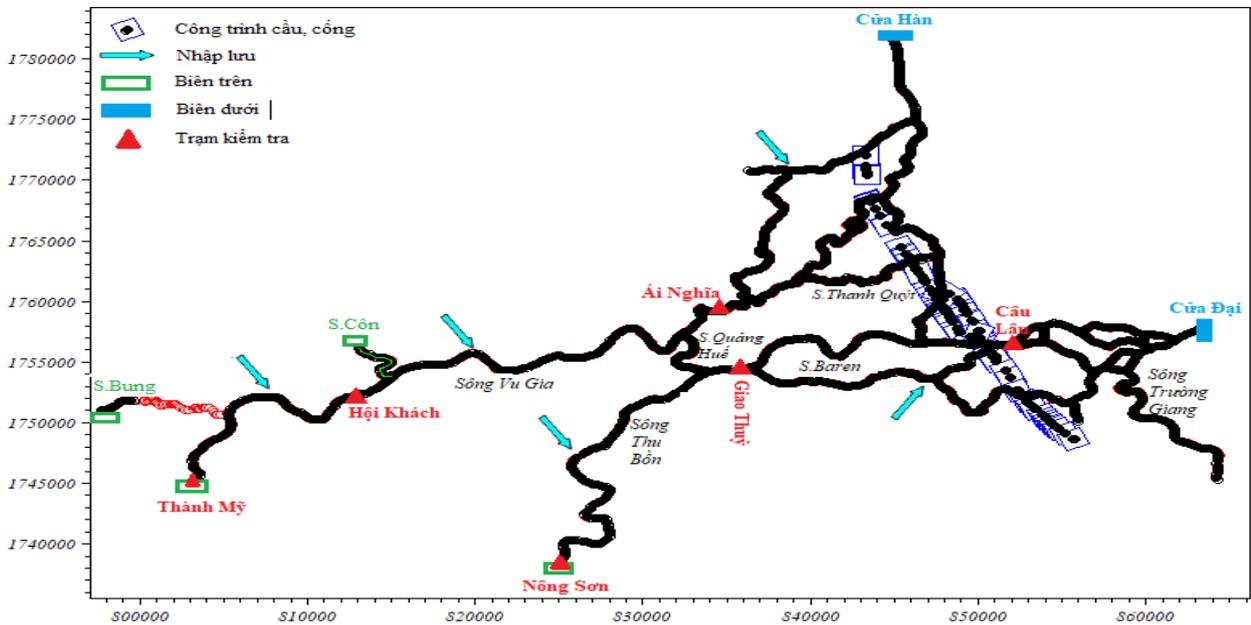
3.1. Mạng lưới sông 1D

Biên trên: là quá trình lưu lượng theo thời gian tại 4 vị trí, đó là trạm thủy văn Nông Sơn trên sông Thu Bồn; trạm thủy văn Thành Mỹ trên sông Vu Gia; trên sông Bung thì có lượng xả và phát điện của hồ thủy điện sông Bung 6 (với năm có hồ: 2020), trên sông Côn thì có lượng xả và phát điện của hồ thủy điện sông Côn 2 bậc 2 (với năm 2020); còn năm 2007, 2009 sử dụng lưu lượng tính từ Mike Nam.

Biên dưới: là quá trình mực nước triều tại cửa Đại và cửa Hàn.

Biên nhập lưu: là đường quá trình lưu lượng tính từ mô hình Mike Nam.

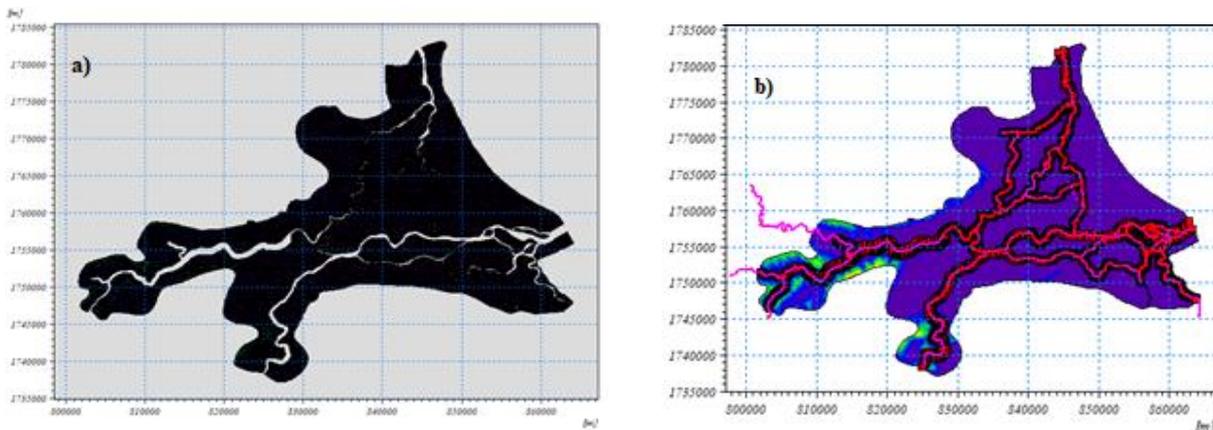
HÌNH 3. SƠ ĐỒ THỦY LỰC MẠNG LƯỚI TÍNH TOÁN MỘT CHIỀU CHO HỆ THỐNG SÔNG VU GIA – THU BỒN



3.2. Xây dựng mạng lưới thủy lực 2 chiều

Giới hạn vùng ngập ở hạ lưu được xác định trên cơ sở bản đồ địa hình kết hợp với một số tài liệu khảo sát các trận lũ lịch sử nhằm đảm bảo bao trùm toàn bộ vùng ngập lụt tối đa. Bản đồ DEM khu vực nghiên cứu với độ phân giải 12 m đã xây dựng ở trên được sử dụng làm nền địa hình cho mô hình MIKE 21 và lưới tính toán được xây dựng theo lưới.

HÌNH 4. A) MIỀN TÍNH MÔ HÌNH THUỶ LỰC 2 CHIỀU VÀ B) KẾT NỐI TRONG MIKE FLOOD



3.3. Hiệu chỉnh - kiểm định mô hình

Hiệu chỉnh các thông số đặc trưng chính như hệ số nhám sẽ được thực hiện bằng phương pháp thử dần. Kết quả hiệu chỉnh - kiểm định mô hình thông qua việc so sánh kết quả tính toán với số liệu thực đo mực nước của các trận lũ tại trạm Hội Khách, Giao Thủy, Ai Nghĩa, Cầu Lâu. Ngoài ra, kết quả tính toán được so sánh với số liệu vết lũ năm 2009.

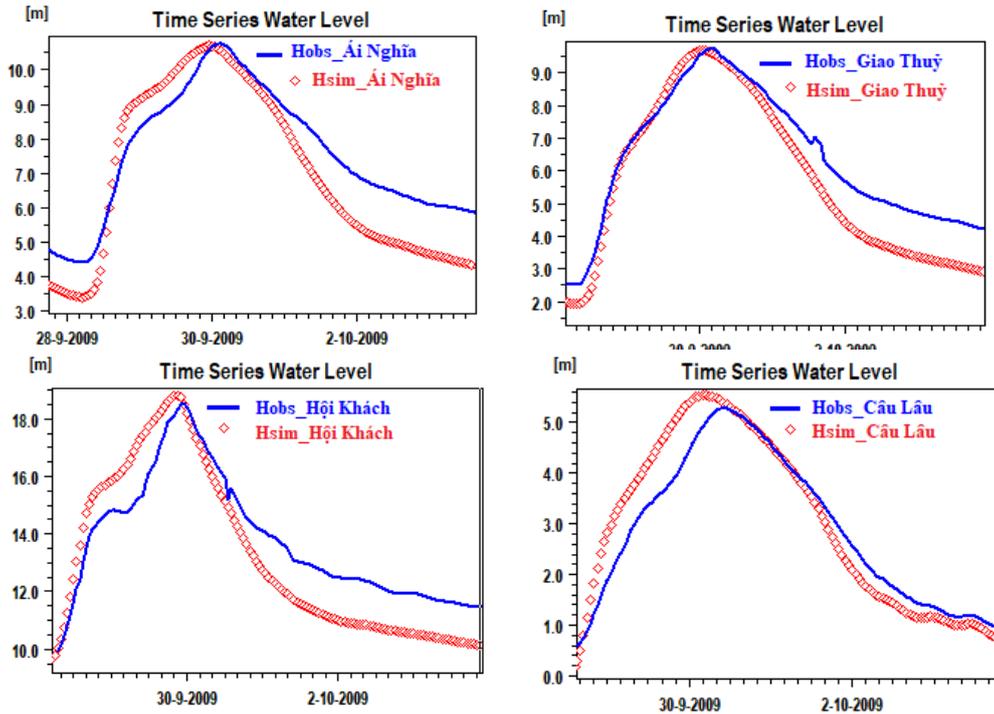
Lựa chọn trận lũ

Trận lũ từ ngày 26/9/2009 - 03/10/2009 để hiệu chỉnh mô hình; 2 trận lũ từ ngày 8/11/2007 - 14/11/2007 và trận lũ từ ngày 6/10/2020 - 14/10/2020 để kiểm định mô hình Mike Flood.

Số liệu để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình ngập lụt gồm quá trình mực nước thực đo tại trạm thủy văn Hội Khách, Giao Thủy, Ái Nghĩa, Câu Lâu, tài liệu vết lũ năm 2009.

Kết quả hiệu chỉnh mô hình

HÌNH 5. KẾT QUẢ HIỆU CHỈNH VỚI TRẬN LŨ NĂM 2009



BẢNG 1. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ SAI SỐ TÍNH TOÁN VÀ THỰC ĐO TẠI MỘT SỐ TRẠM KIỂM TRA

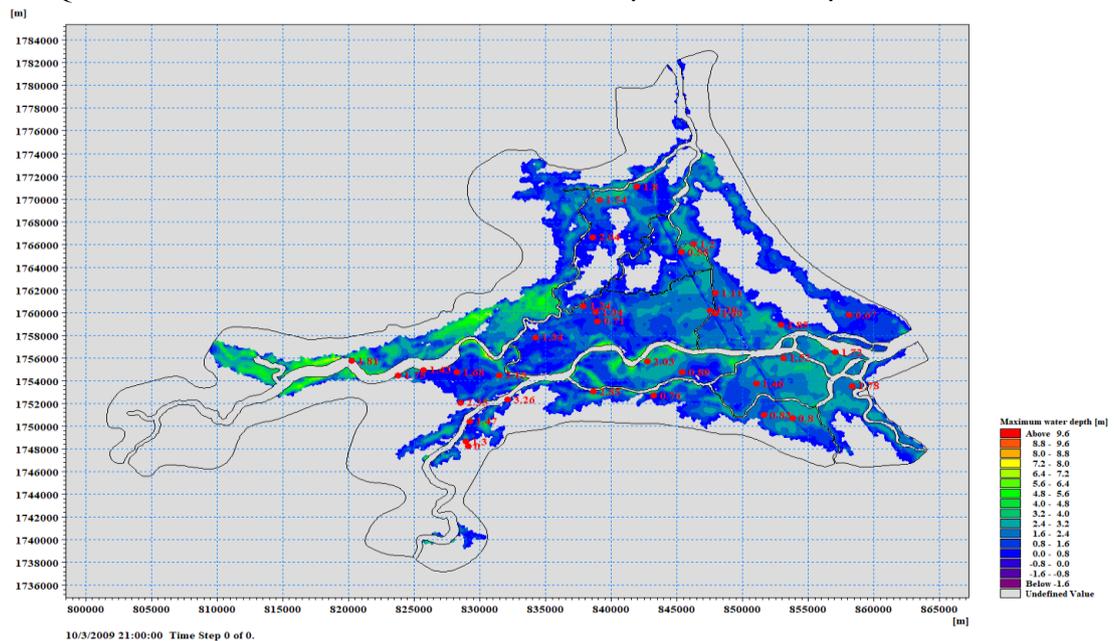
Năm	Trạm kiểm tra	Tên sông	H thực đo_max (m)	H tính toán_max (m)	Sai số (%)	Nash
2009	Ái Nghĩa	Vu Gia	10,770	10,712	-0,541	0,942
	Giao Thủy	Thu Bồn	9,750	9,702	-0,496	0,967
	Hội Khách	Vu Gia	18,530	15,822	1,574	0,825
	Câu Lâu	Thu Bồn	5,290	5,536	4,656	0,946

BẢNG 2. KẾT QUẢ SO SÁNH ĐỘ SÂU NGẬP GIỮA VẾT LŨ THỰC ĐO VÀ TÍNH TOÁN NĂM 2009

TT	Tên vết lũ	X	Y	H _{obs} (m)	H _{sim} (m)	ΔH	TT	Tên vết lũ	X	Y	H _{obs} (m)	H _{sim} (m)	ΔH
1	VL1	829206,6	1750414	1,47	1,23	-0,24	12	VL12	847918,7	1761742	1,2	1,50	0,30
2	VL2	829109,8	1748231	1,43	1,40	-0,03	13	VL13	845322,6	1765313	1,29	0,96	-0,33
3	VL3	825687,8	1754938	1,75	1,82	0,07	14	VL14	847546,3	1760185	0,71	1,06	0,35
4	VL4	823743,1	1754467	1,81	1,88	0,07	15	VL15	838929,9	1759233	1,04	1,32	0,28

TT	Tên vết lũ	X	Y	H _{obs} (m)	H _{sim} (m)	ΔH	TT	Tên vết lũ	X	Y	H _{obs} (m)	H _{sim} (m)	ΔH
5	VL5	820261,7	1755746	0,8	1,10	0,30	16	VL16	838799,9	1760028	1,24	0,98	-0,26
6	VL6	851636,3	1750975	1,46	1,76	0,30	17	VL17	837880,3	1760580	1,34	1,48	0,14
7	VL7	851067,7	1753725	1,52	1,21	-0,31	18	VL18	834254,9	1757833	1,72	2,01	0,29
8	VL8	853080,6	1755995	1,78	1,82	0,04	19	VL19	857062,2	1756501	0,89	0,49	-0,40
9	VL9	858342,8	1753541	0,67	0,96	0,29	20	VL20	842779,7	1755680	2,85	2,67	-0,18
10	VL10	852917	1758895	1,09	1,26	0,17	21	VL21	841911	1771088	1,54	1,13	-0,41
11	VL11	847947,3	1759903	1,11	1,51	0,40	22	VL22	838592,3	1766650	2,15	2,16	0,01

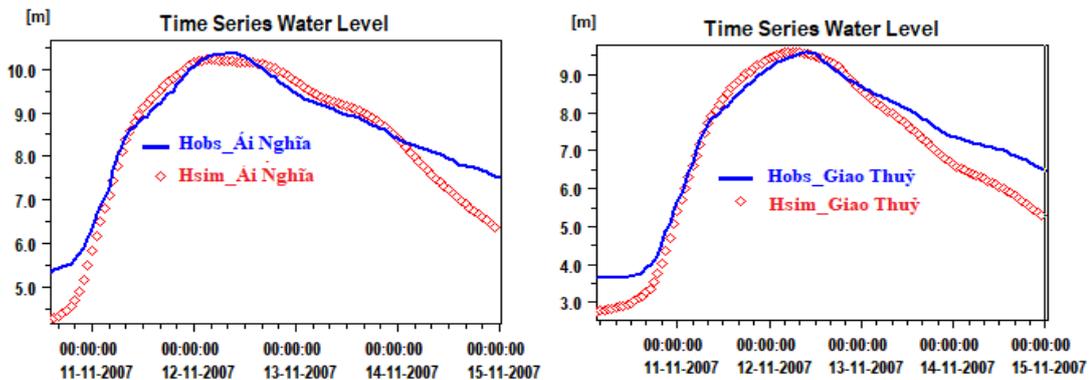
HÌNH 6. KẾT QUẢ SO SÁNH VẾT LŨ TÍNH TOÁN VÀ THỰC ĐO VỚI TRẬN LŨ NĂM 2009

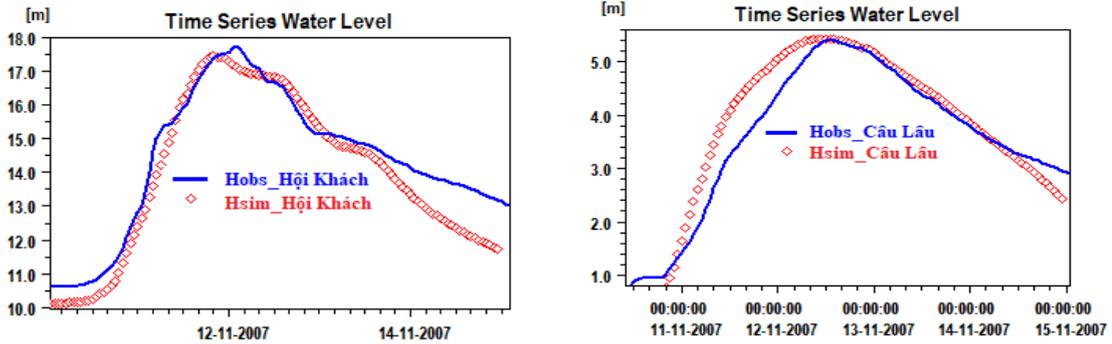


Kết quả kiểm định mô hình

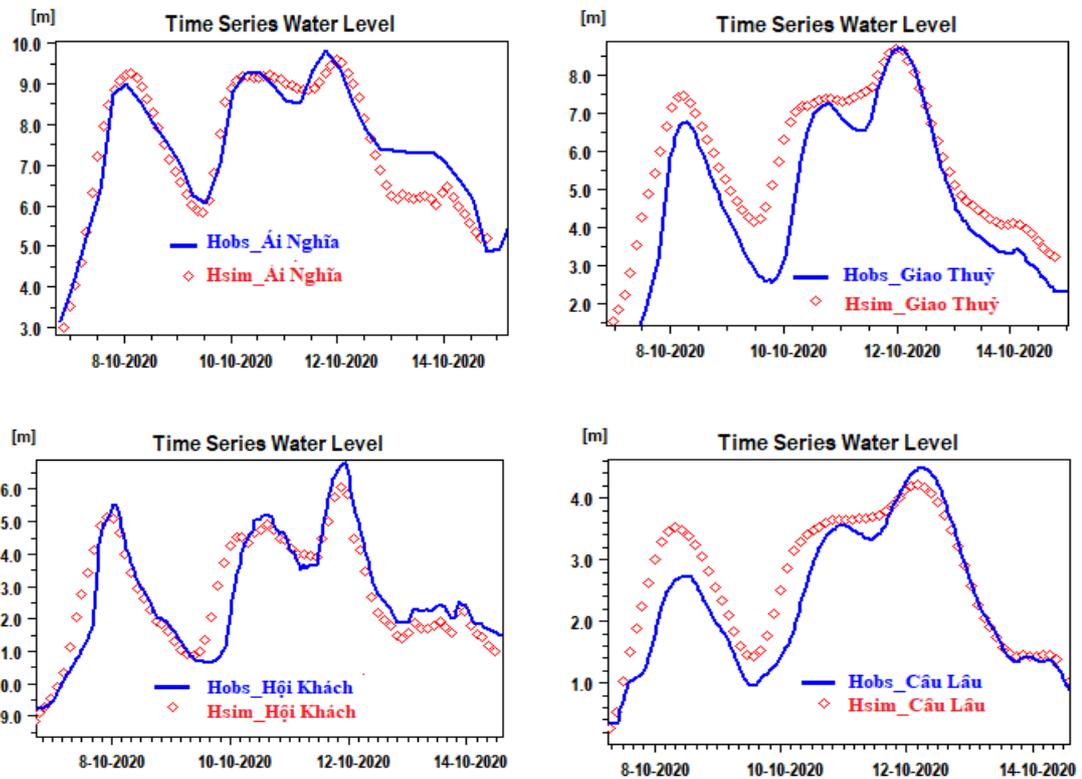
Từ bộ thông số đã được hiệu chỉnh trong các bước trên, chạy mô hình kiểm định lại với các trận lũ từ 8/11/2007 - 14/11/2007; 6/10/2020 - 14/10/2020.

HÌNH 7. KIỂM ĐỊNH VỚI TRẬN LŨ NĂM 2007





HÌNH 8. KIỂM ĐỊNH VỚI TRẬN LŨ NĂM 2020



BẢNG 3. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ SAI SỐ TÍNH TOÁN VÀ THỰC ĐO TẠI MỘT SỐ TRẠM KIỂM TRA

Năm	Trạm kiểm tra	Tên sông	H thực đo max (m)	H tính toán_max (m)	Sai số (%)	Nash
2007	Ái Nghĩa	Vu Gia	10,360	10,321	-0,377	0,960
	Giao Thủy	Thu Bồn	9,600	9,516	-0,870	0,974
	Hội Khách	Vu Gia	17,740	17,428	-1,761	0,962
	Câu Lâu	Thu Bồn	5,390	5,424	0,634	0,942

2020	Ái Nghĩa	Vu Gia	9,820	9,560	-2,651	0,871
	Giao Thủy	Thu Bồn	8,740	8,541	-2,281	0,910
	Hội Khách	Vu Gia	4,500	4,221	-6,208	0,864
	Câu Lâu	Thu Bồn	16,830	16,189	-3,807	0,803

3. Kết quả nghiên cứu

Mô hình sau khi hiệu chỉnh và kiểm định được áp dụng để tính toán ngập lụt khu vực Vu Gia - Thu Bồn với kịch bản mưa như sau: Ngập lụt khu vực nghiên cứu với trận mưa ứng với tần suất thiết kế $P=1\%$ xác định từ đường tần suất được xây dựng từ chuỗi số liệu hiện trạng và chuỗi số có xét đến ảnh hưởng BĐKH. Với chuỗi số liệu mưa thực đo từ năm 1986-2022, tính toán giá trị lượng mưa 1 ngày lớn nhất 1% rồi phân phối mưa giờ để mô phỏng, được kết quả bản đồ ngập lụt như các hình dưới đây.

Theo đó, 5 thời kỳ của các kịch bản sẽ được tính toán theo mưa tần suất 1% là thời kỳ nền (1986-2005), 2 thời kỳ 2046-2065, 2080-2099 cả 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5.

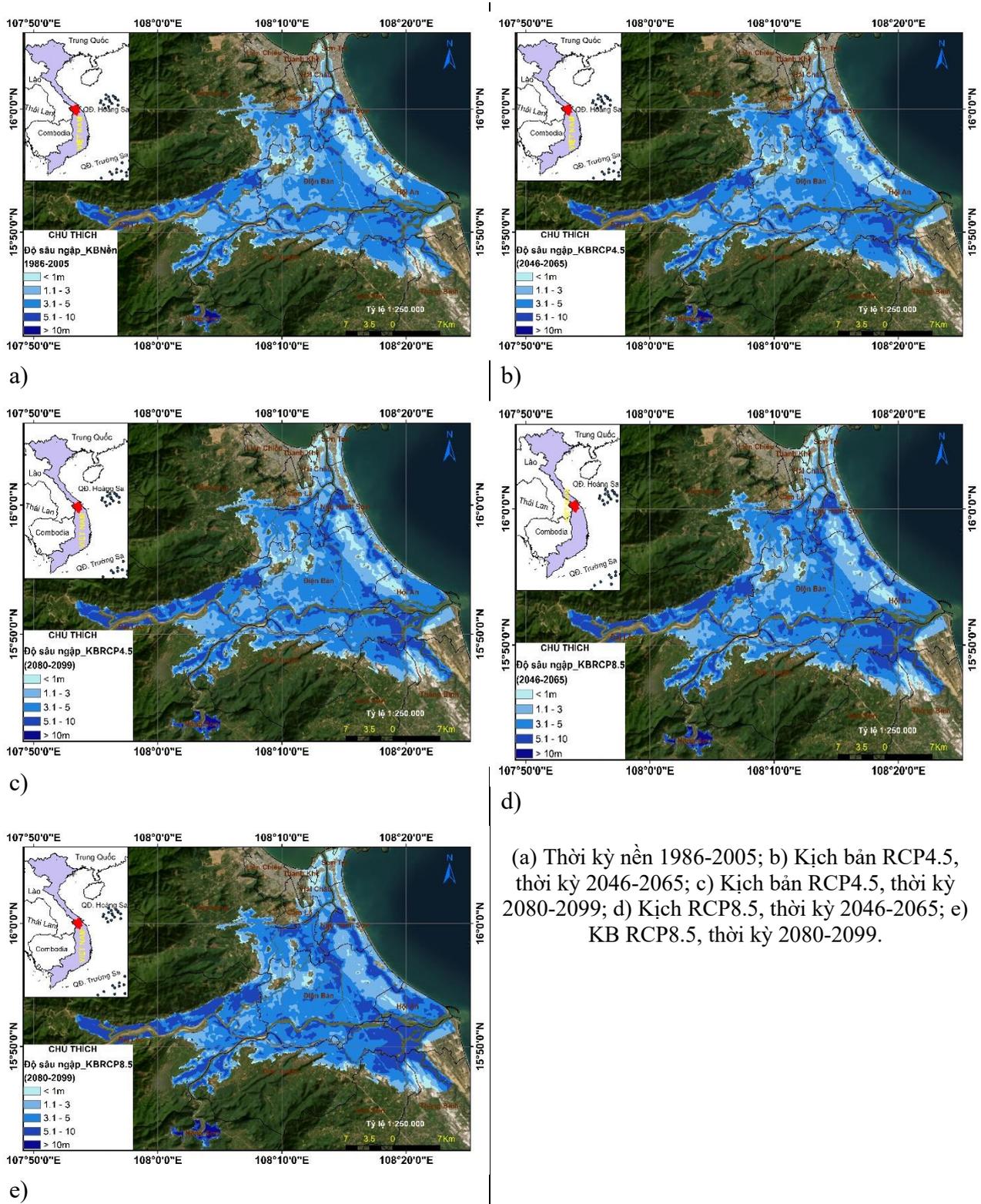
Các số liệu, tài liệu về các yếu tố khí hậu của lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn được lấy từ “Kịch bản BĐKH và nước biển dâng Việt Nam” do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2020.

Kết quả tính toán diện tích ngập hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn cho thời kỳ cơ sở và các thời kỳ của 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 được trình bày trong Bảng 4 và Hình 9.

BẢNG 4. DIỆN TÍCH NGẬP THEO ĐỘ SÂU KỲ CƠ SỞ VÀ CÁC KỲ CỦA KỊCH BẢN BĐKH

Diện tích ngập	Kịch bản BĐKH	Thời kỳ cơ sở	Giai đoạn	
			2046-2065	2080-2099
Tổng diện tích ngập (ha)	Kịch bản RCP4.5	58.771,69	60.509,45	62.281,26
	Kịch bản RCP8.5	58.771,69	63.232,59	64.282,53
Diện tích ngập < 1m (ha)	Kịch bản RCP4.5	5.424,83	4.828,01	4.949,90
	Kịch bản RCP8.5	5.424,83	4.418,41	3.409,90
Diện tích ngập 1-3m (ha)	Kịch bản RCP4.5	20.048,31	18.964,95	18.482,34
	Kịch bản RCP8.5	20.048,31	17.838,68	16.426,32
Diện tích ngập 3-5m (ha)	Kịch bản RCP4.5	27.450,68	27.866,69	27.934,80
	Kịch bản RCP8.5	27.450,68	27.842,46	27.064,44
Diện tích ngập 5-10m (ha)	Kịch bản RCP4.5	5.637,74	8.591,21	10.612,30
	Kịch bản RCP8.5	5.637,74	12.760,10	16.919,12
Diện tích ngập >10 m (ha)	Kịch bản RCP4.5	209,54	256,54	301,78
	Kịch bản RCP8.5	209,54	372,95	462,75

HÌNH 9. DIỆN TÍCH NGẬP LỚN NHẤT HẠ LƯU VU GIA - THU BỒN ỨNG VỚI TRẬN LŨ 1% TRONG CÁC THỜI KỲ KỊCH BẢN BĐKH



(a) Thời kỳ nền 1986-2005; b) Kịch bản RCP4.5, thời kỳ 2046-2065; c) Kịch bản RCP4.5, thời kỳ 2080-2099; d) Kịch bản RCP8.5, thời kỳ 2046-2065; e) KB RCP8.5, thời kỳ 2080-2099.

BẢNG 5. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN DIỆN TÍCH NGẬP LỤN LỚN NHẤT HẠ LƯU VU GIA - THU BỒN ỨNG VỚI TRẬN LŨ 1% TRONG CÁC THỜI KỲ CỦA CÁC KỊCH BẢN BĐKH SO VỚI THỜI KỲ CƠ SỞ

Diện tích ngập BĐKH		Diện tích ngập so với thời kỳ cơ sở (ha)		Diện tích ngập so với thời kỳ cơ sở theo (%)	
		2046-2065	2080-2099	2046-2065	2080-2099
Tổng diện tích ngập (ha)	Kịch bản RCP4.5	1.737,76	3.509,56	2,96	5,97
	Kịch bản RCP8.5	4.460,90	5.510,84	7,59	9,38
Diện tích ngập < 1m (ha)	Kịch bản RCP4.5	-596,82	-474,84	-11,00	-8,75
	Kịch bản RCP8.5	-1.006,42	-2.014,93	-18,55	-37,14
Diện tích ngập 1- 3m (ha)	Kịch bản RCP4.5	-1.083,36	-1.565,97	-5,40	-7,81
	Kịch bản RCP8.5	-2.209,64	-3.621,99	-11,02	-18,07
Diện tích ngập 3- 5m (ha)	Kịch bản RCP4.5	416,01	484,13	1,52	1,74
	Kịch bản RCP8.5	391,78	-386,23	1,43	-1,39
Diện tích ngập 5- 10m (ha)	Kịch bản RCP4.5	2.953,47	4.974,55	52,39	88,24
	Kịch bản RCP8.5	7.122,35	11.281,37	126,33	200,10
Diện tích ngập >10m	Kịch bản RCP4.5	47,00	92,24	22,43	44,02
	Kịch bản RCP8.5	163,41	253,21	77,99	120,84

Kết quả mô phỏng cho thấy: Diện tích ngập lụt và độ sâu ngập hạ lưu hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn tăng rõ rệt theo thời gian, đặc biệt dưới tác động của kịch bản phát thải cao RCP8.5. Tổng diện tích ngập tăng từ 1.737,76 - 3.509,56 ha tương đương từ 2,96–5,97% (đối với kịch bản RCP4.5) và từ 4.460,90 - 5.510,84ha tương đương từ 7,59–9,38% (đối với kịch bản RCP8.5) so với thời kỳ cơ sở (Bảng 5). Diện tích ngập ở độ sâu từ 5–10 m tăng mạnh, trong khi diện tích ngập ở độ sâu <3 m giảm (Bảng 5), điều đó phản ánh xu hướng lũ tập trung nhanh và mưa cực trị gia tăng. Khu vực ngập mở rộng về phía các huyện của tỉnh Quảng Nam (cũ) như: Đại Lộc, Điện Bàn, Duy Xuyên và thành phố Hội An, nơi có địa hình thấp và khả năng thoát nước kém. Đặc biệt, giai đoạn 2080–2099 cho thấy vùng ngập sâu mở rộng đáng kể, đe dọa trực tiếp đến dân cư và cơ sở hạ tầng khu vực hạ lưu (xem Hình 9e và Bảng 4 và Bảng 5).

Nhìn chung, biến đổi khí hậu làm gia tăng cả diện, mức ngập cũng như cường độ ngập lụt, làm ảnh hưởng nghiêm trọng đến cơ sở hạ tầng và khả năng thoát nước ở khu vực nghiên cứu; Điều này, đặt ra yêu cầu cấp thiết về công tác quy hoạch lãnh thổ và giải pháp thích ứng bền vững với rủi ro ngập lụt.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng bộ mô hình MIKE gồm MIKE NAM, MIKE 11, MIKE 21 và MIKE FLOOD để mô phỏng quá trình ngập lụt khu vực hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn dưới tác động của biến đổi khí hậu. Bài báo đã sử dụng dữ liệu địa hình DEM độ phân giải 5x5m - một nguồn dữ liệu có độ chi tiết cao và có ít công trình nghiên cứu trước đây sử dụng trong các mô phỏng quá trình ngập lụt. Việc sử dụng DEM có độ phân giải cao giúp cho mô hình mô phỏng cho ra kết quả với độ tin cậy cao. Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng số liệu các trạm khí tượng - thủy văn trong giai đoạn 1986-2022 và kịch bản biến đổi khí hậu công bố gần đây (năm 2020) của Bộ Tài nguyên và Môi trường. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định với các trận lũ lớn các năm 2007, 2009 và 2020, cho kết quả có độ tin cậy cao (hầu hết hệ số Nash đạt 0,80–0,97). Kết quả tính toán cho thấy, lượng mưa có xu

hướng tăng mạnh, làm dòng chảy mặt lớn hơn, giảm khả năng thấm và gây lũ với nguy cơ ngập lụt cao trên toàn bộ hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn, đặc biệt vào cuối thế kỷ XXI. Tổng diện tích ngập đều tăng so với thời kỳ cơ sở; trong đó ngập <1 m và từ 1-3 m có xu hướng giảm, còn diện tích ngập ở độ sâu 5-10 m lại tăng rõ rệt đối với cả hai kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Các kết quả này là cơ sở quan trọng cho công tác quản lý, quy hoạch và đề xuất giải pháp thích ứng nhằm giảm thiểu thiệt hại do BĐKH, đồng thời nhấn mạnh vai trò của việc giám phát thải khí nhà kính để kiểm soát mưa lớn và hạn chế rủi ro ngập lụt.

Tài liệu tham khảo

1. Ashu, A.B., Kang, J (2025). Assessing climate change impacts on flood risk in the Yeongsan River Basin, South Korea. *Sci Rep.*, 15, 26113. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11921-y>.
2. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020). Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam, Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam, Hà Nội.
3. Đặng Đình Đoàn, Ngô Anh Quân, Nguyễn Hoàng Sơn, Nguyễn Ngọc Thế (2015). Nghiên cứu xây dựng bản đồ ngập lụt vùng hạ lưu sông Đăk Bla.
4. DHI (2016). MIKE 11 Reference Manual, DHI Software.
5. DHI (2016). MIKE 21 Toolbox Reference Manual, DHI Software.
6. DHI (2016). MIKE FLOOD User Guide.
7. Hirabayashi, Y. et al (2013). Global flood risk under climate change. *Nat. Clim. Change*. 3, 816-821. <https://doi.org/10.1038/nclimate1911>
8. Kim, S. et al (2023). Increasing extreme flood risk under future climate change scenarios in South Korea. *Weather Clim. Extremes.*, 39, 100552. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100552>.
9. Lương Văn Việt (2017). Ứng dụng mô hình toán mô phỏng ngập lụt hạ lưu sông thị tính theo một số kịch bản biến đổi khí hậu về nước biển dâng. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn. Số tháng 2- 2017*
10. Nguyễn Anh Nam, Trần Ngọc Anh, Đỗ Đình Chiến, Ngô Quang Tài (2022). Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt hạ lưu sông Trà Khúc tỉnh Quảng Ngãi. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*. 704, 77-86.
11. Nguyễn Thanh Sơn, Trần Ngọc Anh, Đặng Đình Khả, Nguyễn Xuân Tiến, Lê Viết Thìn (2014). Thử nghiệm đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến ngập lụt khu vực hạ lưu sông Lam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*. 645, 13-20.
12. Nguyễn Xuân Hậu, Phan Văn Tân. (2015). Đánh giá tác động của Biến đổi khí hậu đến ngập lụt lưu vực sông Nhật Lệ, Việt Nam. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học tự nhiên và Công nghệ*. 31, 125-138.
13. Shadmehri Toosi, A., Doulabian, S., Ghasemi Tousi, E., Calbimonte, G. H. & Alaghmand, S. (2020). Large-scale flood hazard assessment under climate change: A case study. *Ecol.Eng.* 147,105765. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105765>.
14. Tabari, H (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Sci. Rep.* 10, 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2> .
15. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường (2010). Biến đổi khí hậu và tác động ở Việt Nam.
16. Xu, K., Zhuang, Y., Bin, L., Wang, C. & Tian, F. (2023). Impact assessment of climate change on compound flooding in a coastal City. *J. Hydrol.* 617, 129166. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129166>.
17. Xu, X. et al (2019). Evaluating the impact of climate change on fluvial flood risk in a mixed-use watershed. *Environ. Modell Softw*, 122, 104031.