

PHÂN TÍCH TẦN SUẤT LŨ TRÊN LƯU VỰC SÔNG VU GIA-THU BỒN TRONG ĐIỀU KIỆN BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Đỗ Hoài Nam, Trần Phương Anh

Trung tâm Đào tạo và Hợp tác Quốc tế

Kiên Xuân Tuyền

Viện Khoa học Thủy lợi miền Trung và Tây Nguyên

Tóm tắt: Hiện tượng nóng lên toàn cầu đang trở nên nghiêm trọng hơn, dẫn đến những thay đổi về tần suất mưa, lũ trên hầu hết các lưu vực sông. Việc hiểu rõ những thay đổi này là rất quan trọng để xây dựng các chiến lược quản lý lũ và thích ứng hiệu quả. Bài báo trình bày dự tính lũ lớn tại các lưu vực Nông Sơn và Thanh Mỹ, ở các giai đoạn khí hậu trung hạn (2040-2059) và dài hạn (2080-2099) sử dụng dự tính khí hậu bởi các mô hình độ phân giải cao từ Dự án so sánh đối chứng mô hình (CMIP6). Mô hình mưa-dòng chảy (Super-Tank) đã được sử dụng để mô phỏng dòng chảy và phân tích tần suất lũ ứng với các kịch bản khí hậu. Theo kịch bản phát thải trung bình (SSP245), hầu hết các mô hình dự báo lũ nghiêm trọng hơn vào giữa thế kỷ so với cuối thế kỷ. Ngược lại, ứng với kịch bản phát thải cao (SSP585), các trận lũ lớn được dự tính sẽ xảy ra nhiều hơn vào cuối thế kỷ.

Từ khóa: BĐKH, CMIP6, độ phân giải cao, lũ lớn, mô hình SuperTank.

Summary: The Global warming is becoming increasingly severe, -leading to significant changes in rainfall and extreme flood events across most river basins. Understanding these changes is crucial for developing effective flood management and adaptation strategies. This study presents projection of extreme floods in the Nong Son and Thanh My catchments in central Vietnam, focusing on the mid-term (2040–2059) and long-term (2080–2099) climate scenarios using high-resolution model simulations from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6). A nearly calibration-free parameter rainfall–runoff model was used to explore flood runoff responses to climate model simulations. Under the SSP245 scenario, most model simulations predict more severe floods by mid-century than by the end of the century. In contrast, under the SSP585 scenario, more extreme floods are projected by the end of the century.

Keywords: Climate Change, CMIP6, High-resolution, Extreme Flood, Super-Tank Model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dưới tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH), mưa lớn được dự báo sẽ gia tăng về cường độ. Tại khu vực miền Trung, dữ liệu quan trắc trong 40 năm qua cho thấy xu hướng gia tăng mưa lớn, đặc biệt trong hai thập kỷ gần đây. Hai sự kiện gần nhất đã vượt các mốc lịch sử,

cho thấy tần suất và cường độ mưa đều đang gia tăng. Ví dụ, bão Sơn Ca (14/10/2022) đã gây ra mưa lớn trên diện rộng, nhiều khu vực của thành phố Đà Nẵng ghi nhận lượng mưa trên 300 mm chỉ trong vòng 6 giờ. Lượng mưa thời đoạn ngắn đã vượt quá khả năng tiêu thoát của hệ thống thoát nước đô thị, dẫn đến tình trạng ngập úng nghiêm trọng trên toàn thành phố. Trong tương lai, các dự báo cho thấy lượng mưa gần tâm bão có thể tăng từ 40% đến 60% so với điều kiện khí hậu hiện tại [1].

Ngày nhận bài: 16/12/2025

Ngày thông qua phản biện: 08/01/2026

Ngày duyệt đăng: 02/02/2026

Sự gia tăng này đòi hỏi đầu tư lớn để nâng cao khả năng chống chịu của các hệ thống phòng chống lũ hiện hữu. Đồng thời, việc cải thiện các biện pháp quản lý lũ, chẳng hạn như vận hành hồ chứa hợp lý, cũng rất cần thiết và được xem là một trong những giải pháp phi công trình hiệu quả nhằm giảm thiểu rủi ro lũ lụt.

Các quy trình vận hành hồ chứa về cơ bản được xây dựng dựa trên dữ liệu quan trắc hoặc mô phỏng, mà chưa tính đến tác động của BĐKH trong tương lai. Do đó, các hồ chứa ngày càng trở nên dễ bị tổn thương khi rủi ro lũ lụt gia tăng, nhiều sự kiện cực đoan trong vài thập kỷ gần đây đã vượt các số liệu quan sát được trong thế kỷ trước.

Nghiên cứu những thay đổi về mưa lũ do BĐKH đã được tiến hành trong nhiều thập kỷ. Ở giai đoạn đầu, hầu hết các nghiên cứu dựa vào các mô hình hoàn lưu (GCMs), vốn được thiết kế cho các phân tích khí hậu ở quy mô khu vực. Tuy nhiên, các hiện tượng cực đoan thường chịu ảnh hưởng bởi các yếu tố ở quy mô địa phương, cho thấy sự không tương xứng giữa độ phân giải của mô hình và quy mô mà các hiện tượng này xảy ra [2], [3]. Gần đây, những tiến bộ về năng lực tính toán đã cho phép phát triển các mô hình khí hậu độ phân giải cao trong khuôn khổ Dự án so sánh đối chứng mô hình (CMIP6) để phân tích chi tiết hơn về khí hậu toàn cầu trong tương lai, đặc biệt trong việc cải thiện khả năng dự báo các hiện tượng cực đoan ở quy mô lưu vực sông. Tuy nhiên, do đặc thù của các mô hình khí hậu, chúng được xây dựng nhằm mô phỏng các xu thế khí hậu trong tương lai hơn là dự đoán chính xác thời điểm xảy ra của các sự kiện cụ thể. Do đó, việc áp dụng đầu ra của mô hình cho phân tích lượng mưa đòi hỏi các kỹ thuật hiệu chỉnh sai số để nâng cao độ chính xác và độ tin cậy.

Việc sử dụng các mô hình thủy văn để chuyển đổi lượng mưa thành dòng chảy là một phương pháp chuẩn trong mô phỏng dòng chảy. Trong

số đó, các mô hình thủy văn phân bố dựa trên các thông số vật lý của lưu vực có nhiều ưu thế so với các mô hình khái niệm với thông số tập trung. Các mô hình này được xây dựng dựa trên các đặc điểm tự nhiên, cho phép mô phỏng sự biến thiên không gian trên toàn lưu vực [4]. Điều quan trọng là các mô hình này không đòi hỏi nhiều dữ liệu lịch sử để hiệu chỉnh, nhờ đó đặc biệt hữu ích cho việc mô phỏng dòng chảy ở các lưu vực không có trạm đo hoặc có rất ít trạm quan trắc.

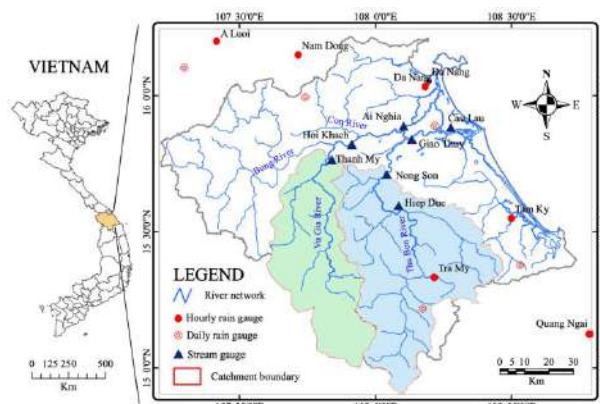
Nghiên cứu giới thiệu sự kết hợp giữa kỹ thuật hiệu chỉnh sai số áp dụng cho các mô phỏng từ mô hình CMIP6 và mô hình thủy văn bán phân bố (Super-Tank) nhằm mô phỏng và phân tích các trận lũ lớn trong tương lai tại lưu vực sông Vu Gia-Thu Bồn. Cách tiếp cận này được triển khai cho hai lưu vực Thanh Mỹ và Nông Sơn, ứng với hai kịch bản phát thải (SSP245 và SSP585) cho các giai đoạn 2044-2059 và 2080-2099.

2. LƯU VỰC NGHIÊN CỨU

Các con sông ở miền Trung Việt bắt nguồn từ các dãy núi cao dọc biên giới Việt – Lào. Chúng chảy qua các đồng bằng hẹp trước khi đổ ra Biển Đông. Trong số đó, hệ thống sông Vu Gia-Thu Bồn là một trong những hệ thống sông lớn nhất miền Trung, với diện tích lưu vực 10.350 km². Nghiên cứu này tập trung vào hai khu vực thượng nguồn của hệ thống, Thanh Mỹ và Nông Sơn, tương ứng với thượng nguồn sông Vu Gia và sông Thu Bồn (Hình 1). Hai lưu vực này có tổng diện tích thoát nước 5.220 km², trong đó Thanh Mỹ có diện tích 2.020 km² và Nông Sơn có diện tích 3.200 km².

Các lưu vực này nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, mưa nhiều nên chịu ảnh hưởng của lũ lụt thường xuyên trong mùa mưa, thường kéo dài từ tháng 9 đến tháng 12. Thống kê cho thấy trong giai đoạn 1980–2019, đã xảy ra 29 trận lũ lớn trên sông Vu Gia và 36 trận trên sông Thu Bồn. Lũ lớn được định nghĩa là

những sự kiện trong đó mực nước sông vượt quá mực nước lũ trung bình nhiều năm. Bên cạnh tình trạng lũ lụt thường xuyên, các con sông trong khu vực nghiên cứu tương đối ngắn, có các phụ lưu với độ dốc lớn. Đặc điểm này dẫn đến quá trình tập trung dòng chảy nhanh, khiến thời gian cảnh báo cho các vùng có nguy cơ lũ cao ngắn.



Hình 1: Bản đồ khu vực nghiên cứu thể hiện lưu vực Thanh Mỹ và Nông Sơn cùng với các trạm quan trắc khí tượng-thủy văn

Bảng 1: Các mô hình khí hậu độ phân giải cao dự án CMIP6 được lựa chọn

Mô hình	Đơn vị	Kịch bản	Độ phân giải
MRI-ESM	Viện Nghiên cứu Khí tượng Nhật Bản (MRI)	SSP245 & SSP585	100 km
GFDL-EMS	Cục Khí quyển và Đại dương Quốc gia Hoa Kỳ (NOAA)	SSP245 & SSP585	100 km
EC-EARTH	Hệ thống Trái đất – Liên danh châu Âu	SSP245 & SSP585	80 km

Hiệu suất mô phỏng của các mô hình CMIP6 thay đổi đáng kể tùy thuộc vào khu vực nghiên cứu. Do đó, việc lựa chọn các mô hình phù hợp là rất quan trọng để phân tích các hiện tượng cực đoan, vốn thường xảy ra ở quy mô địa phương. Đối với một quốc gia như Việt Nam, độ phân giải của mô hình cũng đóng vai trò then chốt. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc tăng độ phân giải của các mô hình GCMs có thể cải thiện độ chính xác trong ước lượng lượng mưa cực đoan. [1] [2], [3], [4].

3. PHƯƠNG PHÁP VÀ SỐ LIỆU

3.1. Mô hình khí hậu độ phân giải cao thuộc dự án CMIP6

CMIP6 được phát triển nhằm cung cấp một bộ mô phỏng khí hậu chuẩn cho Báo cáo đánh giá lần thứ sáu của Ủy ban liên chính phủ về BĐKH (IPCC-AR6) và hỗ trợ nghiên cứu chuyên sâu về BĐKH cũng như các tác động ở quy mô địa phương. CMIP6 bao gồm một tập hợp phong phú hàng trăm thí nghiệm do các nhóm nghiên cứu mô hình trên toàn thế giới đóng góp. So với phiên bản trước (CMIP5), CMIP6 thể hiện nhiều tiến bộ đáng kể. Ví dụ, CMIP6 sử dụng các kịch bản kinh tế - xã hội chia sẻ (SSPs) để biểu diễn các kịch bản phát thải khí nhà kính trong tương lai, thay thế cho các đường nồng độ khí nhà kính đại diện (RCPs) được dùng trong CMIP5. Trong khi độ phân giải lưới điển hình của CMIP6 khoảng 100 km, một số nhóm mô hình đã phát triển các phiên bản độ phân giải cao với độ phân giải ngang từ 20 đến 60 km nhằm nâng cao hiểu biết về biến đổi khí hậu ở cấp độ khu vực và địa phương.

Nghiên cứu sử dụng các dự tính lượng mưa ngày từ các mô hình độ phân giải cao do ba tổ chức hàng đầu về mô hình khí hậu thực hiện: (i) Viện Nghiên cứu Khí tượng Nhật Bản (MRI); (ii) Mô hình hệ thống trái đất do liên minh châu Âu gồm các cơ quan khí tượng quốc gia và viện nghiên cứu phát triển (ECE); và (iii) Cục Khí quyển và Đại dương Quốc gia Hoa Kỳ (NOAA). Các mô phỏng lịch sử bao trùm giai đoạn 1975–2014, được chia thành hai giai đoạn: 1975–1994 sử dụng để hiệu chỉnh sai số mô hình và 1995–2014 sử dụng để

kiểm định. Các dự tính trong tương lai bao gồm giai đoạn 2040–2059 và 2080–2099. Các dự tính này được xây dựng dựa trên hai kịch bản phát thải trung bình (SSP245) và cao (SSP585), như được trình bày trong Bảng 1.

3.2. Hiệu chỉnh sai số

Do bản chất của các mô phỏng khí hậu, các mô hình có xu hướng dự báo các xu thế chung của trạng thái khí hậu trong tương lai hơn là cung cấp các dự báo chính xác về những sự kiện cụ thể có khả năng xảy ra [5]. Vì lý do này, hầu hết các nghiên cứu đánh giá tác động đều áp dụng các kỹ thuật hiệu chỉnh sai số mô hình nhằm nâng cao độ chính xác của các mô phỏng [5], [6]. Các phương pháp hiệu chỉnh sai số truyền thống thường dựa trên các kỹ thuật đơn giản. Tuy nhiên, nghiên cứu này áp dụng một phương pháp lai, kết hợp giữa hệ số khí hậu và bách phân vị [7] để hiệu chỉnh lượng mưa ngày được mô phỏng bởi các mô hình CMIP6. Cách tiếp cận này nhằm giải quyết các vấn đề như ước lượng quá cao hoặc quá thấp lượng mưa cực đoạn trong tương lai [5]. Về kỹ thuật thực hiện như được mô tả trong nghiên cứu [7].

3.3. Mô hình Super-Tank

Mô hình Super-Tank lần đầu tiên được giới thiệu bởi Kato và Mano [8]. Mô hình này được phát triển dựa trên mô hình Tank [9] nhưng tập trung nhiều hơn vào các đặc tính dựa trên quá trình vật lý. Cơ bản như sau, toàn bộ lưu vực được chia thành các tiểu lưu vực được biểu diễn bằng các nút sông. Các tiểu lưu vực bao gồm các ô lưới có đặc điểm không gian và thủy văn tương tự nhau. Dòng chảy được tạo ra từ mỗi tiểu lưu vực được xem là dòng chảy tổng hợp vào nút sông tương ứng, mà không xét đến thời gian trễ. Quá trình truyền lũ trong sông được thực hiện bằng phương pháp xấp xỉ sóng động học một chiều, với giả định mặt cắt sông dạng hình chữ nhật. Mô tả chi tiết về cấu trúc mô hình có thể tham khảo trong nghiên cứu [10].

Mô phỏng được thực hiện theo chu kỳ ngày. Việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình đã được tiến hành cho các lưu vực Thanh Mỹ và Nông Sơn bằng cách sử dụng dữ liệu mưa và lưu lượng dòng chảy ngày trong giai đoạn khí hậu cơ sở (1979–2008). Ba tiêu chí đánh giá – Hiệu suất Nash-Sutcliffe (NSE), tỷ số độ lệch chuẩn (RSR) và sai lệch phần trăm (PBIAS) – được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình. Kết quả cho thấy mô hình Super-Tank tái hiện hợp lý dòng chảy trong cả giai đoạn hiệu chỉnh và kiểm định [11].

3.4. Phân tích tần suất lũ

Phân tích tần suất lũ đóng vai trò then chốt trong quản lý rủi ro lũ và thiết kế các công trình kiểm soát lũ. Trong nghiên cứu này, phương pháp [12] và [13] đã được áp dụng để ước tính lượng mưa và lũ cực đoạn với các chu kỳ lặp lại (Tr) cho khí hậu cơ sở và khí hậu tương lai. Phương pháp sử dụng phân bố giá trị cực trị Gumbel để hiệu chỉnh lưu lượng dòng chảy năm lớn nhất bằng phương pháp L-moments [14], như được thể hiện trong phương trình (1). Kết quả cho thấy phân bố giá trị cực trị được lựa chọn có nhiều ưu điểm so với các phân bố khác, đặc biệt khi xử lý các mẫu có kích thước tương đối nhỏ [12].

$$Q(Tr) = \xi - \alpha \ln[-\ln(1 - 1/Tr)] \quad (1)$$

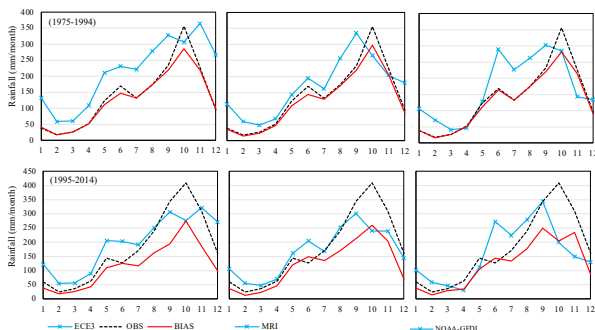
trong đó α và ξ lần lượt là các tham số tỷ lệ (scale) và vị trí (location) của phân bố Gumbel dạng giải tích.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Hiệu chỉnh mưa

Lượng mưa ngày sau khi được hiệu chỉnh sai số được tổng hợp biên tập lên quy mô tháng và so sánh với dữ liệu quan trắc từ dự án APHRODITE (Asian Precipitation – Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources) [15]. Giai đoạn hiệu chỉnh sử dụng dữ liệu từ năm 1975 đến 1994, trong khi giai đoạn kiểm định sử dụng dữ liệu từ năm 1995 đến 2014.

Hình 2 minh họa lượng mưa đã được hiệu chỉnh sai số so với dữ liệu quan trắc. Quan sát trực quan cho thấy, mặc dù các mô hình khí hậu có sai khác đáng kể khi lượng hóa mưa, phương pháp hiệu chỉnh sai số đã cho kết quả hợp lý giữa lượng mưa đã hiệu chỉnh và dữ liệu quan trắc. Tuy nhiên, hiện tượng đánh giá thiên nhỏ được ghi nhận trong giai đoạn mùa mưa (từ tháng 9-12), đặc biệt là giai đoạn kiểm định. Nguyên nhân được cho là do ảnh hưởng của độ phân giải mô hình khí hậu, vốn tính trung bình các mô phỏng trên các ô lưới tính toán có diện tích lớn.



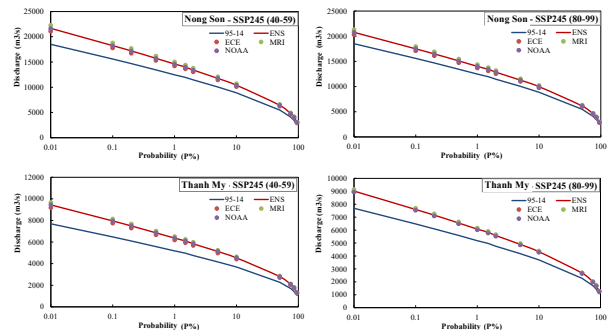
Hình 2: So sánh lượng mưa trung bình tháng nhiều năm tại lưu vực sông Vu Gia – Thu Bồn trong giai đoạn hiệu chỉnh (1975–1994) và giai đoạn kiểm định (1995–2014): Đường màu xanh là dự tính trực tiếp từ mô hình khí hậu; đường đứt đoạn là số liệu quan trắc; và đường màu đỏ là kết quả sau khi hiệu chỉnh sai số

4.2. Tần suất lũ trong tương lai

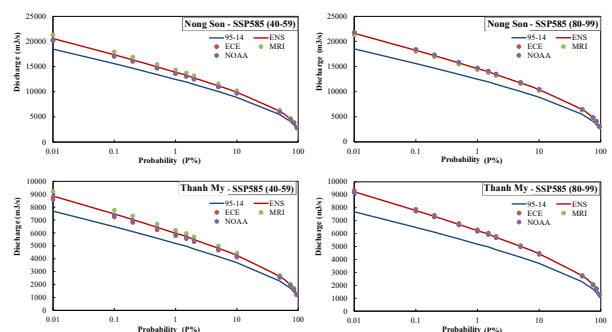
Trong phân tích tần suất lũ, việc đánh giá xu hướng biến đổi sẽ phù hợp hơn so với so sánh trực tiếp sự chênh lệch tuyệt đối giữa dòng chảy dự tính và dòng chảy quan trắc. Để thực hiện điều này, lượng mưa sau khi hiệu chỉnh sai số được sử dụng làm đầu vào cho mô hình Super-Tank nhằm mô phỏng dòng chảy trong cả điều kiện khí hậu cơ sở và khí hậu tương lai. Dòng chảy mô phỏng cho khí hậu tương lai sau đó được so sánh với giai đoạn khí hậu cơ sở để ước tính mức độ biến đổi tương đối.

Hình 3 và Hình 4 minh họa tần suất lũ dự tính

cho các lưu vực Nông Sơn và Thanh Mỹ vào giữa thế kỷ (2040–2059) và cuối thế kỷ (2080–2099) theo hai kịch bản biến đổi khí hậu SSP245 và SSP585. Tần suất lũ được tính toán cho từng mô hình riêng lẻ (ECE, MRI, NOAA) và sau đó được tổ hợp trung bình (ENS). Kết quả cho thấy lũ trong tương lai dự kiến sẽ gia tăng đáng kể, đặc biệt đối với các trận lũ có xác suất xảy ra thấp. Ví dụ, trận lũ 100 năm ở điều kiện khí hậu hiện tại được dự tính sẽ xảy ra 50 năm một lần trong điều kiện khí hậu tương lai. Bảng 2 trình bày các thống kê về sự thay đổi lũ trong tương lai. Đáng chú ý, với kịch bản phát thải trung bình (SSP245), hầu hết các mô phỏng CMIP6 tính báo lũ cao hơn so với kịch bản phát thải cao (SSP585) vào giữa thế kỷ. Tuy nhiên, đến cuối thế kỷ, kịch bản SSP585 lại cho thấy dự tính các trận lũ lớn hơn.



Hình 3: Tần suất lũ trong tương lai tại các lưu vực Nông Sơn và Thanh Mỹ theo kịch bản SSP245



Hình 4: Tần suất lũ trong tương lai tại các lưu vực Nông Sơn và Thanh Mỹ

theo kịch bản SSP585

Bảng 2: Mức thay đổi trung bình (%) của lũ trong tương lai so với giai đoạn cơ sở (1995-2014) tại lưu vực Nông Sơn và Thạnh Mỹ theo các kịch bản biến đổi khí hậu SSP245 và SSP585

Lưu vực	Giai đoạn	SSP245				SSP585			
		ECE	MRI	NOAA	ENS	ECE	MRI	NOAA	ENS
Nông Sơn	(2040-2059)	41.3	11.5	44.6	32.4	9.6	15.0	12.1	12.2
	(2080-2099)	37.1	14.6	39.4	30.4	17.6	15.0	17.8	16.8
Thạnh Mỹ	(2040-2059)	19.5	25.8	23.1	22.8	16.7	18.9	16.3	17.3
	(2080-2099)	11.7	19.9	14.2	15.2	21.5	19.5	19.2	20.1

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu nhằm mục tiêu đánh giá những thay đổi tần suất lũ trong tương lai bằng cách sử dụng dữ liệu lượng mưa đã hiệu chỉnh từ các mô hình khí hậu độ phân giải cao (ECE, MRI, NOAA) cho các lưu vực Nông Sơn và Thạnh Mỹ ở miền Trung Việt Nam. Các trận lũ được ước tính theo hai kịch bản phát thải: kịch bản phát thải trung bình (SSP245) và kịch bản phát thải rất cao (SSP585). Kết quả mô phỏng từ các mô hình khí hậu cho thấy, theo kịch bản SSP245, lũ sẽ nghiêm trọng hơn vào giữa thế kỷ so với cuối thế kỷ. Tuy nhiên, theo

kịch bản SSP585, các trận lũ lớn được dự báo sẽ xảy ra vào cuối thế kỷ. Bước tiếp theo, nghiên cứu khuyến nghị thực hiện phân tích độ nhạy nhằm định lượng mức độ tin cậy của các dự báo.

LỜI CẢM ƠN: Bài báo được thực hiện trong khuôn khổ Đề tài ĐTĐL.CN-84/21 “Nghiên cứu xây dựng các phương án ứng phó khẩn cấp với khả năng xảy ra lũ lớn và sự cố vỡ đập trên lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn” do Bộ Khoa học và Công nghệ tài trợ. Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn Bộ đã hỗ trợ kinh phí và đồng hành trong quá trình nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Kitoh, T. Ose, K. Kurihara, S. Kusunoki, and M. Sugi, “Projection of changes in future weather extremes using super-high-resolution global and regional atmospheric models in the KAKUSHIN Program: Results of preliminary experiments,” *Hydrological Research Letters*, vol. 3, pp. 49–53, 2009, doi: 10.3178/hrl.3.49.
- [2] Christel Prudhomme, Nick Reynard, and Sue Crooks, “Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: Where are we now?,” *Hydrol Process*, vol. 16, no. 6, pp. 1137–1150, Mar. 2002, Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.1054>
- [3] H. J. Fowler, S. Blenkinsop, and C. Tebaldi, “Linking climate change modelling to impacts studies: Recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling,” Oct. 2007. doi: 10.1002/joc.1556.
- [4] M.B. Abbott, J.C. Bathurst, J.A. Cunge, P.E. O’Connell, and J. Rasmussen, “An introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrologique Europeen, ‘SHE’, 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system,” *J Hydrol (Amst)*, vol. 87, pp. 45–59, 1986, Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169486901149?via%3Dihub>

- [5] Anthony S. Kiem, Hiroshi Ishidaira, Hapuarachchige P. Hapuarachchi, Maichun C. Zhou, Yukiko Hirabayashi, and Kuniyoshi Takeuchi, “Future hydroclimatology of the Mekong River basin simulated using the high-resolution Japan Meteorological Agency (JMA) AGCM,” *Hydrol Process*, vol. 22, no. 9, Mar. 2008, Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hyp.6947>
- [6] K. Takara, S. Kim, Y. Tachikawa, and E. Nakakita, “Assessing Climate Change Impact on Water Resources in the Tone River Basin, Japan, Using Super-High-Resolution Atmospheric Model Output,” Feb. 01, 2009, *Fuji Technology Press*. doi: 10.20965/jdr.2009.p0012.
- [7] H. Inomata, K. Takeuchi, and K. Fukami, “DEVELOPMENT OF A STATISTICAL BIAS CORRECTION METHOD FOR DAILY PRECIPITATION DATA OF GCM20,” *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, vol. 67, no. 4, pp. 247–252, 2011, Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejhe/67/4/67_4_I_247/_article
- [8] Hiroyasu Kato and Akira Mano, “Flood Runoff Model on One Kilometer Mesh for the Upper Chang Jiang River,” in *In International Conference of GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment*, T. K. C. I. D. S. F. (Eds), Chen Y, Ed., Three Gorges Dam, Sep. 2003, pp. 156–163. Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.zhangqiaokeyan.com/academic-conference-foreign_gis-rs-in-hydrology-water-resources-environment_thesis/02051817681.html
- [9] Masami Sugawara, “The Flood forecasting by a series storage type model,” in *Floods and their computation*, Leningrad: World Meteorological Organization, International Association of Scientific Hydrology, 1969, pp. 555–560. Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000014318>
- [10] Do Hoai Nam, Dang Thanh Mai, Keiko Udo, and Akira Mano, “Short-term flood inundation prediction using hydrologic-hydraulic models forced with downscaled rainfall from global NWP,” *Hydrol Process*, vol. 29, no. 24, pp. 5844–5859, Oct. 2014, Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/hyp.10084>
- [11] D. H. Nam, P. C. Duong, D. H. Thuan, D. T. Mai, and N. Q. Dung, “Assessment of near-term runoff response at a river basin scale in central Vietnam using direct CMIP5 high-resolution model outputs,” *Water (Switzerland)*, vol. 10, no. 4, Apr. 2018, doi: 10.3390/w10040477.
- [12] Yukiko Hirabayashi *et al.*, “Global flood risk under climate change,” *Nat Clim Chang*, vol. 3, pp. 816–821, Jun. 2013, Accessed: Feb. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/nclimate1911>
- [13] L. Alfieri, P. Burek, L. Feyen, and G. Forzieri, “Global warming increases the frequency of river floods in Europe,” *Hydrol Earth Syst Sci*, vol. 19, no. 5, pp. 2247–2260, May 2015, doi: 10.5194/hess-19-2247-2015.
- [14] J. R. M. Hoskingt, “L-moments: Analysis and Estimation of Distributions using Linear Combinations of Order Statistics,” *J. R. Statist. Soc. B*, vol. 52, no. I, pp. 105–124, 1990, [Online]. Available: <https://academic.oup.com/jrsssb/article/52/1/105/7027905>
- [15] A. Yatagai, K. Kamiguchi, O. Arakawa, A. Hamada, N. Yasutomi, and A. Kitoh, “Aphrodite constructing a long-term daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges,” *Bull Am Meteorol Soc*, vol. 93, no. 9, pp. 1401–1415, Sep. 2012, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00122.1.