

Kỷ yếu Hội thảo khoa học quốc gia “Môi trường nông nghiệp, nông thôn và Phát triển bền vững”

ĐÁNH GIÁ XU HƯỚNG NGẬP LỤT TƯƠNG LAI TRÊN LƯU VỰC SÔNG CẦU-THƯƠNG- LỤC NAM DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Trần Anh Quân¹, Nguyễn Thị Hồng Ngọc², Hoàng Minh Chính³

¹Khoa Môi trường, trường Đại học Mỏ - Địa Chất,

²Khoa Tài nguyên Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

³Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội

*Tác giả liên hệ: quantrananh.hung@gmail.com

Ngày nhận bài: 26.02.2024

Ngày chấp nhận đăng: 10.03.2024

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến lượng mưa và ngập lụt trên lưu vực sông Cầu - Thương - Lục Nam vào cuối thế kỷ 21 theo kịch bản phát thải cao SSP5-8.5. Mô hình mưa-dòng chảy-ngập lụt (RRI) được sử dụng để mô phỏng các điều kiện khí tượng thủy văn hiện tại và tương lai. Trước tiên, RRI được hiệu chỉnh và kiểm định dựa trên dữ liệu quan trắc của trận lũ lịch sử năm 2008. Kết quả cho thấy mô hình có khả năng mô phỏng chính xác trận lũ này với mức độ tin cậy cao. Tiếp theo, hai mô hình khí hậu toàn cầu CMIP6 là EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL được sử dụng để dự tính lượng mưa và nhiệt độ cho giai đoạn 2080-2099. Kết quả cho thấy cả hai mô hình đều dự báo xu hướng gia tăng lượng mưa trung bình mùa mưa từ 74-264mm so với giai đoạn 2000-2019. Đi kèm với điều này, mức độ ngập lụt trên lưu vực cũng được dự báo sẽ trầm trọng hơn nhiều. Phạm vi ngập lụt có thể mở rộng hơn so với hiện tại, với độ sâu ngập tại nhiều khu vực lên tới 3-5m. Mô hình EC-Earth3 cho kết quả dự báo nghiêm trọng hơn so với HadGEM3-GC31-LL về cả lượng mưa và mức độ ngập lụt. Tuy nhiên, cả hai mô hình đều chỉ ra xu hướng gia tăng nguy cơ ngập lụt trầm trọng trong tương lai nếu không có các biện pháp ứng phó phù hợp. Kết quả nghiên cứu cung cấp những thông tin quan trọng giúp các nhà hoạch định chính sách đề xuất các giải pháp nâng cao khả năng chống chịu với ngập lụt do biến đổi khí hậu cho khu vực nghiên cứu.

Từ khóa: RRI, Cầu-Thương-Lục Nam, ngập lụt, biến đổi khí hậu, mô phỏng

Assessment of Future Flood Trends in The Cau – Thuong – Luc Nam River Basin Under the Impact of Climate Change

ABSTRACT

This study assesses the impact of climate change on rainfall and flooding in the Cau-Thuong-Luc Nam river basin at the end of the 21st century under the high emission scenario SSP5-8.5. The Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) model is used to simulate current and future hydro-meteorological conditions. First, the RRI model is calibrated and validated based on observed data from the historic 2008 flood event. The results show that the model can accurately simulate this flood event with a high level of reliability. Next, two global climate models from CMIP6, namely EC-Earth3 and HadGEM3-GC31-LL, are used to project rainfall and temperature for the period 2080-2099. The results indicate that both models predict an increasing trend in average monsoon rainfall, ranging from 74-264mm compared to the 2000-2019 period. Accompanying this, the extent of flooding in the basin is also projected to be much more severe. The flood extent may expand compared to the present, with inundation depths in many areas reaching 3-5m. The EC-Earth3 model yields more severe projections compared to HadGEM3-GC31-LL in terms of both rainfall and flood levels. However, both models point to a trend of significantly increasing flood risk in the future if appropriate response measures are not taken. The study results provide important information to help policymakers propose solutions to enhance resilience to climate change-induced flooding for the study area.

Keywords: RRI, Cau-Thuong-Luc Nam, flooding, climate change, simulation

1. MỞ ĐẦU

Theo Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu (IPCC), nhiệt độ bề mặt toàn cầu dự kiến sẽ tăng 1,5-2°C vào năm 2050 và lên đến 2,5-4°C vào cuối thế kỷ 21 dưới kịch bản phát thải cao theo Báo cáo Đánh giá lần thứ 6 (AR6) năm 2021 (IPCC, 2021). Hiện tượng nóng lên toàn cầu dẫn đến xu hướng gia tăng các thiên tai nguy hiểm trên khắp thế giới. Những phát hiện mới nhất từ AR6 cho thấy biến đổi khí hậu (BĐKH) đã và đang gây ra tác động nghiêm trọng ở nhiều khu vực, đặc biệt là khu vực Đông Nam Á (ASEAN). Việt Nam được đánh giá là một trong những quốc gia dễ bị tổn thương nhất bởi biến đổi khí hậu ở khu vực ASEAN (World Bank, 2021).

Lũ lụt là thảm họa gây thiệt hại nghiêm trọng nhất ở vùng núi phía Bắc Việt Nam. Với tần suất xảy ra ngày càng gia tăng của các đợt lũ lụt trong những thập kỷ gần đây, nhu cầu nâng cao nhận thức và quản lý rủi ro lũ lụt đã trở nên cấp bách (Gupta, 2020). Sự biến đổi cường độ của mưa ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ dòng chảy lũ. Hình 1 đại diện cho khu vực nghiên cứu và vị trí của lưu vực sông Cầu - Thương - Lục Nam (CTLN). Đây là một trong những hệ thống sông lớn ở vùng núi phía Bắc Việt Nam, chảy qua lãnh thổ của bảy tỉnh. CTLN đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế vì nó cung cấp nguồn nước sinh hoạt và sản xuất cho các vùng đô thị và nông nghiệp trọng điểm. Lưu vực sông CTLN được hình thành bởi ba lưu vực sông nhỏ bao gồm sông Cầu ở phía tây, sông Thương ở giữa và sông Lục Nam ở phía đông. Toàn bộ lưu vực được bao quanh bởi dãy núi ở phía Bắc, địa hình dần thấp dần về phía Đông Nam với lưu vực sông thấp nằm trên cao nguyên.

Số lần xảy ra lũ lụt ở lưu vực sông CTLN đã tăng đáng kể trong thời gian gần đây. Trong bối cảnh nóng lên toàn cầu, việc xây dựng và thực hiện các biện pháp ứng phó và giảm thiểu rủi ro để đối phó với các mối đe dọa tiềm tàng là rất quan trọng. Không thể thiết lập kế hoạch hành động khi chưa hiểu rõ đặc điểm của lũ lụt trong điều kiện khí tượng thủy văn hiện tại và tương lai. Phương pháp mô phỏng truyền thống cho các nghiên cứu ngập lụt kết hợp các mô hình dòng chảy mưa-lũ để xác định lưu lượng sông và mô hình thủy lực để mô phỏng quá trình truyền tải nước. Tuy nhiên, phương pháp này không phù hợp cho các lưu vực sông bằng phẳng có diện tích ngập lụt lớn vì nó đòi hỏi tính toán phức tạp để liên kết giữa lưu vực sông và vùng ngập lụt (Dang và cộng sự, 2011). Do đó, nghiên cứu này sử dụng mô hình Mưa-Dòng chảy-Ngập lụt (RRI), đây là mô hình kết hợp đầy đủ giữa mô hình dòng chảy mưa-lũ và mô hình ngập lụt thủy lực (Sayama, 2012).

Các mô hình khí hậu toàn cầu (GCM) trong báo cáo lần gần đây nhất (AR6) của IPCC đã sử dụng tổ hợp của 55 mô hình (Jiang và cộng sự, 2021). Việc chọn GCM phù hợp để chi tiết hóa hơn nữa là rất quan trọng để cải thiện độ chính xác của kết quả thu nhỏ quy mô cục bộ và tối ưu hóa tài nguyên tính toán. Tùy thuộc vào độ phân giải không gian và thời gian, biến khí hậu cần đánh giá và mục đích của người dùng, một số nghiên cứu đã sử dụng từ vài mô hình GCM đến vài chục mô hình GCM, như 3 mô hình (Chaney và cộng sự, 2014), 5 mô hình (Duan và cộng sự, 2022), 7 mô hình (Raliya và cộng sự, 2022), 16 mô hình (Huang và cộng sự, 2022), 29 mô hình (Baay và cộng sự, 2022), 31 mô hình (Ahmed và cộng sự, 2022), 32 mô hình (Medina và cộng sự, 2022), 35 mô hình (Zhao và cộng sự, 2020), 41 mô hình (Piem và cộng sự, 2021). Nghiên cứu này lựa chọn 02 mô hình GCM đã được một số nghiên cứu trước đây sử dụng và đánh giá là phù hợp với Việt Nam, gồm: (1) EC-Earth3, (2) HadGEM3-GC31-LL (Duan và cộng sự, 2022; Raliya và cộng sự, 2022; Baay và cộng sự, 2022) để đánh giá sự biến đổi lượng mưa và tình trạng ngập lụt trên lưu vực sông CTLN dưới tác động của BĐKH.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Dữ liệu mưa

Dữ liệu lượng mưa quan trắc do Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc gia Việt Nam (NCHMF) thu thập tại các trạm đo mưa từ 2000-2019 được sử dụng cho nghiên cứu này. Dữ liệu lượng mưa tại NCHMF được đo bằng các máy đo mưa tiêu chuẩn, báo cáo lượng mưa được ghi lại và cứ sau 6 giờ lại được NCHMF xử lý để theo dõi những diễn biến bất thường của khí hậu. Khí hậu miền Bắc Việt Nam được phân biệt bởi hệ thống gió mùa Đông Nam Á với mùa mưa từ tháng 6 đến tháng 8 sau đó là mùa khô lạnh từ tháng 12 đến tháng 2. Đề tài tập trung vào điều kiện khí tượng thủy văn của hệ thống sông CTLN trong mùa mưa. Tiêu chí cụ thể đã được áp dụng cho dữ liệu trạm thời tiết được lựa chọn. Các tiêu chí này bao gồm: (i) các trạm đo mưa được định vị bên trong khu vực tính toán thủy văn sông CTLN và phải sử dụng các kỹ thuật giám sát tương tự để giảm thiểu sai lệch trong dữ liệu được ghi lại; (ii) một tháng trong mùa mưa được coi là đủ dữ liệu nếu số ngày bị thiếu ít hơn hoặc bằng 5; (iii) một năm được coi là hoàn thành nếu tất cả các tháng trong mùa mưa thỏa mãn mục (ii); (iv) một trạm bao gồm tất cả các năm của giai đoạn nghiên cứu, không bỏ sót bất kỳ năm nào, được coi là có dữ liệu đầy đủ. Sau khi sàng lọc thông qua các tiêu chí này, tổng cộng có 19 trạm đã được chọn để sử dụng trong nghiên cứu (Bảng 1 và Hình 1).

Bảng 1 Vị trí các trạm khí tượng sử dụng trong nghiên cứu

STT	Trạm	Kinh độ	Vĩ độ
1	Ngân Sơn	105.983	22.433
2	Bắc Cạn	105.833	22.150
3	Thái Nguyên	105.833	21.600
4	Phú Hộ	105.233	21.450
5	Việt Trì	105.417	21.300
6	Vĩnh Yên	105.600	21.317
7	T.Khánh	106.517	22.833
8	Thất Khê	106.467	22.250
9	Lạng Sơn	106.767	21.833
10	Bắc Sơn	106.317	21.900
11	Hữu Lũng	106.350	21.500
12	Uông Bí	106.750	21.033
13	Hiệp Hòa	105.967	21.350
14	Lục Ngạn	106.550	21.383
15	Sơn Động	106.850	21.333
16	Bắc Giang	106.217	22.300
17	Láng	105.850	21.033
18	Sơn Tây	105.500	21.133
19	Hà Đông	105.750	20.967

2.2 Dữ liệu kịch bản dự tính biến đổi khí hậu

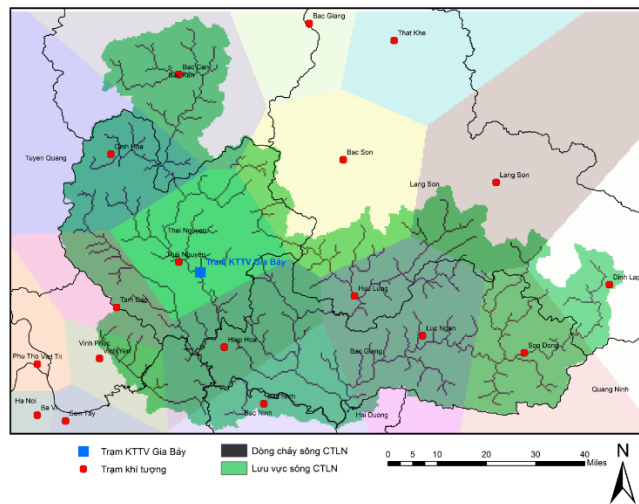
Nghiên cứu này sử dụng dự tính lượng mưa và nhiệt độ từ các thí nghiệm về nóng lên toàn cầu của CMIP6 (Giai đoạn thứ 6 của Dự án So sánh Liên kết Mô hình). Dự báo khí hậu tương lai trong CMIP6 dựa trên các kịch bản phát thải khí nhà kính khác nhau, được gọi là Kịch bản Phát triển Xã hội Dùng chung (SSP). Dữ liệu được sử dụng là dự tính lượng mưa ngày cho giai đoạn cuối thế kỷ 21 (2080-2099) theo kịch bản phát thải cao SSP5-8.5. Trong SSP5-8.5, lực bức xạ của Trái đất tăng 8,5 W/m² so với trước kỳ nguyên công nghiệp. Đây là kịch bản đã được Chính phủ Việt Nam cập nhật trong chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu để đề xuất kế hoạch ứng phó với

Kỷ yếu Hội thảo khoa học quốc gia “Môi trường nông nghiệp, nông thôn và Phát triển bền vững”

hiện tượng thời tiết cực đoan (Tran-Anh, 2023). Nghiên cứu sử dụng hai mô hình khí hậu toàn cầu (GCM) EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL đã được đánh giá phù hợp cho khu vực Việt Nam. Dữ liệu lượng mưa và nhiệt độ gần bề mặt của hai GCM này đã được chi tiết hóa với độ phân giải $0,1^\circ$ (tương đương 10×10 km), độ phân giải thời gian ngày cho toàn lãnh thổ Việt Nam.

2.3 Dữ liệu dòng chảy

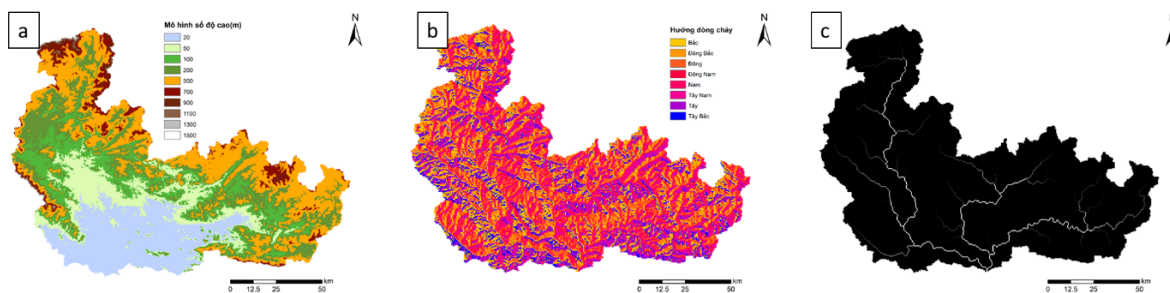
Đối với dữ liệu thủy văn dòng chảy dùng để kiểm định tính chính xác của mô hình mô phỏng thủy văn, đề tài sử dụng dữ liệu quan trắc theo ngày tại trạm KTTV Gia Bảy vào tháng 6, 7 và 8 năm 2009. Chi tiết trạm KTTV Gia Bảy và các trạm quan trắc khí tượng được thể hiện tại Hình 1



Hình 1. Vị trí trạm đo mưa và thủy văn sử dụng trong nghiên cứu

2.4. Dữ liệu ảnh vệ tinh

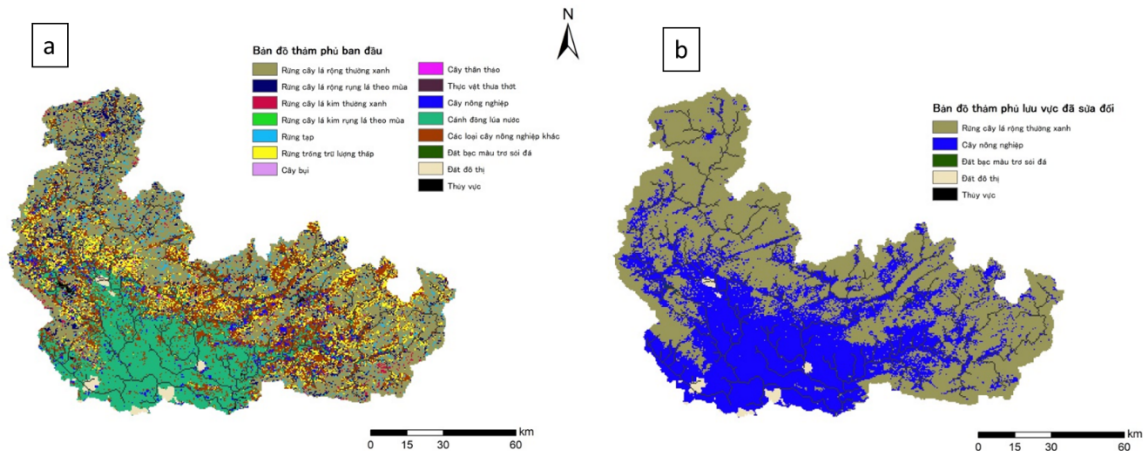
Dữ liệu địa hình đầu vào cho mô hình RRI bao gồm mô hình độ cao số, dữ liệu tích lũy dòng chảy và hướng dòng chảy với độ phân giải 15 giây cung (tương đương khoảng 500m) từ bộ dữ liệu HydroSHEDS của NASA (Hình 2). HydroSHEDS cung cấp thông tin thủy văn nhất quán cho các ứng dụng quy mô khu vực và toàn cầu, bao gồm mạng lưới sông, ranh giới lưu vực, hướng thoát nước và tích lũy dòng chảy. Dữ liệu này dựa trên số liệu độ cao thu được từ chương trình SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) của NASA.



Hình 2. Dữ liệu (a) Mô hình số độ cao, (b) Hướng dòng chảy và (c) tích tụ dòng chảy được trích xuất từ dữ liệu HydroShed

Về dữ liệu lớp phủ đất, nghiên cứu sử dụng sản phẩm từ bộ cảm biến MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer - Hệ thống quang phổ hình ảnh độ phân giải trung bình) với độ phân giải 0,5 km. MODIS là cảm biến được phát triển bởi Cơ quan Hàng không và Vũ trụ

Hoa Kỳ (NASA) và được đặt trên vệ tinh. Lưu vực CTLN có tổng cộng 15 loại hình sử dụng đất khác nhau. Để đảm bảo tính chính xác trong mô phỏng tương quan lượng mưa-dòng chảy, các loại đất có tính chất tương tự đã được gộp lại thành 5 nhóm lớp phủ đất chính (Hình 3). Việc này giúp thuận lợi hơn trong quá trình tìm kiếm dữ liệu mô phỏng về hệ số nhám của đất cho từng loại thảm phủ khác nhau, vì mỗi loại có mức bảo vệ khác nhau đối với dòng chảy bề mặt và tác động của hạt mưa.

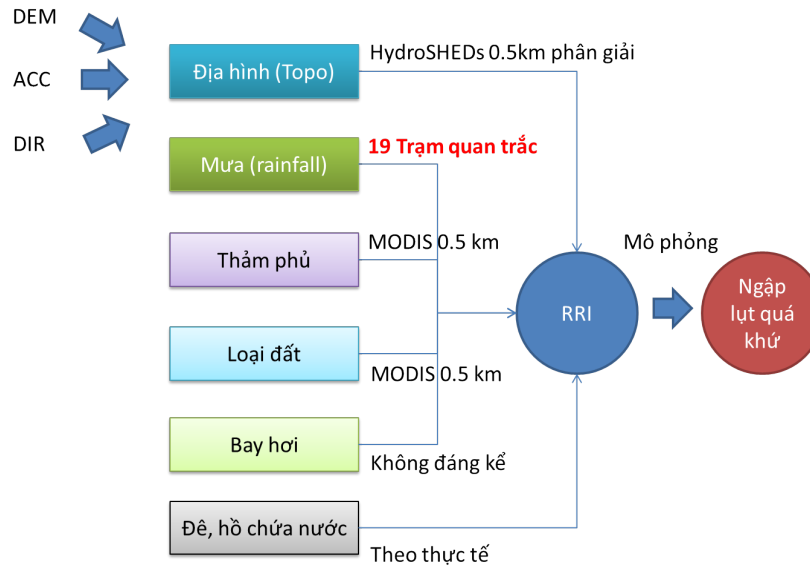


Hình 3. Dữ liệu thảm phủ bề mặt đất (a) trước khi gộp và (b) sau khi gộp được lấy từ dữ liệu ảnh MODIS.

2.5. Mô hình dự báo mưa dòng chảy và ngập lụt

Mô hình RRI (Sayama và cs, 2012) đã được sử dụng để mô phỏng đồng thời các điều kiện mưa-dòng chảy và ngập lụt cho khu vực nghiên cứu. Trong mô hình RRI, cả sườn dốc và sông đều được giả định nằm trong cùng một ô lưới. Kênh sông được coi là một đường đơn trên các ô lưới sườn dốc phủ lên trên. Mô hình sóng khuếch tán 2 chiều được áp dụng để tính toán dòng chảy trên các ô lưới sườn dốc, trong khi mô hình sóng khuếch tán 1 chiều được áp dụng cho dòng chảy kênh chính. Để biểu diễn tốt hơn các quá trình mưa-dòng chảy-ngập lụt của lưu vực CTLN, tham số hóa điều kiện bề mặt/dưới bề mặt được kích hoạt với mô hình thấm Green-Ampt theo phương thẳng đứng. Tham số bốc hơi trong mô hình RRI không được sử dụng do thiếu dữ liệu bốc hơi chi tiết.

Các bước thực hiện kiểm nghiệm và hiệu chỉnh cho mô hình RRI cho trận lũ lịch sử năm 2008 được thể hiện tại Hình 4. Kết quả dự tính sự thay đổi về điều kiện bão lũ của sông CTLN trong tương lai được sử dụng dựa trên các dự tính mưa và nhiệt độ của hai mô hình khí hậu EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL với kịch bản SSP5-8.5 cho giai đoạn cuối thế kỷ 21, từ 2080 đến 2099.

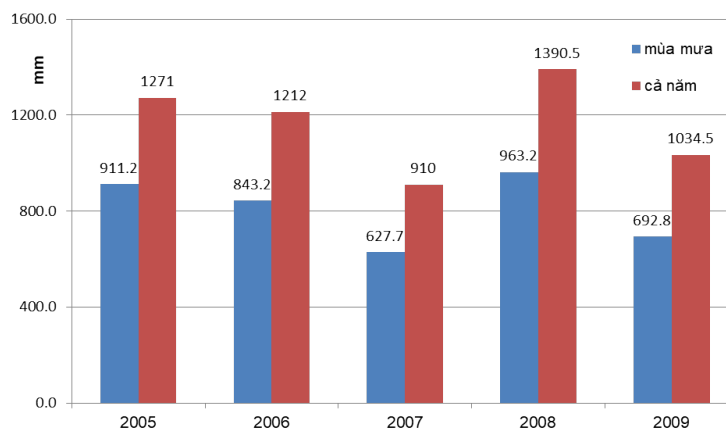


Hình 4. Sơ đồ các bước mô phỏng mưa và dòng chảy ngập lụt bằng mô hình RRI cho năm 2008

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá phân bố mưa trên lưu vực sông CTLN

Lượng mưa trung bình mùa mưa trên lưu vực sông CTLN qua các năm từ 2005 đến 2009 cho thấy sự biến động đáng kể của lượng mưa giữa các năm (Hình 5). Năm 2008 có lượng mưa cao nhất, trung bình 963,2 mm, trong khi năm 2007 thấp nhất, chỉ 627,7 mm. Sự chênh lệch lượng mưa giữa các năm liên tiếp rất lớn, đặc biệt trong giai đoạn 2007-2009. So với năm 2007, lượng mưa năm 2008 tăng 335,5 mm, nhưng đến năm 2009 lại giảm 270,4 mm. So sánh lượng mưa mùa mưa (tháng 6-8) và cả năm cho thấy mùa mưa đóng góp từ 66% đến 71% tổng lượng mưa năm, phù hợp với đặc điểm khí hậu nhiệt đới gió mùa khi mưa tập trung chủ yếu vào mùa mưa do ảnh hưởng của hệ thống gió mùa Đông Nam Á. Năm 2008 có lượng mưa mùa mưa và cả năm cao nhất, với mưa mùa mưa chiếm 69,27% tổng lượng mưa năm. Năm 2007 có lượng mưa thấp nhất cả trong mùa mưa và cả năm, với mưa mùa mưa chiếm 68% tổng lượng mưa năm.



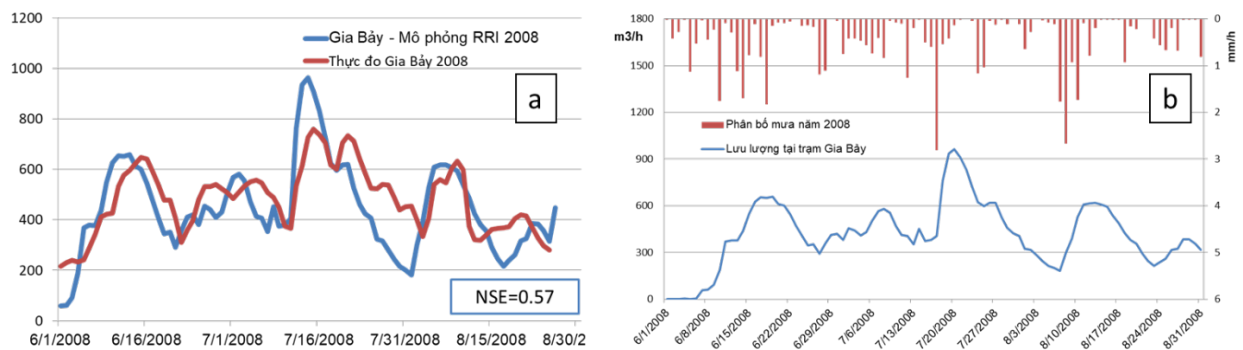
Hình 5. Biểu đồ so sánh lượng mưa mùa mưa và cả năm trên lưu vực sông CTLN trong giai đoạn 2000-2019

3.2. Đánh giá độ chính xác của mô hình RRI

Để đánh giá độ chính xác của mô hình RRI, kết quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy cho trận lũ lịch sử năm 2018 từ mô hình được so sánh với dữ liệu thực đo tại trạm Gia Bảy. Các chỉ số đánh giá bao gồm hệ số tương quan Pearson (r), sai số giá trị trung bình, và hệ số Nash-Sutcliffe (NSE). Hình 6a thể hiện sự tương quan giữa lưu lượng dòng chảy mô phỏng và thực đo tại trạm Gia Bảy. Kết quả cho thấy mối quan hệ tỷ lệ thuận giữa lượng mưa và lưu lượng dòng chảy, với các trận mưa lớn tạo ra đỉnh lũ sau độ trễ từ 12 đến 24 giờ (Hình 6b). Lượng mưa và lưu lượng dòng chảy tập trung chủ yếu vào các tháng 7 và 8, với giá trị đỉnh lên tới 3 mm/h và 900 m³/s.

Hệ số tương quan Pearson (r) giữa lưu lượng dòng chảy mô phỏng và thực đo đạt 0,733, cho thấy sự tương đồng cao về xu hướng. Giá trị này tương đương với kết quả từ các nghiên cứu tương tự sử dụng mô hình RRI, như nghiên cứu của Sayama và cs. (2015) trên lưu vực sông Chao Phraya, Thái Lan ($r = 0,78$), và nghiên cứu của Duan và cs. (2020) trên lưu vực sông Mekong ($r = 0,81$). Tuy nhiên, giá trị lưu lượng trung bình từ mô hình RRI (447 m³/s) thấp hơn so với thực đo (480 m³/s), với sai số 6,8% (Hình 3.6). Điều này cho thấy mô hình có xu hướng đánh giá thấp lưu lượng dòng chảy và mức độ ngập lụt so với thực tế. Sai số này có thể do nhiều nguyên nhân, như độ chính xác của dữ liệu đầu vào (địa hình, lớp phủ, thổ nhưỡng), sự đơn giản hóa của các quá trình thủy văn trong mô hình, và sự bất định trong quá trình hiệu chỉnh thông số (Tran và vs., 2018).

Hệ số Nash-Sutcliffe (NSE) đạt 0,57 (Hình 6a) cho thấy độ chính xác tương đối cao của mô hình RRI trong việc mô phỏng dòng chảy theo thời gian. Giá trị NSE này tương đương với kết quả từ các nghiên cứu khác sử dụng mô hình RRI, như nghiên cứu của Sayama et al. (2012) trên lưu vực sông Tone, Nhật Bản (NSE = 0,63), và nghiên cứu của Bhagabati & Kawasaki (2017) trên lưu vực sông Barak, Ấn Độ (NSE = 0,58). Mô hình mô phỏng chính xác các đỉnh dòng chảy trên lưu vực, như vào cuối tháng 7, đầu và cuối tháng 8. Điều này cho thấy tiềm năng của mô hình RRI trong việc dự báo và cảnh báo lũ, đặc biệt là các sự kiện lũ cực đoan. Kết quả đánh giá cho thấy mô hình RRI có thể tái tạo tương đối chính xác trận lũ lịch sử năm 2008 trên lưu vực sông CTLN, với các chỉ số đánh giá đạt mức chấp nhận được và tương đương với các nghiên cứu tương tự trên thế giới.



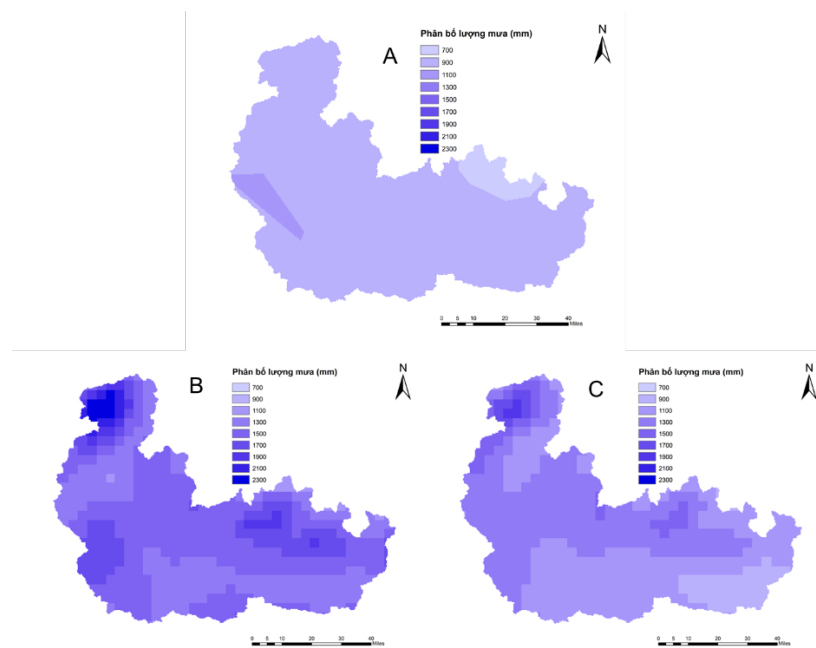
Hình 6 (a) Tương quan dòng chảy lưu vực sông CTLN tại trạm Gia Bảy và số liệu thực đo và (b) Biểu đồ tương quan giữa dòng chảy và lượng mưa phân bố trên lưu vực vào mùa mưa năm 2008

3.3. Dự tính phân bố lượng mưa trên lưu vực CTLN vào cuối thế kỷ 21

Hình 7 thể hiện phân bố không gian của lượng mưa trung bình trong 3 tháng mùa mưa (tháng 6, 7, 8) được mô phỏng bằng mô hình RRI, sử dụng dữ liệu trạm quan trắc (gọi là OBS), mô hình EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL. Trong quá khứ, phân bố lượng mưa tương đối đồng đều trên toàn lưu vực, đặc biệt là ở khu vực sông Cầu. Khoảng 90% diện tích lưu vực nhận lượng mưa từ 700 đến 1.100 mm trong mùa mưa. Lượng mưa ở thượng lưu và hạ lưu tương đối thấp, khoảng 900 mm. Một phần lưu vực sông Cầu có lượng mưa lớn nhất, khoảng 1.100 mm, trong khi một

phân lưu vực sông Lục Nam chỉ nhận khoảng 700 mm. Sự phân bố này phù hợp với đặc điểm địa hình của lưu vực, với khu vực thượng lưu là vùng núi cao (trên 3.000 m), tạo điều kiện thuận lợi cho sự hình thành mưa do ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam. Kết quả mô phỏng bằng mô hình dự tính tương lai cho thấy lượng mưa mùa mưa trong tương lai được dự báo sẽ tăng đáng kể so với quá khứ. Theo mô hình HadGEM3-GC31-LL, lượng mưa trung bình mùa mưa giai đoạn 2080-2099 là 681,6 mm, tăng 74,4 mm so với giai đoạn 2000-2019. Trong khi đó, mô hình EC-Earth3 dự báo mức tăng lớn hơn, với lượng mưa trung bình 871,9 mm, tăng 264,5 mm so với quá khứ. Sự gia tăng lượng mưa trong tương lai có thể dẫn đến nguy cơ gia tăng tần suất và cường độ của các trận lũ lụt, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến người dân và kinh tế-xã hội trong khu vực.

So sánh giữa hai mô hình khí hậu, EC-Earth3 cho kết quả mưa phân bố với cường độ lớn hơn và phạm vi rộng hơn so với HadGEM3-GC31-LL, đặc biệt ở khu vực thượng lưu và một phần hạ lưu sông Cầu. Sự khác biệt giữa hai mô hình có thể xuất phát từ sự khác nhau trong cấu trúc, thuật toán, và dữ liệu đầu vào của mỗi mô hình. Tuy nhiên, cả hai mô hình đều cho thấy xu hướng gia tăng lượng mưa trong tương lai, và được kỳ vọng sẽ cung cấp kết quả với độ tin cậy cao.

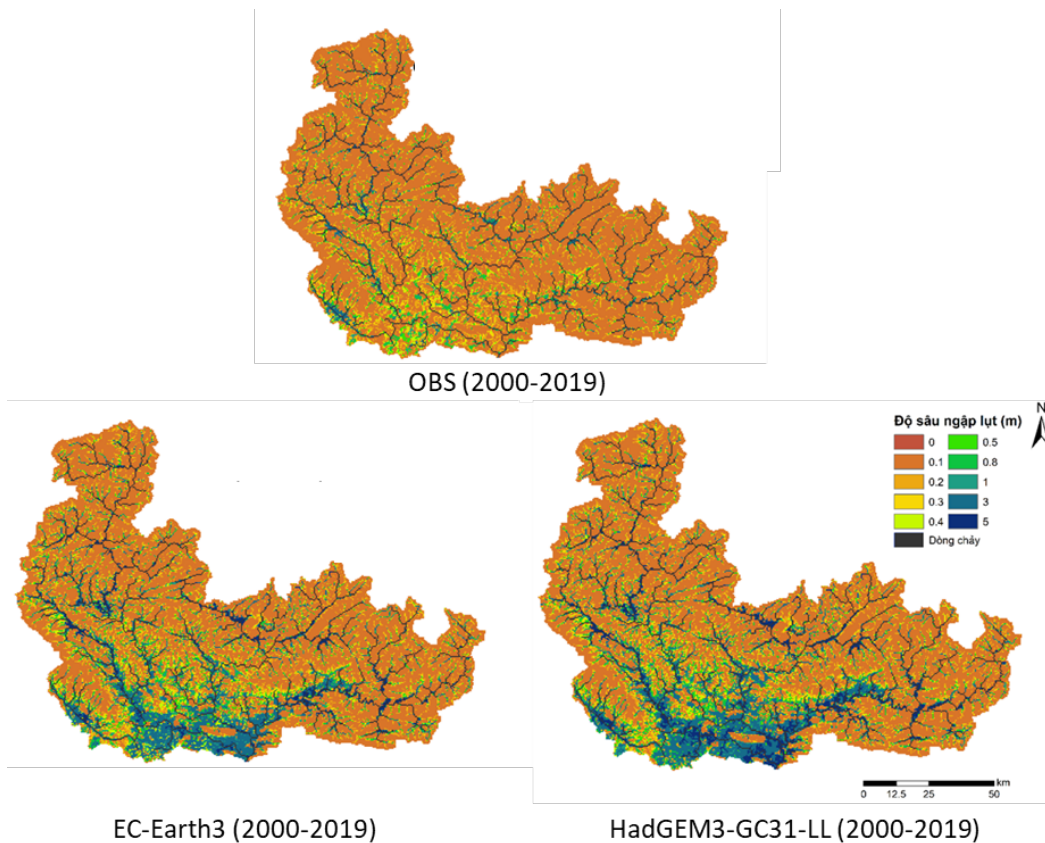


Hình 7. Bản đồ phân bố lượng mưa trong (a) 2000-2019 theo số liệu thực đo; (B) EC-Earth3 giai đoạn 2080-2099; (C) HadGEM3-GC31-LL giai đoạn 2080-2099

3.3. Dự tính về tình trạng ngập úng trên lưu vực CTLN vào cuối thế kỷ 21

Hình 8 so sánh trường hợp ngập lụt xấu nhất có thể xảy ra bằng cách lọc giá trị độ sâu ngập lụt lớn nhất cho từng ô lưới được mô phỏng bằng mô hình RRI cho giai đoạn OBS (200-2019), EC-Earth3 (2080-2099) và HadGEM3-GC31-LL (2080-2099). Kết quả cho thấy sự khác biệt rõ rệt về mức độ ngập lụt trong mùa mưa giữa giai đoạn quá khứ và tương lai. Trong giai đoạn 2000-2019, các vùng ngập lụt có độ sâu không quá lớn, thường nhỏ hơn 0,5m. Tuy nhiên, trong dự báo tương lai của cả hai mô hình EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL, mức độ ngập lụt tăng đáng kể, phổ biến ở mức 0,5 đến 3 m. Trong giai đoạn tham chiếu, mức độ ngập tối đa được dự báo khoảng 1-3 m, chỉ xuất hiện ở một số vùng rất nhỏ nằm trong phạm vi lưu vực sông Cầu, nơi các nhánh

sông hội tụ ở vùng địa hình thoải. Ngược lại, trong các kịch bản tương lai, nhiều vùng được dự báo ngập ở mức độ rất lớn từ 1-3 m, bao phủ hoàn toàn vùng hạ lưu của lưu vực sông. Tại các điểm giao cắt giữa các tuyến sông chính, mức độ ngập có thể lên tới 3-5 m. Đặc biệt, trong mô hình EC-Earth3, toàn bộ các khu vực dọc theo nhánh sông chính đều có mức độ ngập lụt tệ nhất, trên 5 m. Cả hai mô hình EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL đều dự báo độ sâu ngập lụt lớn hơn đáng kể so với quá khứ, tuy nhiên EC-Earth3 cho kết quả ngập lụt nặng nề hơn so với HadGEM3-GC31-LL. Điều này phù hợp với dự báo lượng mưa từ hai mô hình, khi lượng mưa trung bình mùa mưa của EC-Earth3 lớn hơn HadGEM3-GC31-LL hơn 300 mm.



Hình 8. Bản đồ dự báo trường hợp ngập lụt xấu nhất có thể xảy ra cho giai đoạn OBS 2005-2009, dự tính EC-Earth3 2080-2099, HadGEM3-GC31-LL 2080-2099

Phạm vi ngập lụt trên sông Cầu-Thương-Lục Nam theo dự báo từ mô hình RRI thường chỉ giới hạn trong khoảng 0,5 km² ở vùng thượng lưu tại những nơi dòng chảy giao thoa, khoảng 1,5 km² ở vùng trung lưu và 3 km² ở vùng hạ lưu. Tuy nhiên, theo dự báo của EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL, phạm vi ngập lụt được mở rộng đáng kể. Trên các vùng thượng lưu, hai mô hình này dự báo phạm vi ngập lụt có thể tăng lên đến 3 km², trong khi ở các vùng trung lưu và hạ lưu, bán kính ảnh hưởng của vùng ngập có thể lên đến 5 km² và 10 km².

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã ứng dụng mô hình mưa-dòng chảy-ngập lụt (RRI) để đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến lượng mưa và ngập lụt trên lưu vực sông Cầu - Thương - Lục Nam vào cuối thế kỷ 21 theo kịch bản phát thải cao SSP5-8.5. Đầu tiên, kết quả cho thấy mô hình RRI có khả năng mô phỏng chính xác trận lũ lịch sử năm 2008 với các chỉ số đánh giá như hệ số tương

Kỷ yếu Hội thảo khoa học quốc gia “Môi trường nông nghiệp, nông thôn và Phát triển bền vững”

quan Pearson (0,733), sai số giá trị trung bình (6,8%), và hệ số Nash-Sutcliffe (0,57) đạt mức chấp nhận được và tương đương với các nghiên cứu tương tự trên thế giới.

Tiếp theo, hai mô hình khí hậu EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL được sử dụng để dự tính lượng mưa và nhiệt độ cho giai đoạn cuối thế kỷ 21. Cả hai mô hình đều cho thấy xu hướng gia tăng đáng kể lượng mưa trung bình mùa mưa trên lưu vực, với mức tăng khoảng 74-264 mm so với giai đoạn 2000-2019. Đi kèm với lượng mưa tăng, mức độ ngập lụt trên lưu vực cũng được dự báo sẽ trầm trọng hơn nhiều so với hiện tại. Phạm vi ngập lụt có thể mở rộng ra tới vài km so với hiện nay, với độ sâu ngập tại nhiều khu vực lên tới 3-5m.

Mô hình EC-Earth3 cho kết quả dự báo về lượng mưa và ngập lụt nghiêm trọng hơn so với HadGEM3-GC31-LL. Tuy nhiên, cả hai mô hình đều dự báo xu hướng gia tăng nguy cơ ngập lụt trầm trọng trong tương lai nếu không có các biện pháp ứng phó và thích nghi phù hợp. Những kết quả này cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để các nhà hoạch định chính sách đề xuất các giải pháp nhằm nâng cao khả năng chống chịu với hiện tượng ngập lụt do biến đổi khí hậu cho khu vực nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Ahmad, S.S., Simonovic, S.P., 2000. System dynamics modeling of reservoir operations for flood control. *J. Comput. Civ. Eng.* 14, 190–198.
- Baay, C., Asmat, A., Bucini, G., Raymond, C.M., 2022. Integrating global climate models with local landscapes: spatial patterns of climate change exposure in Port Vila, Vanuatu. *Landsc. Ecol.* 37, 1707–1725.
- Bhagabati, S. S., & Kawasaki, A. (2017). Consideration of the rainfall-runoff-inundation (RRI) model for flood mapping in a deltaic area of Myanmar. *Hydrological Research Letters*, 11(3), 155-160.
- Chaney, N.W., Sheffield, J., Villarini, G., Wood, E.F., 2014. Development of a High-Resolution Gridded Daily Meteorological Dataset over Sub-Saharan Africa: Spatial Analysis of Trends in Climate Extremes. *J. Clim.* 27, 5815–5835.
- Dang, N.M., Babel, M.S., Luong, H.T., 2011. Evaluation of food risk parameters in the Day River Flood Diversion Area, Red River Delta, Vietnam. *Nat. Hazards* 56, 169–194.
- Duan, W., He, B., Takara, K., Luo, P., Nover, D., & Hu, M. (2020). Modeling suspended sediment sources and transport in the Mekong River basin using satellite observations and hydrological modeling. *Science of the Total Environment*, 728, 138782.
- Gupta, K., 2020. Flood disaster in Vietnam: Its causes, impacts and prevention. URL <https://www.downtoearth.org.in/blog/natural-disasters/flood-disaster-in-vietnam-its-causes-impacts-and-prevention-73504>
- Huang, H., Simmons, D.R., Zhu, Y., 2022. Forcing Uncertainties in Global Climate Models and Their Implications for Regional Climate Impact Analyses. *J. Clim.* 35, 7491–7508.
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jiang, X., Vignjevic, R., Bourrier, F., Gascoïn, S., Liss, P., 2021. Assessment of global climate models to reproduce snow indicator dates from satellite observations across Switzerland. *Int. J. Climatol.* 41, 3686–3704.
- Medina, M.E.V., Minka, N.S., Borges, P.A. V., 2022. Drought characteristics over Espírito Santo based on bias-corrected CMIP6 simulations. *Meteorol. Appl.* 29, e2106.
- Piem, L.T.P., Puah, C.-H., Crisostomo, M.D.L., 2021. Projected Changes in Rainfall Characteristics over Mindanao, Philippines Based on CMIP6 GCM. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.* 57, 403–414.

Kỷ yếu Hội thảo khoa học quốc gia “Môi trường nông nghiệp, nông thôn và Phát triển bền vững”

- Raliya, R., Yadav, M., Singh, V., Yadav, R.R., Khajuria, A., 2022. Evaluation of CMIP6 and CMIP5 global climate models for temperature and precipitation projection over Indian Hindu Kush Himalaya region. *Clim. Dyn.* 59, 2687–2709.
- Sayama, T., Ozawa, G., Kawakami, T., Nabesaka, S., & Fukami, K. (2012). Rainfall-runoff-inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin. *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), 298-312.
- Sayama, T., Tatebe, Y., Iwami, Y., & Tanaka, S. (2015). Hydrologic sensitivity of flood runoff and inundation: 2011 Thailand floods in the Chao Phraya River basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(7), 1617-1630.
- Tran, D. D., Tran, P. D., Vo, N. D., & Ngo, T. T. T. (2018). Application of rainfall-runoff-inundation model in flood forecasting for the Vu Gia-Thu Bon river basin, Vietnam. *Journal of Water and Climate Change*, 9(3), 574-585.
- Tran-Anh, Q.; Ngo-Duc, T.; Espagne, E.; Trinh-Tuan, L., A 10-km CMIP6 downscaled dataset of temperature and precipitation for historical and future Vietnam climate. *Scientific Data* 2023, 2023, 1-12.
- World Bank. 2021. *Winding Pathway: Vietnam's Remarkable Journey to Upper Middle-Income Status*. World Bank, Washington, DC.
- Zhao, L., Cao, Y., Nan, H., Chen, S., Xia, Y., Zhang, W., Zhou, J., 2020. Performance assessment of CMIP6 GCM for simulating high temperature extremes over China. *Front. Earth Sci.* 14, 551–565.