

# TÍCH HỢP MÔ HÌNH KHÍ HẬU KHU VỰC REGCM VÀ MÔ HÌNH THỦY VĂN WEHY MÔ PHỎNG CHẾ ĐỘ DÒNG CHẢY SÔNG MÊ CÔNG CÓ XÉT ĐẾN BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU VÀ TÁC ĐỘNG TỪ THƯỢNG NGUỒN

Trần Đình Hòa, Nguyễn Thị Thu Thảo,  
Trịnh Quang Toàn, Trịnh Tuấn Long, Đỗ Hoài Nam  
Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

**Tóm tắt:** Biến đổi khí hậu (BĐKH) đã và đang gây ra nhiều tác động bất lợi đến phát triển bền vững của các quốc gia thuộc lưu vực sông Mê Công (MC). Nghiên cứu này đã sử dụng dữ liệu từ các mô hình toàn cầu (GCM) bao gồm NorESM2-MM và CNRM-ESM2-1 làm đầu vào cho mô hình khí hậu khu vực RegCM4 kết hợp cùng mô hình thủy văn WEHY để dự tính dòng chảy tại 05 trạm thủy văn trên lưu vực trong giai đoạn giữa (2031-2050) và cuối thế kỉ XXI (2080-2099). Ngoài ra, để đánh giá các tác động từ thượng nguồn (phát triển thủy điện), một mô-đun (thuộc mô hình Cama-Flood) mô phỏng quy trình vận hành của 15 hồ chứa lớn trên lưu vực đã được tích hợp vào mô hình thủy văn WEHY. Kết quả thu được từ nghiên cứu chỉ ra rằng các tác động từ thượng nguồn có ảnh hưởng rõ rệt đến chế độ dòng chảy trên lưu vực, cụ thể là tăng cường độ vào các tháng mùa khô và giảm vào các tháng mùa lũ. Dự tính từ hai mô hình GCM với hai kịch bản SSP2.45 và SSP5.85 cũng cho thấy trong tương lai dòng chảy trên lưu vực có xu hướng tăng trong giữa và cuối thế kỉ XXI so với giai đoạn cơ sở (1995-2014).

**Từ khóa:** Biến đổi khí hậu, biến đổi dòng chảy, tác động thượng nguồn, mô hình RegCM4, mô hình WEHY

**Summary:** Climate change (CC) adversely impacts the sustainable development of the Mekong River Basin (MC) countries. This study used simulation data from global climate models (GCM), including NorESM2-MM and CNRM-ESM2-1, as inputs for a regional climate model (RegCM4) coupling with a hydrological model (WEHY) to simulate river flow at five hydrological stations in the basin for the mid-century (2031-2050) and the end of the 21st century (2080-2099). Furthermore, to analyse the consequences of upstream hydropower development, a reservoir operation scheme (a module of Cama-Flood model) was integrated into WEHY model to estimate the discharge from 15 large reservoirs in the mainstream MC. The results show that upstream development significantly impacts the flow regime, notably increasing flow during the dry months and decreasing flow during the flooding period. Projections from two GCM models with two scenarios SSP2.45 and SSP5.85 also show that in the future, the flow in the basin tends to increase in the middle and late 21st century compared to the baseline period (1995-2014).

**Keywords:** Climate change, flow variability, upstream impacts, RegCM4 model, WEHY model

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu (BĐKH) đã và đang gây ra những tác động bất lợi ở hầu hết lưu vực sông trên thế giới, trong đó có lưu vực sông Mê Công (MC). Là một trong những con sông lớn, sông Mê Công (MC) có vai trò quan trọng

trong đời sống và sinh kế của người dân ở các vùng phụ cận lưu vực. Tác động của BĐKH ngày một gia tăng, hiện hữu ở vùng châu thổ sông MC, đặc biệt là vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) khi mà những năm gần đây, tình trạng hạn hán và xâm nhập mặn diễn biến ngày càng nghiêm trọng và phức tạp.

Bên cạnh đó, cùng với sự gia tăng dân số, nhu cầu về năng lượng từ việc khai thác thủy điện

Ngày nhận bài: 20/9/2024

Ngày thông qua phản biện: 08/10/2024

Ngày duyệt đăng: 11/10/2024

trên lưu vực MC cũng tăng rất nhanh. Ước tính đến năm 2025 trên lưu vực có khoảng 138 dự án thủy điện, chiếm 21% tổng lượng dòng chảy đến hạ lưu [1]. Việc khai thác thủy điện mặc dù đem lại nguồn lợi kinh tế lớn nhưng các tác động tiêu cực của nó đã và đang trực tiếp đe dọa đến sự phát triển bền vững của vùng hạ lưu. Vận hành hồ chứa trên lưu vực MC đã làm thay đổi chế độ dòng chảy tự nhiên, đặc biệt trong giai đoạn 2001-2015 khi mà các thủy điện của Trung Quốc trên dòng chính của sông MC đi vào hoạt động [2]. Lũ lớn đã giảm đi, lũ vừa và nhỏ có xu hướng tăng. Khi các quy hoạch dự kiến được hoàn thiện ở thượng lưu sẽ có đến 90% số năm lũ có tổng lượng nhỏ hơn tần suất 75% [3]. Ngoài ra, hậu quả của biến đổi chế độ dòng chảy cũng gây ra tình trạng thiếu nước tưới, suy thoái môi trường, giảm tải lượng phù sa và bùn cát, sụt lún, xói lở trên diện rộng ở ĐBSCL đang gây ra tác động tiêu cực đến sản xuất nông nghiệp-thủy sản. Do vậy, nhận diện kịp thời quy luật, những biến động về chế độ dòng chảy trên lưu vực dưới tác động từ thượng nguồn và BĐKH có vai trò vô cùng quan trọng đối với sinh kế và sự phát triển bền vững của lưu vực MC nói chung và ĐBSCL nói riêng.

Lưu vực sông MC vẫn luôn là điểm nóng nhận được nhiều sự quan tâm nghiên cứu cả trong và ngoài nước. Các nghiên cứu về chế độ dòng chảy trong điều kiện BĐKH và tác động từ thượng nguồn còn khá ít [2][4][5][6], các nghiên cứu này đều đánh giá dựa trên dữ liệu lịch sử hoặc các kịch bản phát thải chưa được cập nhật, đặc biệt là các nghiên cứu ở Việt Nam. Bài báo trình bày đánh giá sự biến đổi của chế độ dòng chảy trên lưu vực sông MC dưới tác động từ thượng nguồn trước và sau khi có hồ chứa trên lưu vực) và trong điều kiện BĐKH. Đặc trưng dòng chảy trong tương lai của lưu vực sẽ được mô phỏng dựa trên kết quả từ việc tích hợp mô hình khí hậu khu vực RegCM và mô hình thủy văn WEHY với dữ liệu đầu vào được thu thập dựa trên các Kịch bản chia sẻ kinh tế - xã hội

(SSP) từ dự án CMIP6 do Ủy ban liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC, 2021). Các tác động từ thượng nguồn đến dòng chảy được xem xét thông qua một mô hình mô phỏng quy trình vận hành của các hồ chứa lớn trên lưu vực. Các kết quả nghiên cứu được kì vọng giúp các nhà quản lý chủ động đưa ra phương án thích ứng, quy hoạch và định hướng chiến lược trong phát triển kinh tế-xã hội bền vững của các các quốc gia trong lưu vực.

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Khu vực nghiên cứu

Sông Mê Công (MC) là một trong những con sông xuyên biên giới lớn nhất trên thế giới với chiều dài 4.909km (đứng thứ 12 trên thế giới) chảy qua 6 quốc gia bao gồm Trung Quốc, Lào, Myanmar, Thái Lan, Campuchia và đổ ra biển Đông ở Việt Nam. Vị trí của lưu vực nằm trong khoảng 9 đến 35 độ vĩ Bắc và 93 đến 107 độ kinh Đông (Hình 1). Lưu vực sông MC có tổng diện tích là 795.000km<sup>2</sup>, trong đó phần lớn nằm trên lãnh thổ của bốn quốc gia bao gồm Thái Lan, Lào, Campuchia, Việt Nam với tổng diện tích là 606.000km<sup>2</sup> (chiếm 76% diện tích lưu vực). Là lưu vực sông đứng thứ 10 thế giới về tổng lượng dòng chảy (hàng năm đạt khoảng 475 tỷ m<sup>3</sup>, lưu lượng trung bình khoảng 15.000m<sup>3</sup>/s). Trong đó, khoảng 16% đến từ Trung Quốc và chỉ 2% từ Myanmar, phần hạ lưu thuộc lãnh thổ Việt Nam đóng góp khoảng 11% dòng chảy cho lưu vực.

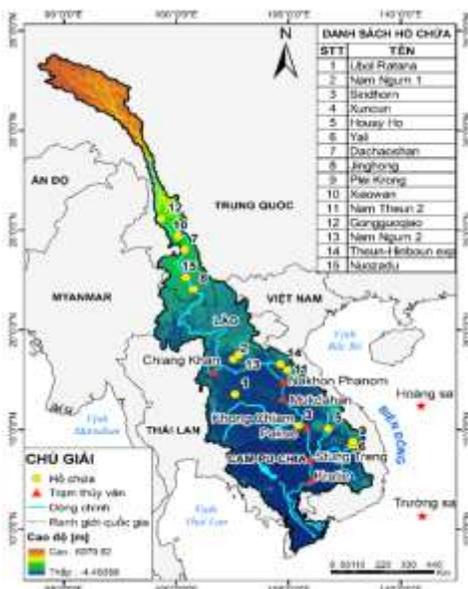
### 2.2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

Do vị trí địa lý đặc biệt cũng như gặp nhiều khó khăn trong việc chia sẻ dữ liệu giữa các quốc gia trong lưu vực, Dữ liệu lượng mưa Châu Á – APHRODITE và số liệu thủy văn tại 05 trạm đo trên lưu vực (Hình 1) được sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

Hai kịch bản SSP2.45 và SSP5.85 từ hai mô hình toàn cầu (GCM) lần lượt là CNRM-EMS2-1 (CNRM) và NorESM2- MM (Nor) thuộc dự án CMIP6 (IPCC) cho hai giai đoạn

gồm giai đoạn giữa thế kỉ XXI (2031-2050) và giai đoạn cuối thế kỉ XXI (2080-2099) được dùng làm đầu vào cho mô hình RegCM. Sản phẩm mưa dự tính từ mô hình RegCM là cơ sở để mô phỏng dòng chảy cho lưu vực trong điều kiện BĐKH của mô hình WEHY. Kết quả mô phỏng này được so sánh với kết quả dòng chảy mô phỏng trong giai đoạn nền từ 1995-2014 với đầu vào là dữ liệu mưa APHRODITE nhằm đánh giá các tác động từ thượng nguồn cũng như BĐKH cho lưu vực.

Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng thêm các dữ liệu khác phục vụ việc thiết lập các mô hình như Dữ liệu độ cao địa hình (DEM) được thu thập tại web Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Dữ liệu đất SoilGrids ở độ phân giải 1km của Trung tâm Thông tin và Thăm khảo đất Quốc tế (International Soil Reference and Information Centre) <https://data.isric.org/geonetwork/srv/en-g/>. Dữ liệu về thảm phủ được sử dụng trong nghiên cứu này là bộ sản phẩm Global Land Cover Characterization (GLCC) của USGS. Dữ liệu độ che phủ lá cây (LAI) được sử dụng là bộ ảnh vệ tinh MCD15A3H và được thu thập tại trang web của USGS <https://lpdaac.usgs.gov/tools/datapool/>.



Hình 1: Bản đồ lưu vực sông Mê Công với các trạm thủy văn và các hồ chứa được

lựa chọn trong nghiên cứu

### 2.3. Thiết lập mô hình RegCM

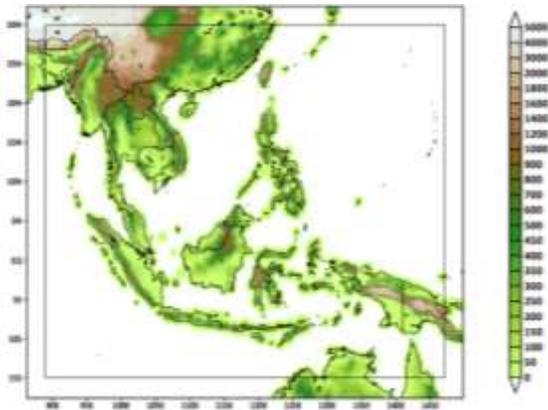
Trong nghiên cứu này, mô hình RegCM phiên bản 4 được sử dụng để dự tính sự thay đổi của các yếu tố khí tượng diễn ra trên lưu vực MC. Cấu trúc miền tính cho lưu vực bao gồm hai lưới tính toán với độ phân giải lần lượt là 36km và 25km. Miền tính có diện tích khoảng 30 độ x 35 độ (Hình 2). Bước thời gian phân tích lần lượt là 100s và 30s.

Mô hình RegCM được thiết lập với đầu vào bao gồm số liệu thảm phủ toàn cầu (GLCC), số liệu độ cao địa hình và các yếu tố khí tượng từ các mô phỏng của các GCM trong các giai đoạn nghiên cứu.

### 2.4. Thiết lập mô hình WEHY

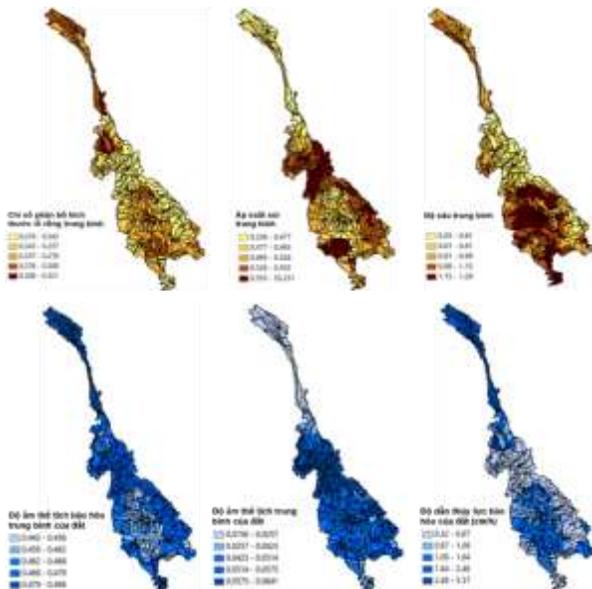
Mô hình WEHY là một trong số ít mô hình thủy văn được xây dựng dựa vào bản chất vật lý của các quá trình thủy văn dựa trên phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng hoặc năng lượng dòng chảy [7] [8] [9]. Được phát triển từ năm 2004 bởi nhóm nghiên cứu thủy văn thủy lực trường đại học tổng hợp UC Davis (Hoa Kỳ), mô hình WEHY có khả năng mô phỏng các quá trình vật lý từ quá trình mưa, quá trình thấm, quá trình tuyết tan và quá trình hình thành dòng chảy mặt, diễn toán trên sông. Thêm vào đó, ưu điểm nổi bật của mô hình WEHY là cho phép kết nối trực tiếp và linh hoạt với các mô hình khí tượng, đặc biệt là các mô hình động lực (dynamic downscaling). Vậy nên, việc mô phỏng các tương tác giữa khí quyển và lưu vực là khá chính xác, nâng cao hiệu quả trong việc dự tính dòng chảy. Đến nay, mô hình WEHY đã được tích hợp thành công với các mô hình khí tượng (WRF, MM5) và được ứng dụng ở nhiều quốc gia trên thế giới như Mỹ, Canada, Nhật, Malaysia, Thổ Nhĩ Kỳ, Syria, Iraq, Iran, Hàn Quốc. Ngoài mô phỏng dòng chảy, các nghiên cứu về hạn hán, khô hạn phục số liệu dòng chảy, khôi phục số liệu bốc hơi, và tính toán dòng chảy ngầm, dự báo mưa cũng được khai thác thông qua bộ mô hình tích

hợp khí tượng thủy văn này [10] [11] [5] [12].



Hình 2: Phạm vi miền tính của mô hình RegCM

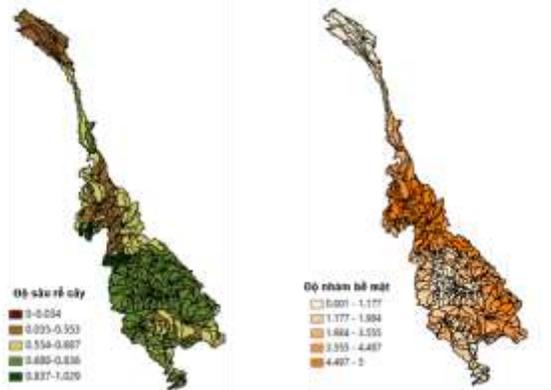
Dữ liệu đầu vào của mô hình WEHY bao gồm dữ liệu địa hình, dữ liệu đất và dữ liệu thảm phủ. Trong đó, toàn bộ lưu vực MC được phân chia thành 306 đơn vị tính toán (MCU) và 105 mạng dòng chảy dựa trên dữ liệu ASTER Global DEM.



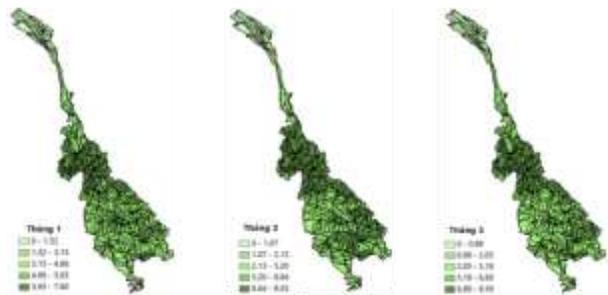
Hình 3: Các thông số thủy lực của đất ở lưu vực sông MC

Sau khi hoàn tất việc phân chia, các thông số về đất như độ dẫn thủy lực, áp suất sủi, độ dẫn thủy lực bão hòa... của lưu vực được tính toán và thiết lập theo dữ liệu SoilGrids ở độ phân giải 1km. Các thông số này quyết định đến quá

trình thấm và hình thành dòng chảy, được biểu diễn như Hình 3.



Hình 4: Bản đồ thông số độ sâu rễ cây và độ nhám bề mặt của lưu vực MC



Hình 5: Bản đồ phân bố thông số độ che phủ lá cây (LAI) trung bình từ tháng 1 đến tháng 3 trên lưu vực sông MC

Thảm phủ/thảm thực vật có vai trò quan trọng trong việc phân chia lượng mưa thành dòng chảy và thoát hơi nước [13] [14] [15]. Các thông số như diện tích che phủ lá cây (LAI), độ nhám bề mặt (SR), độ sâu rễ cây (DR) được ước tính riêng cho từng MCU cho lưu vực MC và thể hiện trên các bản đồ phân bố trong Hình 4 và Hình 5.

**2.5. Thiết lập mô hình vận hành hồ chứa**

Ngoài ra, để phân tích và đánh giá các tác động từ thượng nguồn, một mô-đun mô phỏng quy trình vận hành hồ chứa thuộc mô hình CAMA-FLOOD [16] được tích hợp với mô hình WEHY để dự tính dòng chảy cho lưu vực thông qua ngôn ngữ lập trình Python và Fortran. Quy trình tính toán được thực hiện

cho 15 hồ chứa lớn (Hình 1) có năm vận hành tính đến năm 2015 trên lưu vực MC được thực hiện như sau:

(1) Tính toán giá trị lưu lượng dòng chảy vào hồ chứa và trung bình dài hạn phân vị 30% của lưu lượng dòng chảy ( $Q_{turbine}$ )

(2) Tính toán dung tích chứa tạm thời nếu không xả:

$$tmpS1 = damSTOR(t) + Qin(t) \quad (1)$$

(3) Tính toán dung tích tạm thời trong bước thời gian tiếp theo nếu lưu lượng xả là  $Q_{turbine}$ :

$$tmpS2 = tmpdS - Q_{turbine} \quad (2)$$

(4) Tính toán lưu lượng xả cuối:

$$damS[t+1] = \min(\max(tmpS2, \min S), \max S) \quad (3)$$

(5) Cập nhật  $Q_{turbine}$  = lưu lượng dòng chảy của đập

Trong đó,  $\min S$  và  $\max S$  được đặt là 10% và 100% tổng dung lượng của hồ chứa để mô phỏng dung tích chết và dung tích hữu ích.

Dòng chảy tự nhiên trong điều kiện không có hồ chứa từ mô hình WEHY sẽ là biên đầu vào để xác định dòng chảy đến các hồ chứa và ước lượng lượng xả tại hạ lưu của hồ. Kết quả dòng chảy tại hạ lưu hồ chứa này tiếp tục làm cơ sở để tính toán lưu lượng xả của hồ chứa kế tiếp trên lưu vực. Quy trình này được tiến hành tuần tự theo phân bố không gian của các hồ chứa, từ thượng lưu đến hạ lưu; dòng chính đến dòng nhánh và theo năm vận hành của các hồ chứa.

## 2.6. Đánh giá hiệu quả mô hình

Để phân tích và đánh giá độ tin cậy của kết quả từ dữ liệu đầu ra của mô hình với các dữ liệu thực đo, nghiên cứu sử dụng chỉ số hiệu quả Nash-Sutcliffe (NSE) [1] và hệ số tương quan  $R^2$ . Các hệ số này được tính toán dựa trên

các công thức được trình bày sau đây. Mức độ chính xác của các chỉ số được trình bày tóm tắt như trong Bảng 1.

**Bảng 1: Chỉ tiêu đánh giá mức độ chính xác của kết quả mô hình theo các chỉ số [3]**

Mức độ	NSE	$R^2$
Rất tốt	$0,75 < NSE \leq 1,00$	$0,75 < NSE \leq 1,00$
Tốt	$0,65 < NSE \leq 0,75$	$0,65 < NSE \leq 0,75$
Đạt	$0,5 < NSE \leq 0,65$	$0,5 < NSE \leq 0,65$
Không đạt	$NSE \leq 0,50$	$NSE \leq 0,50$

Hệ số hiệu quả (Nash Sutcliffe Efficiency - NSE) được sử dụng để đo mức độ liên kết giữa các giá trị thực đo và mô phỏng và có công thức là:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

NSE được xác định trong khoảng  $(-\infty \div 1)$ , với  $NSE = 1$  là kết quả hoàn hảo nhất khi giá trị tính toán bằng giá trị thực đo. Chỉ số NSE gần hoặc nhỏ hơn 0, kết quả mô phỏng kém so với giá trị thực đo.

Hệ số tương quan  $R^2$  phản ánh mối quan hệ tuyến tính giữa bộ dữ liệu thực đo và quan sát và có công thức như sau:

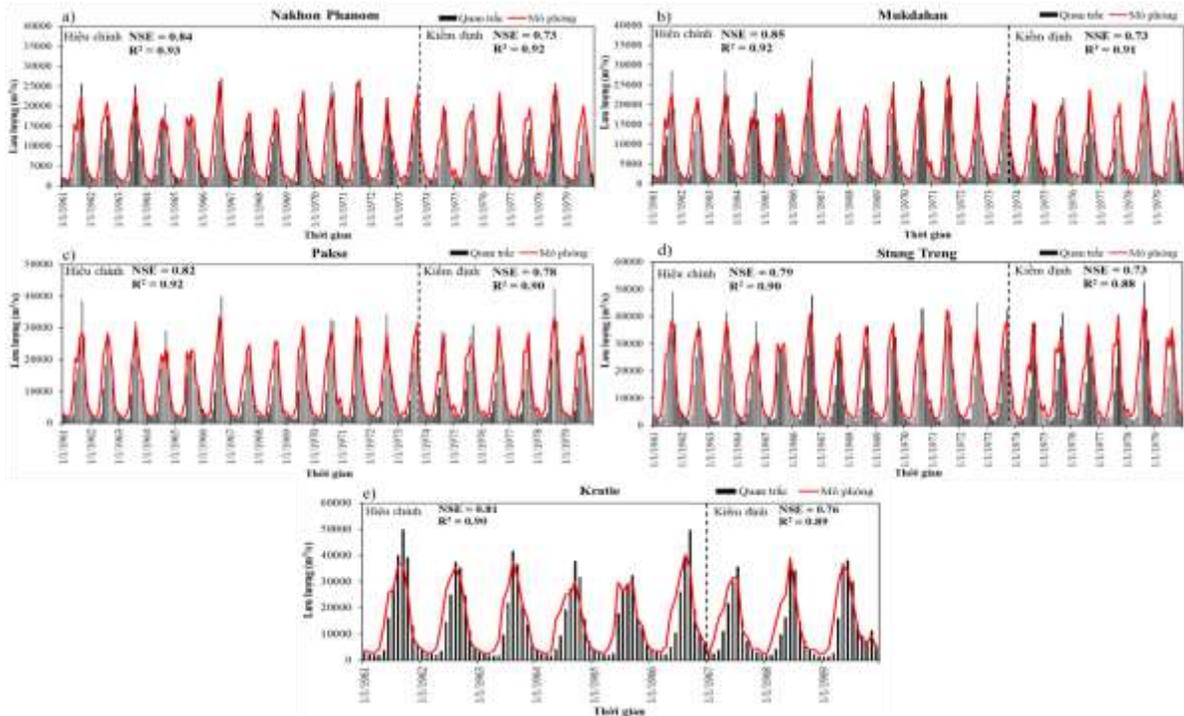
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - Q_i)^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}} \quad (5)$$

Hệ số tương quan  $R^2$  bao giờ cũng dương và nằm trong phạm vi từ 0 đến 1. Giá trị  $R^2$  lớn hay nhỏ thể hiện quan hệ giữa dự báo và thực đo.

Trong đó:  $Q_i$  là giá trị lưu lượng mô phỏng của mô hình tại thời điểm  $i$ ;  $\bar{Q}$  là giá trị trung bình của dữ liệu mô phỏng;  $O_i$  là giá trị thực đo tại

thời điểm  $I$ ;  $\bar{O}$  là giá trị trung bình của dữ liệu thực đo;  $n$  là số các giá trị quan trắc

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 6: Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định dòng chảy tại một số trạm thủy văn trên lưu vực nghiên cứu

Việc hiệu chỉnh, kiểm định dòng chảy được thực hiện tại 05 trạm thủy văn trên lưu vực MC bao gồm Nakhon Phanom, Mukdahan, Pakse, Stung Treng và Kratie. Trừ trạm Kratie do thiếu số liệu đo, nghiên cứu thực hiện hiệu chỉnh trong giai đoạn 1961-1966 và kiểm định trong giai đoạn từ 1967-1969, hai giai đoạn tương ứng với các trạm còn lại lần lượt là 1961-1973 và 1974-1979. Đây là các giai đoạn dòng chảy trên lưu vực chịu ít tác động của hồ chứa, do đó, dòng chảy tự nhiên được mô phỏng bởi mô hình WEHY sẽ có độ tin cậy cao.

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định dòng chảy khi chưa có tác động của hồ chứa đều cho thấy mô hình mô phỏng tương đối tốt (Hình 6). Ở giai đoạn hiệu chỉnh, chỉ số  $R^2$  và NSE dao động từ 0.79-0.93. Trong giai đoạn kiểm định, khoảng giá trị này giảm nhẹ trong khoảng 0.73-0.92 nhưng nhìn chung kết quả vẫn đạt

### 3.1. Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình tích hợp

mức tốt đến rất tốt. Điều này cho thấy kết quả mô phỏng khá sát với thực tế và mô hình tích hợp có độ tin cậy cao trong nghiên cứu trên lưu vực MC và có thể ứng dụng trong các bước tiếp theo.

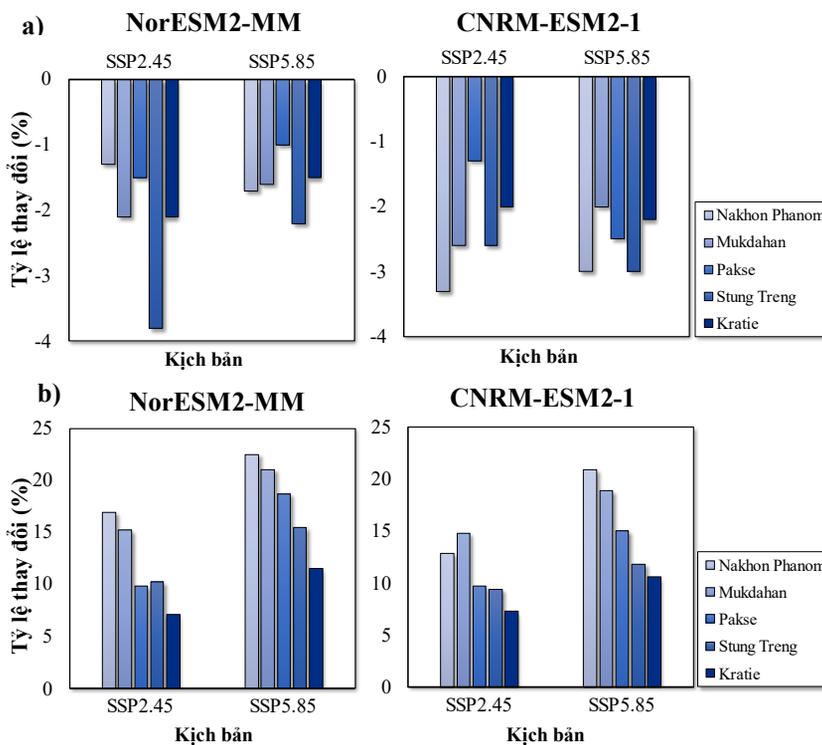
### 3.2. Kết quả dự tính dòng chảy trong điều kiện BĐKH, không xét đến tác động từ thượng nguồn

Khi chưa có tác động từ thượng nguồn (hồ chứa), biến trình lưu lượng hàng tháng (Hình 7) tại các trạm thủy văn trong nghiên cứu tập trung chủ yếu vào mùa lũ (tháng 5 - 11) và giảm dần vào các tháng mùa khô (tháng 12 đến tháng 4 năm sau). Theo kết quả dự đoán từ hai mô hình, tổng dòng chảy năm trên lưu vực sông MC tại các điểm nghiên cứu có xu hướng tăng ở cả hai giai đoạn trong tương lai. Mô hình CNRM cho thấy mức tăng trung bình 3% và 6% tổng lượng dòng chảy trong tương lai

gần theo kịch bản SSP2.45 và SSP5.85 so với giai đoạn nền. Mô hình Nor cho kết quả dự tính ở mức tăng 5 - 10% tương ứng với kịch bản SSP2.45 và SSP5.85.

Trong đó, lưu lượng dòng chảy trung bình hàng năm tại các trạm thượng nguồn và hạ nguồn tăng lần lượt là 8% (trạm Nakhon Phanom và Mukdahan) và 4.6% (trạm Pakse, Stung Treng và Kratie) theo các kịch bản của hai mô hình ở giữa và cuối

thế kỉ XXI (Hình 8). Dưới tác động của BĐKH, xét trong điều kiện chưa có tác động của hồ chứa, lưu lượng đến các trạm có xu hướng tăng mạnh vào mùa lũ, nhất là vào giai đoạn 2080-2099 và với kịch bản SSP5.85. Mùa kiệt lưu lượng dòng chảy có xu hướng tăng nhẹ, nhưng nhìn chung vẫn giảm so với giai đoạn nền trong khoảng 1.8 - 2.5% tương ứng với các kịch bản SSP2.45 và SSP5.85.



Hình 7: Tỷ lệ thay đổi dòng chảy theo mùa (%) trung bình cho hai giai đoạn 2031-2050 và 2080-2099 so với giai đoạn 1995-2014 xét trong điều kiện chưa có tác động từ hồ chứa: a) mùa kiệt và b) mùa lũ

### 3.3. Kết quả dự tính dòng chảy trong điều kiện BĐKH có xét đến tác động từ thượng nguồn

Hình 9 biểu diễn đường biến trình lưu lượng trung bình tháng nhiều năm tại các trạm nghiên cứu xét trong điều kiện có tác động của thượng nguồn cho thấy dòng chảy cơ sở có sự biến động rõ rệt so với giai đoạn hồ chứa chưa đi vào hoạt động (Hình 8). Xu

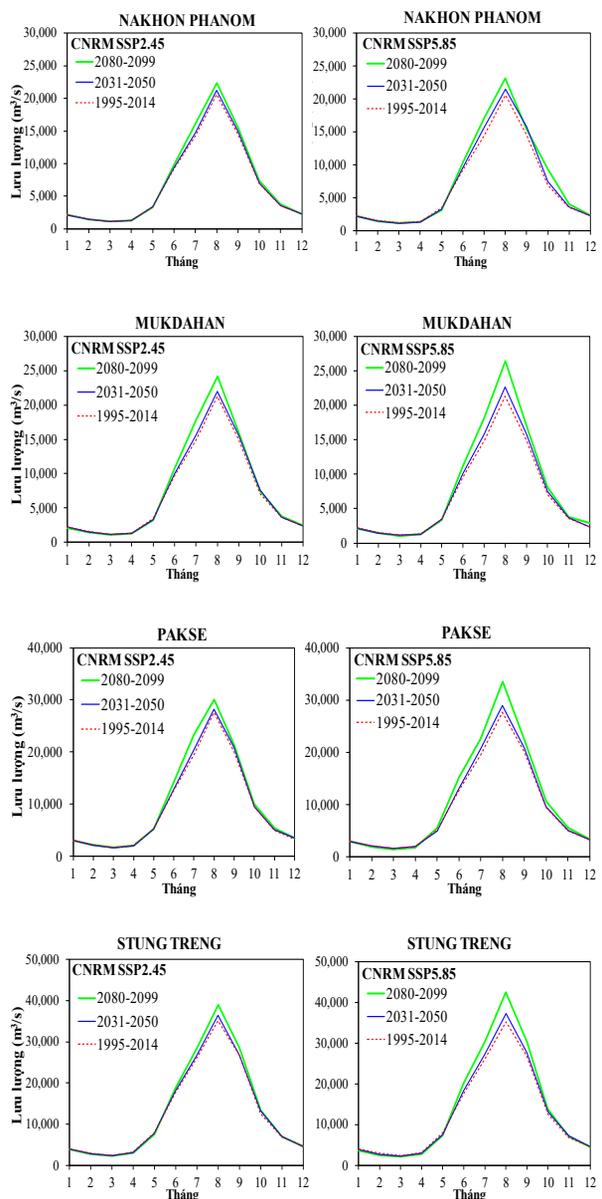
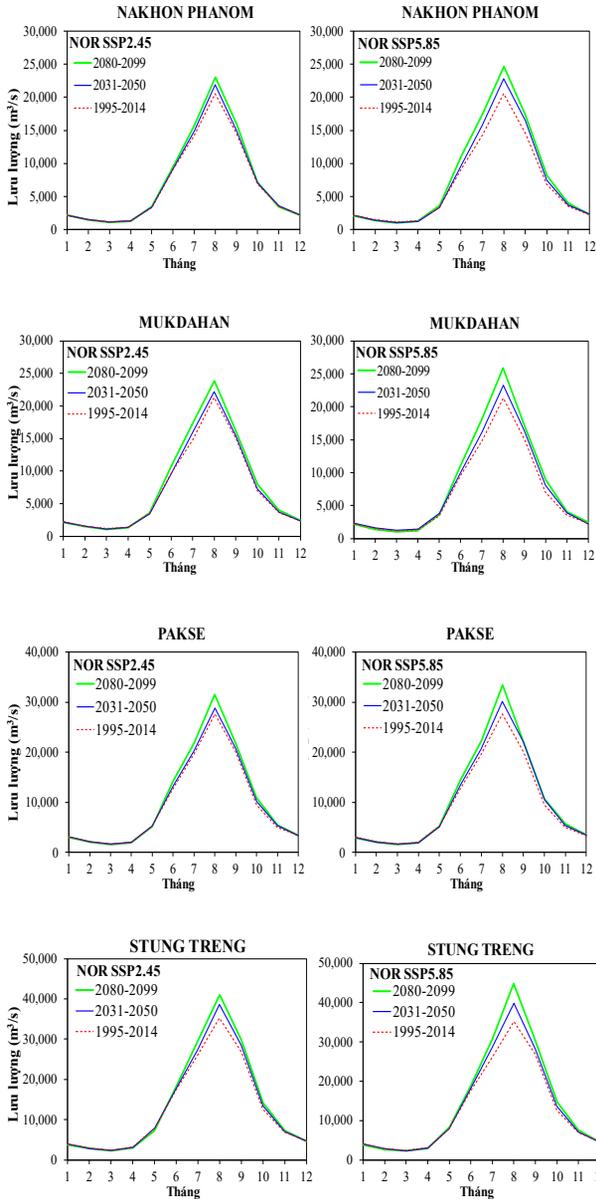
hướng tăng cường động vào các tháng mùa kiệt và giảm vào các tháng mùa lũ. Cụ thể, biến trình dòng chảy có thiên hướng dịch chuyển về phía bên phải: cường độ dòng chảy vào đầu mùa lũ giảm (tháng 5-6), tăng vào các tháng cuối mùa (tháng 10-11) và các tháng mùa khô (tháng 1-4); giá trị lưu lượng đỉnh giảm và có sự biến dạng đỉnh (dạng phẳng hơn).

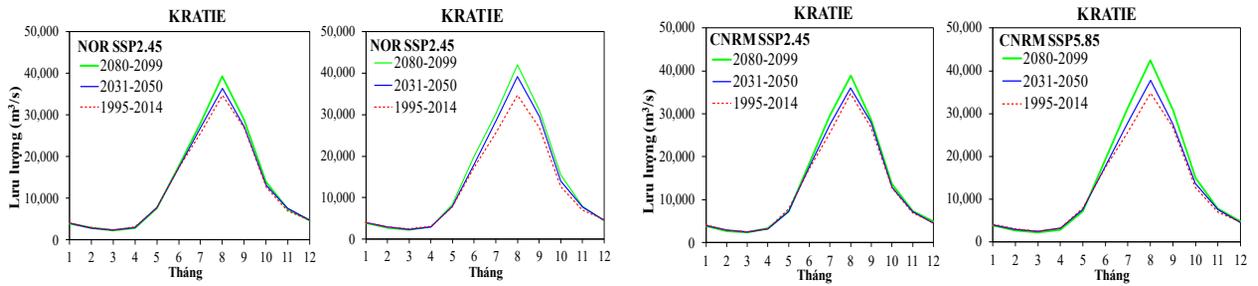
Xu hướng chung của các kịch bản đều tăng cường độ dòng chảy so với giai đoạn 1995-2014. Đối với giai đoạn giữa thế kỉ (2031-2050), có sự giảm nhẹ của lưu lượng ở hầu hết các trạm trên lưu vực vào các tháng 5, 6, 7

trong khi ở cuối thế kỉ, giá trị này đều tăng vào tất cả các tháng trong năm theo kịch bản SSP2.45. Đối với kịch bản còn lại, trong một số trường hợp, dòng chảy có thể giảm ở các tháng 6 và tháng 10.

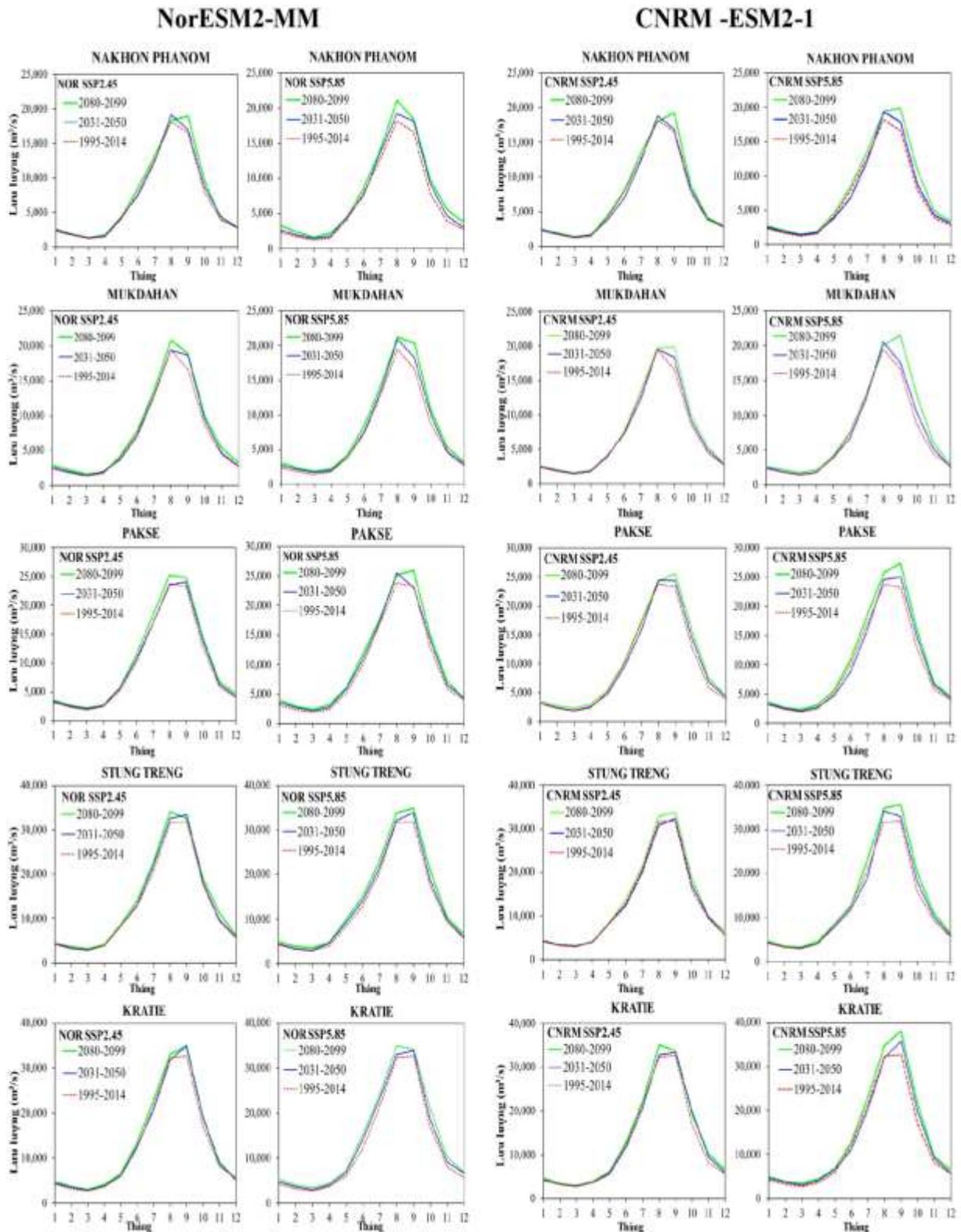
**NorESM2-MM**

**CNRM -ESM2-1**

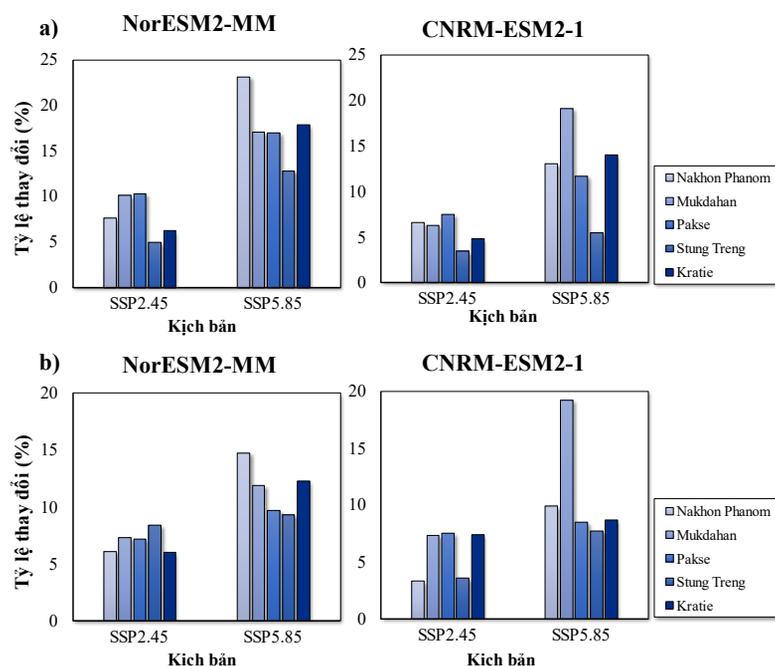




Hình 8: Biến trình lưu lượng tháng trung bình nhiều năm ở các thời kỳ khí hậu tương lai so với thời kỳ nền 1995-2014 theo dự tính của mô hình khí hậu NOR và CNRM xét trong điều kiện không có tác động từ thượng nguồn



Hình 9: Biến trình lưu lượng tháng trung bình nhiều năm ở các thời kỳ khí hậu tương lai so với thời kì nền 1995-2014 theo dự tính của mô hình khí hậu NOR và CNRM xét trong điều kiện có tác động từ thượng nguồn



Hình 10: Tỷ lệ thay đổi dòng chảy theo mùa (%) trung bình cho hai giai đoạn 2031-2050 và 2080-2099 so với giai đoạn 1995-2014 xét trong điều kiện có tác động từ hồ chứa:  
a) Mùa kiệt và b) Mùa lũ

Biến động dòng chảy theo mùa có sự tăng lưu lượng đáng kể vào mùa khô so với giai đoạn nền (Hình 10). Trong đó, kịch bản SSP2.45 có mức tăng trung bình lần lượt là 7.8% và 5.7% tương ứng với mô hình NOR và CNRM. Với kịch bản SSP5.85 giá trị tương ứng xấp xỉ 17.6% và 12.7%. Lưu lượng mùa lũ tăng trong khoảng từ 3-10% ở kịch bản SSP2.45 và từ 5.5-19% ở kịch bản SSP5.85.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong bối cảnh BĐKH diễn biến ngày một phức tạp cũng như các tác động tiêu cực đến từ thượng nguồn do phát triển thủy điện, việc nghiên cứu và nắm bắt sự biến động dòng chảy của lưu vực và các tác động của các yếu tố này có vai trò vô cùng quan trọng, cấp thiết trong việc phát triển bền vững của lưu vực MC. Nghiên cứu này đã kết hợp thành công bộ mô hình khí tượng RegCM4 và mô hình thủy văn WEHY nhằm dự tính dòng chảy trong tương lai trong các giai đoạn giữa và cuối thế kỉ XXI. Bên cạnh đó, các tác

động từ thượng nguồn cũng được đánh giá thông qua việc tích hợp mô-đun mô phỏng quy trình vận hành hồ chứa cho 15 hồ chứa lớn trên lưu vực MC. Kết quả của nghiên cứu chỉ ra rằng việc khai thác thủy điện có tác động đáng kể đến biến trình dòng chảy của lưu vực, lưu lượng vào đầu mùa lũ có xu hướng giảm (tháng 5-6) và tăng vào các tháng cuối mùa (tháng 10-11) và mùa khô (tháng 1-4), giá trị lưu lượng đỉnh giảm và có sự biến dạng đỉnh (dạng phẳng hơn).

Trong trường hợp có và không có tác động từ thượng nguồn, lưu lượng dòng chảy trong tương lai đều có xu hướng tăng ở cả hai kịch bản SSP2.45 và SSP5.85 ứng với các mô hình NOR và CNRM so với giai đoạn nền (1995-2014). Mô hình NOR dự tính tổng lượng dòng chảy đến các trạm thường cao hơn so với mô hình CNRM. Riêng với giai đoạn 2031-2050 xét trong điều kiện có tác động từ thượng nguồn, kịch bản SSP2.45 dòng chảy có sự giảm nhẹ vào các tháng đầu mùa lũ (tháng 5, 6). Biến động dòng chảy theo mùa có sự biến

động lưu lượng vào mùa khô với cường độ dao động từ 5.7-7.8% với kịch bản SSP2.45 và 12-17% với kịch bản SSP5.85. Cường độ dòng chảy mùa lũ tăng trong khoảng từ 3-10% ở kịch bản SSP2.45 và từ 5.5-19% ở kịch bản SSP5.85.

Kết quả nghiên cứu mới chỉ dừng lại ở việc đánh giá tác động của thượng nguồn trên dòng chính và dự tính biến đổi về dòng chảy trên lưu vực trong tương lai dựa vào các mô hình NOR và CNRM. Tuy nhiên, các kết quả nghiên cứu là nguồn tham khảo tốt cho các nghiên cứu tiếp theo về dòng chảy trên lưu vực cũng như góp phần giúp các nhà quản lý đưa ra

các chiến lược phù hợp trong việc phát triển bền vững lưu vực sông MC.

#### LỜI CẢM ƠN:

Nhóm tác giả chân thành gửi lời cảm ơn đến Bộ Khoa học và Công nghệ đã tài trợ kinh phí thực hiện nhiệm vụ Nghị định thư Việt Nam-Hàn Quốc “Nghiên cứu tích hợp mô hình Khí tượng-Thủy văn-Đại dương và xây dựng cơ sở dữ liệu lớn để đánh giá và dự tính đặc trưng dòng chảy, hạn hán và xâm nhập mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long có xét đến biến đổi khí hậu và tác động từ thượng nguồn” (Mã số: NĐT/KR/21/18).

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. S. Hecht, G. Lacombe, M. E. Arias, T. D. Dang, and T. Piman, ‘Hydropower dams of the Mekong River basin: A review of their hydrological impacts’, *Journal of Hydrology*, vol. 568, pp. 285–300, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.045.
- [2] Tô Quang Toàn and Tăng Đức Thắng, ‘Phân Tích Ảnh Hưởng Của Các Hồ Đập Thượng Lưu Đến Thay Đổi Thủy Văn Dòng Chảy Mùa Khô Về Châu Thổ Mê Công’.
- [3] Tăng Đức Thắng, Tô Quang Toàn, Trần Bá Hoàng, Nguyễn Đình Vượng, Trần Minh Tuấn, and Lê Văn Thịnh, ‘Một số vấn đề về dòng chảy và xu thế xâm nhập mặn vùng đồng bằng sông Cửu Long’. Tạp chí Khoa học và công nghệ thủy lợi, 2020.
- [4] Tô Quang Toàn, T. Tô Đức, and T. Phạm Khắc, ‘Phân tích ảnh hưởng của các hồ đập thượng lưu đến thay đổi đỉnh lũ ở đồng bằng sông Cửu Long’, *Tạp Chí Thủy lợi và Môi trường*, Mar. 2016.
- [5] M. Amin *et al.*, ‘Future climate change impact assessment of watershed scale hydrologic processes in Peninsular Malaysia by a regional climate model coupled with a physically-based hydrology model’, *Science of The Total Environment*, vol. 575, pp. 12–22, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.009.
- [6] H. Lauri, H. de Moel, P. J. Ward, T. A. Räsänen, M. Keskinen, and M. Kummu, ‘Future changes in Mekong River hydrology: impact of climate change and reservoir operation on discharge’, *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 16, no. 12, pp. 4603–4619, Dec. 2012, doi: 10.5194/hess-16-4603-2012.
- [7] Hồ V. C., Nguyễn N. Q., and Trịnh Q. T., ‘Tính toán và khôi phục chuỗi số liệu dòng chảy cho lưu vực sông Thao (bao gồm cả phần lãnh thổ Trung Quốc) bằng bộ mô hình khí tượng thủy văn kết hợp WEHY-WRF’, 2017, Accessed: Nov. 06, 2022. [Online]. Available: <http://scholar.dlu.edu.vn/thuvienso/handle/DLU123456789/73817>
- [8] D. H. Nam, D. T. Mai, K. Udo, and A. Mano, ‘Short-term flood inundation prediction using hydrologic-hydraulic models forced with downscaled rainfall from global NWP’, *Hydrological processes*, 2014, Accessed: Mar. 20, 2022. [Online]. Available:

<https://doi.org/10.1002/hyp.10084>

- [9] Đoàn Quang Trí, ‘Ứng dụng mô hình thủy văn - thủy lực kết hợp mưa dự báo IFS phục vụ cảnh báo lũ, ngập lụt hạ lưu sông Vu Gia - Thu Bồn’. Tạp chí Khí tượng Thủy văn số 703, 2019.
- [10] T. E. Adams and T. Pagano, *Flood Forecasting: A Global Perspective*. Academic Press, 2016.
- [11] J. Yoshitani, Z.-Q. Chen, M. Kavvas, and K. Fukami, ‘Atmospheric Model-Based Streamflow Forecasting at Small, Mountainous Watersheds by a Distributed Hydrologic Model: Application to a Watershed in Japan’, *Journal of Hydrologic Engineering - J HYDROL ENG*, vol. 14, Oct. 2009, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000111.
- [12] M. Gorguner, M. L. Kavvas, and K. Ishida, ‘Assessing the impacts of future climate change on the hydroclimatology of the Gediz Basin in Turkey by using dynamically downscaled CMIP5 projections’, *Science of The Total Environment*, vol. 648, pp. 481–499, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.167.
- [13] Z. K. Tesemma, Y. Wei, M. C. Peel, and A. W. Western, ‘The effect of year-to-year variability of leaf area index on Variable Infiltration Capacity model performance and simulation of runoff’, *Advances in Water Resources*, vol. 83, pp. 310–322, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.advwatres.2015.07.002.
- [14] ‘Hydrology: catchment vegetation and runoff - Murray C. Peel, 2009’. Accessed: Nov. 06, 2022. [Online]. Available: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309133309350122>
- [15] ‘Influence of MODIS-Derived Dynamic Vegetation on VIC-Simulated Soil Moisture in Oklahoma in: Journal of Hydrometeorology Volume 14 Issue 6 (2013)’. Accessed: Nov. 06, 2022. [Online]. Available: [https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/14/6/jhm-d-13-037\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/14/6/jhm-d-13-037_1.xml)
- [16] ‘Manual\_CaMa-Flood\_v362.pdf’. Accessed: Mar. 06, 2024. [Online]. Available: [https://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/CaMa-Flood\\_v3.6/Manual\\_CaMa-Flood\\_v362.pdf](https://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/CaMa-Flood_v3.6/Manual_CaMa-Flood_v362.pdf)