

Bài báo khoa học

Đánh giá sự phù hợp của một số mô hình khí hậu toàn cầu CMIP6-GCMs trong mô phỏng lượng mưa và nhiệt độ trên lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai

Phạm Hùng^{1*}, Nguyễn Thị Ngọc Quyên², Lê Văn Trung^{3,4}, Võ Lê Phú^{3,4*}

¹ Sở Tài nguyên và Môi trường Lâm Đồng, 36 Trần Phú, Tp. Đà Lạt, Lâm Đồng;
hungmtk25@gmail.com

² Khoa Nông Lâm nghiệp, Đại học Tây Nguyên, 567 Lê Duẩn, Tp. Buôn Ma Thuột, Đắk Lắk;
ntnquyen@ttn.edu.vn

³ Khoa Môi trường và Tài nguyên, Trường Đại học Bách Khoa, 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, TP HCM; lvtrung@hcmut.edu.vn; volephu@hcmut.edu.vn

⁴ ĐHQG Thành phố Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Tp. Thủ Đức, Tp. HCM

*Tác giả liên hệ: hungmtk25@gmail.com; volephu@hcmut.edu.vn; Tel.: +84–886138809

Ban Biên tập nhận bài: 15/2/2024; Ngày phản biện xong: 19/3/2024; Ngày đăng bài: 25/6/2024

Tóm tắt: Hiệu suất của các mô hình hoàn lưu khí hậu toàn cầu (GCMs) có thể khác nhau khi mô phỏng ở các vùng khác nhau. Do đó, việc lựa chọn mô hình phù hợp cho nghiên cứu về biến đổi khí hậu là rất cần thiết. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá sự phù hợp của 7 GCMs và kết quả tổng thể của chúng theo dự án đối chứng các mô hình khí hậu lần thứ 6 (CMIP6) đã được chi tiết hóa cho Việt Nam áp dụng tại lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai trong việc mô phỏng lượng mưa và nhiệt độ bề mặt. Dữ liệu quan trắc giai đoạn 1980–2014 đã sử dụng để đánh giá hiệu quả mô phỏng của các mô hình thông qua các chỉ số thống kê gồm: Độ lệch phần trăm, độ lệch chuẩn, sai số bình phương trung bình gốc, hệ số tương quan Pearson (R), và biểu đồ Taylor. Kết quả cho thấy các GCMs có hiệu suất mô phỏng khác nhau theo tùy thuộc vào yếu tố độ cao và địa hình của khu vực. Bên cạnh đó, giá trị trung bình tổng thể của các mô hình cho kết quả so sánh tốt hơn so với từng mô hình riêng lẻ. Trong đó, năm mô hình tốt nhất để mô phỏng nhiệt độ và lượng mưa ở khu vực nghiên cứu lần lượt là: EC-Earth3-Veg, CanESM5, EC-Earth3, HadGEM3-GC31-LL, và CNRM-CM6-1-HR.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu; CMIP6; Mô hình khí hậu toàn cầu; So sánh mô hình khí hậu; Thượng nguồn sông Đồng Nai.

1. Mở đầu

Từ đầu thập niên 90 của thế kỷ trước, nhiều nghiên cứu về hiệu ứng nhà kính, sự nóng lên toàn cầu và những dấu hiệu của biến đổi khí hậu (BĐKH) đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới tìm hiểu và đánh giá. Cho tới nay, Ủy Ban Liên Chính phủ về Biến đổi khí hậu (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) đã thực hiện 6 lần xây dựng và cập nhật kịch bản BĐKH thông qua các công bố về báo cáo đánh giá BĐKH toàn cầu: Lần thứ nhất (FAR) năm 1990 [1], lần thứ hai (SAR) năm 1995 [2], lần thứ ba (TAR) năm 2001 [3], lần thứ tư (AR4) năm 2007 [4], lần thứ năm (AR5) năm 2013 [5] và lần gần đây nhất là báo cáo lần thứ sáu (AR6) năm 2021 [6]. Trong đó, báo cáo AR6 được xây dựng dựa trên cách tiếp cận chia sẻ kinh tế - xã hội (*Shared Socioeconomic Pathways - SSP*) với 5 kịch bản (KB) chính gồm [7, 8]: (i) “KB bền vững” với SSP1-1.9 đặt mục tiêu đạt phát thải ròng khí nhà

kinh bằng không (*net zero*) vào khoảng giữa thế kỷ này và SSP1-2.6 đặt mục tiêu cân bằng lượng phát thải và hấp thụ khí nhà kính (*net zero*) trong nửa sau của thế kỷ này [9]; (ii) “KB trung bình” SSP2-4.5 mô tả sự phát triển kinh tế xã hội dựa trên xu hướng của quá khứ và hiện tại, lượng phát thải khí nhà kính ở mức trung bình, không có chính sách khí hậu bổ sung [10]; (iii) “KB cạnh tranh khu vực” SSP3-7.0 mô tả lượng phát thải cao không chỉ do CO₂ mà bao gồm cả lượng phát thải sol khí [11]; (iv) “KB bất bình đẳng” mô tả sự chia rẽ giữa các khu vực trên toàn cầu, gồm SSP4-3.4 ứng với bức xạ nhiệt đạt đến mức 3,4 W/m² và SSP4-6.0 ứng với bức xạ nhiệt đạt đến mức 6,0 W/m² vào cuối thế kỷ 21 [12]; và (v) “KB phát triển dựa trên nhiên liệu hóa thạch” SSP5-8.5 là kịch bản tham chiếu cao, không có sự bổ sung về chính sách khí hậu, chỉ đạt được trong lộ trình phát triển kinh tế - xã hội sử dụng nhiên liệu hóa thạch [13].

Các kịch bản BĐKH toàn cầu cho tương lai thường dựa trên các sản phẩm dự tính từ những mô hình khí hậu toàn cầu (*General Circulation Models - GCMs*). Dự án đối chứng mô hình khí hậu CMIP6 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*) đã được sử dụng để hỗ trợ cho báo cáo đánh giá lần thứ sáu (AR6) của IPCC [14]. Các GCMs cho đến hiện tại có độ phân giải tương đối thô, đa số từ khoảng 100km trở lên [15–17]. Vì vậy, để có thể dự báo BĐKH ở quy mô địa phương/khu vực, cần thiết phải áp dụng một số kỹ thuật chi tiết hoá. Ở Việt Nam, bộ kịch bản khí hậu phân giải cao (10km) thiết lập cho quốc gia được xây dựng bằng phương pháp chi tiết hóa thống kê hiệu chỉnh sai số và phân rã không gian BCSD (*Bias Corrected Spatial Disaggregation*) phục vụ cho Báo cáo “Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu quốc gia và khả năng thích ứng” năm 2022 của Cục Biến đổi khí hậu, Bộ TN&MT. Đây là báo cáo cập nhật ở cấp độ quốc gia, xuất bản cùng thời điểm của COP 27, đã phát triển một tập hợp các kịch bản khí hậu mới SSP (*Shared Socioeconomic Pathways - Kịch bản chia sẻ kinh tế - xã hội*) bằng cách sử dụng các CMIP6-GCMs từ báo cáo của IPCC năm 2021, có thể được tải và sử dụng miễn phí [18, 24].

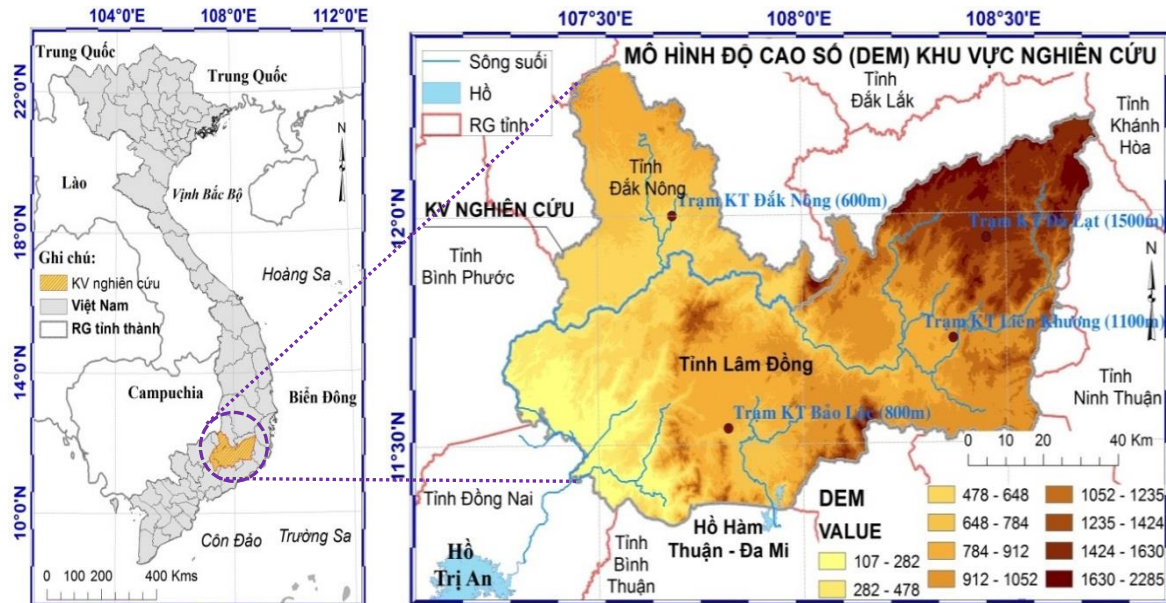
Các mô hình khí hậu toàn cầu (CMIP6-GCMs) trong báo cáo lần gần đây nhất (AR6) của IPCC đã sử dụng tổ hợp của hơn 50 mô hình GCMs [14, 19]. Việc chọn GCMs phù hợp để chi tiết hóa hơn nữa là rất quan trọng để cải thiện độ chính xác của kết quả thu nhỏ quy mô cục bộ và tối ưu hóa tài nguyên tính toán. Tùy thuộc 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 GCMs đến vài chục GCMs, như 3 mô hình [8], 5 mô hình [16], 7 mô hình [20], 16 mô hình [21], 29 mô hình [22], 31 mô hình [23], 32 mô hình [14], 35 mô hình [24], 41 mô hình [25]. Nghiên cứu này lựa chọn 7 mô hình GCMs (EC-Earth3, EC-Earth3-Veg, HadGEM3-GC31-LL, IPSL-CM6A-LR, MPI-ESM1-2-HR, CNRM-CM6-1-HR, và CanESM5) đã được chi tiết hóa cho Việt Nam (CMIP6_VN) [18, 24]. Đây là các mô hình đã được một số nghiên cứu trước đây sử dụng, đánh giá là phù hợp với Việt Nam [16, 20, 22], để đánh giá hiệu suất (độ tin cậy và độ chính xác) trong mô phỏng lượng mưa và nhiệt độ nhằm chọn một bộ CMIP6-GCMs phù hợp cho lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai. Trong đó, đối với yếu tố nhiệt độ, nghiên cứu đã lựa chọn nhiệt độ cực trị (nhiệt độ tối cao - T_{max} và nhiệt độ tối thấp - T_{min}) gần bề mặt, vì đây là hai yếu tố nhiệt độ thường được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho mô hình thủy văn (như mô hình SWAT), cũng như sử dụng trong đánh giá các hiện tượng thời tiết cực đoan. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp thông tin dữ liệu đầu vào cho các mô hình thủy văn, phục vụ cho các nghiên cứu về BĐKH, góp phần hỗ trợ ra quyết định trong quản lý và phát triển bền vững lưu vực.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Sông Đồng Nai là sông nội địa dài nhất Việt Nam nằm trên khu vực rộng lớn liên quan đến các tỉnh Lâm Đồng, Đắk Nông, Bình Phước, Bình Dương, Đồng Nai, thành phố Hồ Chí Minh với chiều dài 586 km và diện tích lưu vực 38.600 km². Đây là vùng có tốc độ đô thị hoá nhanh và dân số thành thị chiếm tỉ lệ cao hơn so với trung bình của cả nước. Xét về mặt sử

dụng nước, vùng ven biển gồm các tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận, Bà Rịa Vũng Tàu luôn có mối quan hệ chặt chẽ với nguồn nước ở lưu vực sông này, đặc biệt là các công trình chuyển nước đã có và sẽ xây dựng [26, 27].



Hình 1. Vị trí, mô hình độ cao số DEM khu vực nghiên cứu [28].

Khu vực nghiên cứu nằm ở thượng nguồn của sông Đồng Nai thuộc vùng Tây Nguyên, bao phủ vùng diện tích khoảng 11.036 km², đa phần thuộc địa bàn tỉnh Lâm Đồng (chiếm 80% diện tích của toàn lưu vực) và vùng phụ cận thuộc tỉnh Đắk Nông. Khu vực gồm hai lưu vực sông, trong đó lưu vực sông chính Đồng Nai bắt nguồn từ cao nguyên Langbiang ở phía bắc tỉnh Lâm Đồng, chảy theo hướng Bắc Nam, sau đó chuyển hướng uốn lượn theo địa hình khu vực nhưng hướng chủ đạo là Đông bắc - Tây nam và kết thúc ở điểm đầu ra của sông khỏi địa phận tỉnh Lâm Đồng. Lưu vực còn lại bắt nguồn từ cao nguyên Di Linh và kết thúc tại hồ thủy điện Hàm Thuận - Đa Mi [28].

Phía Bắc của khu vực nghiên cứu thuộc cao nguyên LangBiang (bao phủ huyện Lạc Dương và thành phố Đà Lạt), có độ cao thay đổi từ 1.300 m đến hơn 2.000 m như đỉnh Bidoup (2.287 m), LangBiang (2.167 m). Khu vực trung tâm là đồi núi thấp thuộc cao nguyên Bảo Lộc - Di Linh, có độ cao thay đổi từ 700-1.300 m. Phía Nam là vùng chuyển tiếp giữa cao nguyên và đồng bằng với độ cao thay đổi từ 50-700 m. Vị trí và mô hình độ cao số của khu vực nghiên cứu được thể hiện trên Hình 1. Lượng mưa nhiều năm trên lưu vực biến đổi từ 1.500-3.600 mm/năm, trung bình khoảng 2.500 mm/năm. Trong mùa mưa, lượng mưa dao động từ 1.350-3.300 mm, trung bình đạt 2.100 mm và mùa khô từ 210 đến 530 mm, trung bình đạt 320 mm. Đây là vùng chịu ảnh hưởng của khí hậu nhiệt đới gió mùa biến thiên theo độ cao, trong năm có hai mùa rõ rệt, mùa mưa từ tháng 4 đến tháng 11, mùa khô từ tháng 12 đến hết tháng 3 năm sau.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu quan trắc lượng mưa và nhiệt độ

Số lượng trạm quan trắc khí tượng có đầy đủ dữ liệu đo mưa và nhiệt độ nằm trong lưu vực còn ít, một số trạm mới đưa vào hoạt động nên dữ liệu chưa đủ dài, do đó dựa vào dữ liệu sẵn có của địa phương, nghiên cứu đã tiến hành thu thập số liệu thực đo lượng mưa và nhiệt độ ngày (T_{max} và T_{min}) trên lưu vực trong giai đoạn 35 năm 1980-2014 tại 4 trạm: Đắk Nông, Bảo Lộc, Liên Khương và Đà Lạt, với cao độ tương ứng tại các khu vực khoảng 600 m, 800 m, 1.100 m và 1.500 m. Các dữ liệu này được thu thập từ các cơ quan quản lý ở địa phương

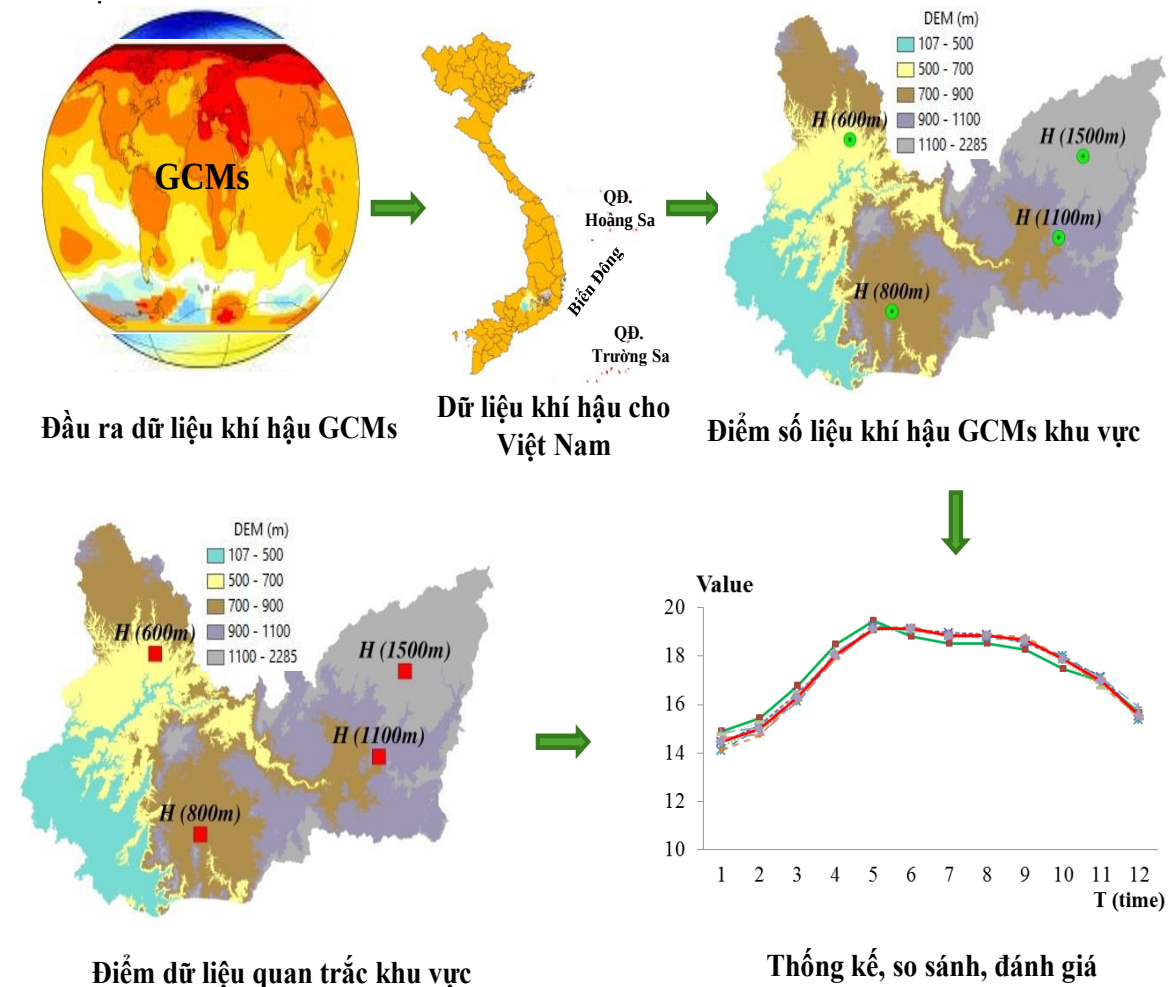
(Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Lâm Đồng, Đài Khí tượng Thủy văn Tây nguyên). Phân bố của 4 trạm quan trắc này nằm phân tán đều trên lưu vực và thuộc các vùng có độ cao khác nhau nên có thể đại diện cho khu vực nghiên cứu, thông tin các trạm quan trắc được thể hiện ở Bảng 1 và Hình 1.

Bảng 1. Các trạm quan trắc khí tượng trên lưu vực đã được thu thập dữ liệu.

STT	Tên trạm quan trắc	Độ cao trạm (m)	Độ cao vùng H (m)	Kinh độ	Vĩ độ
1	Trạm Đăk Nông	631	600	107,68	12,00
2	Trạm Bảo Lộc	840	800	107,82	11,54
3	Trạm Liên Khương	939	1.100	108,37	11,73
4	Trạm Đà Lạt	1.509	1.500	108,45	11,95

2.2.2. Mô hình khí hậu toàn cầu

Dữ liệu lượng mưa và nhiệt độ ($T_{\max}$, $T_{\min}$) gần bề mặt của 7 mô hình khí hậu toàn cầu GCMs trong quá khứ (1980-2014) đã được chi tiết hóa với độ phân giải không gian $0,1^\circ$ (tương ứng 10×10 km), độ phân giải thời gian ngày cho toàn Việt Nam kế thừa từ nghiên cứu “Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu quốc gia và khả năng thích ứng” [18, 24] (http://remosat.usth.edu.vn/~thanhnd/Download/dat_GEMMES_WP1). Chi tiết các mô hình GCMs được liệt kê trong Bảng 2. Để chuyển đổi dữ liệu khí hậu vùng ở cấp độ quốc gia (multidimension “Netcdf.NC”) sang dữ liệu điểm (point “Excel.xls”) tại vị trí tọa độ của các trạm quan trắc sử dụng công cụ “Multidimension Toolbox” trong phần mềm ArcGIS 10.2, như lược đồ Hình 2.



Hình 2. Lược đồ phương pháp nghiên cứu.

Bảng 2. Các mô hình BĐKH được lựa chọn trong CMIP6.

TT	Tên mô hình	Quốc gia, tổ chức	Độ phân giải ô lưới	Độ phân giải ô lưới
		phát triển	toàn cầu	Việt Nam
1	CNRM-CM6-1-HR	Pháp	1,25°×0,94°	0,10°×0,10°
2	CanESM5	Canada	1,41°×1,39°	0,10°×0,10°
3	EC-Earth3	Châu Âu (EU)	0,70°×0,70°	0,10°×0,10°
4	EC-Earth3-Veg	Châu Âu (EU)	0,70°×0,70°	0,10°×0,10°
5	HadGEM3-GC31-LL	Anh	1,88°×1,88°	0,10°×0,10°
6	IPSL-CM6A-LR	Pháp	2,50°×1,27°	0,10°×0,10°
7	MRI-ESM2-0	Nhật Bản	1,13°×1,13°	0,10°×0,10°

2.2.3. Phương pháp thống kê

Để đánh giá hiệu suất (độ tin cậy và độ chính xác) của các mô hình GCMs trong mô phỏng các yếu tố khí tượng so với giá trị thực đo có thể sử dụng một hoặc nhiều chỉ số thống kê [14, 21, 22, 29]. Trong nghiên cứu này đã sử dụng các chỉ số thống kê sau: (i) Độ lệch phần trăm PBias (*Percent Bias*), (ii) Độ lệch chuẩn SD (*standard deviation*), (iii) Sai số bình phương trung bình gốc RMSE (*root mean square error*), (iv) Hệ số tương quan Pearson (R), và Biểu đồ Taylor để so sánh lượng mưa, nhiệt độ ($T_{\min}$, $T_{\max}$) trung bình tháng của từng mô hình riêng lẻ với số liệu thực đo tại các trạm quan trắc trong quá khứ. Các chỉ số này thường được áp dụng để đánh giá hiệu suất mô phỏng các yếu tố lượng mưa và nhiệt độ của các mô hình GCMs [29, 30]. Công thức tính của chỉ số thống kê như sau:

Độ lệch phần trăm PBias (*Percent bias*):

$$PBias = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Độ lệch chuẩn SD (*Standard Deviation*):

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

Sai số bình phương trung bình gốc RMSE (*Root Mean Square Error*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (3)$$

Hệ số tương quan Pearson (R):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (4)$$

Trong đó O là giá trị thực đo; $\bar{O}$ là giá trị thực đo trung bình; P là giá trị mô phỏng; $\bar{P}$ là giá trị mô phỏng trung bình; n là số lượng giá trị tính toán.

Giá trị R trong khoảng từ 0 đến 1, thể hiện mối tương quan giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng. Nếu R gần bằng 0, khi đó kết quả được xem là không thể chấp nhận hoặc độ tin cậy kém. Ngược lại, nếu những giá trị này bằng 1, thì kết quả mô phỏng của mô hình là hoàn hảo, nằm trong khoảng 0,8-0,9 được xem là tương quan mạnh; 0,7-0,8; 0,3-0,6; 0,1-0,3 tương ứng khá, trung bình và yếu [31].

Biểu đồ Taylor là các sơ đồ toán học được thiết kế để biểu thị bằng đồ họa những biểu diễn (hoặc mô hình) gần đúng nào của một hệ thống, quy trình hoặc hiện tượng là thực tế

nhất. Biểu đồ này do Karl E. Taylor phát minh vào năm 1994 (xuất bản năm 2001) tạo điều kiện thuận lợi cho việc đánh giá so sánh các mô hình khác nhau [32]. Nó được sử dụng để định lượng mức độ phù hợp giữa hành vi được mô hình hóa và hành vi được quan sát theo ba thống kê là hệ số tương quan Pearson, sai số trung bình bình phương gốc RMSE và độ lệch chuẩn SD. Trong biểu đồ Taylor, hệ số tương quan Pearson đo mức độ đồng dạng về mẫu giữa trường mô phỏng và trường quan sát, có liên quan đến góc phương vị trên biểu đồ; sai số RMSE là số nằm ở giữa trong biểu đồ, tỷ lệ thuận với khoảng cách từ điểm trên trục x được xác định là "điểm thực đo"; và độ lệch chuẩn SD là giá trị nằm trên hai trục tọa độ, tỷ lệ thuận với khoảng cách hướng tâm từ điểm gốc tọa độ của biểu đồ.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

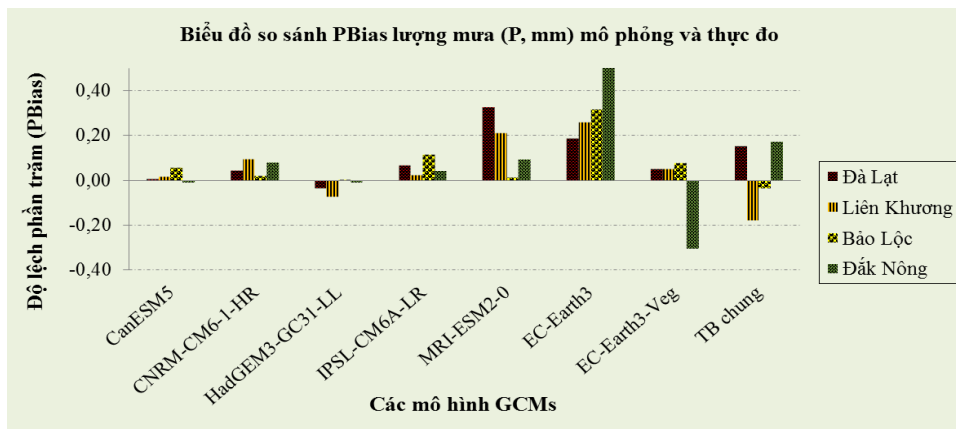
3.1. Đánh giá sự phù hợp của các mô hình bằng chỉ số thống kê PBias

Kết quả thống kê chỉ số độ lệch phần trăm PBias đánh giá sự phù hợp của 7 mô hình khí hậu toàn cầu GCMs và giá trị trung bình tổng thể của chúng trong mô phỏng lượng mưa tháng (mm), nhiệt độ tối cao Tmax (°C), nhiệt độ tối thấp Tmin (°C) tháng trên lưu vực được thể hiện ở các Bảng 3, 4 và 5.

Giá trị PBias trong mô phỏng yếu tố lượng mưa của 7 mô hình và giá trị trung bình chung phân bố theo không gian tại Đà Lạt ở độ cao khoảng 1.500 m, Liên Khương 1.100 m, Bảo Lộc 800 m và Đắc Nông 600m so với mực nước biển nằm trong khoảng (-0,30) - 0,54, giá trị in đậm ở Bảng 3. Trong đó, giá trị cao nhất thuộc về mô hình EC-Earth3 (PBias = 0,54) tại Đắc Nông, tiếp đến là mô hình MRI-ESM2-0 (PBias = 0,33) tại Đà Lạt, giá trị in nghiêng đậm gạch dưới của Bảng 3. Trong số các mô hình, mô hình HadGEM3-GC31-LL và CanESM5 cho giá trị PBias thấp hơn so với các mô hình còn lại được thể hiện ở Hình 3.

Bảng 3. PBias giữa giá trị mô phỏng và thực đo yếu tố lượng mưa (P, mm/tháng).

STT	GCMs	PBias (P, mm)			
		Đà Lạt	Liên Khương	Bảo Lộc	Đắc Nông
1	CanESM5	0,01	0,01	0,06	-0,01
2	CNRM-CM6-1-HR	0,04	0,10	0,02	0,08
3	HadGEM3-GC31-LL	-0,04	-0,07	0,00	-0,01
4	IPSL-CM6A-LR	0,07	0,02	0,12	0,04
5	MRI-ESM2-0	<u>0,33</u>	0,21	0,01	0,10
6	EC-Earth3	0,19	0,26	0,32	0,54
7	EC-Earth3-Veg	0,05	0,05	0,08	-0,30
8	TB chung	0,15	-0,18	-0,03	0,17

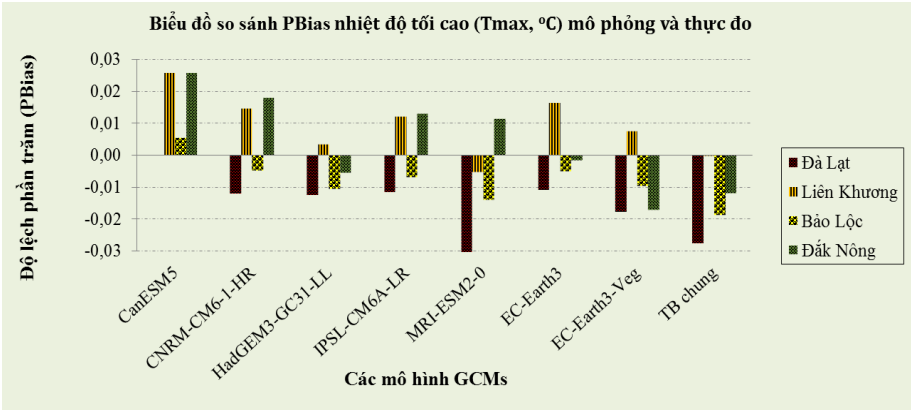


Hình 3. So sánh PBias lượng mưa (P, mm/tháng) mô phỏng và thực đo của các GCMs.

Giá trị PBias trong mô phỏng yếu tố nhiệt độ tối cao ($T_{\max}$) của 7 mô hình và giá trị trung bình chung nằm trong khoảng $(-0,03) - 0,03$, giá trị in đậm ở Bảng 4. Trong đó, giá trị cao nhất thuộc về mô hình CanESM5 (PBias = 0,03) tại Liên Khương và Đắk Nông; MRI-ESM2-0 (PBias = -0,03) tại Đà Lạt. Trong mô phỏng yếu tố nhiệt độ tối cao ($T_{\max}$), kết quả cho thấy không có mô hình nào cho giá trị PBias là vượt trội. Tuy nhiên, mô hình EC-Earth3 và HadGEM3-GC31-LL cho giá trị PBias tốt hơn so với các mô hình còn lại (Hình 4).

Bảng 4. PBias giá trị mô phỏng và thực đo yếu tố nhiệt độ tối cao ($T_{\max}$, °C).

STT	GCMs	PBias ($T_{\max}$, °C)			
		Đà Lạt	Liên Khương	Bảo Lộc	Đắk Nông
1	CanESM5	0,00	0,03	0,01	0,03
2	CNRM-CM6-1-HR	-0,01	0,01	0,00	0,02
3	HadGEM3-GC31-LL	-0,01	0,00	-0,01	-0,01
4	IPSL-CM6A-LR	-0,01	0,01	-0,01	0,01
5	MRI-ESM2-0	-0,03	-0,01	-0,01	0,01
6	EC-Earth3	-0,01	0,02	-0,01	0,00
7	EC-Earth3-Veg	-0,02	0,01	-0,01	-0,02
8	TB chung	-0,03	0,00	-0,02	-0,01



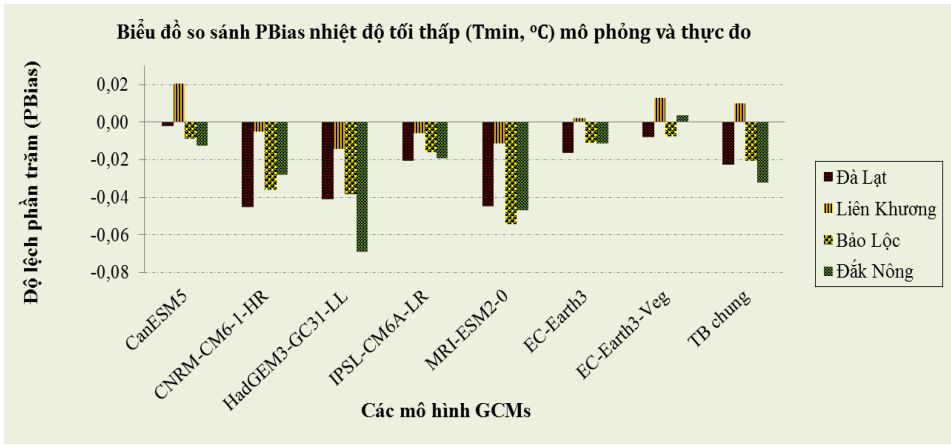
Hình 4. So sánh PBias nhiệt độ tối cao ($T_{\max}$, °C) mô phỏng và thực đo của các GCMs.

Giá trị PBias trong mô phỏng yếu tố nhiệt độ tối thấp ($T_{\min}$) của 7 mô hình và giá trị trung bình chung nằm trong khoảng $(-0,07) - 0,02$, giá trị in đậm ở Bảng 5. Trong đó, giá trị cao nhất thuộc về mô hình HadGEM3-GC31-LL (PBias = -0,07) tại Đắk Nông và MRI-ESM2-0 (PBias = -0,03) tại Đà Lạt, tiếp đến là mô hình MRI-ESM2-0 (PBias = -0,03) tại Bảo Lộc và Đắk Nông; mô hình CNRM-CM6-1-HR (PBias = -0,03) tại Đà Lạt. Trong mô phỏng yếu tố nhiệt độ tối cao ($T_{\max}$), kết quả cho thấy hai mô hình EC-Earth3 và EC-Earth3-Veg cho giá trị PBias vượt trội hơn so với các mô hình còn lại (Hình 5).

Nhìn chung, dựa vào chỉ số thống kê PBias, kết quả cho thấy không có mô hình GCMs nào cho kết quả tốt cho cả ba yếu tố lượng mưa, nhiệt độ tối cao ($T_{\max}$), nhiệt độ tối thấp ($T_{\min}$). Mô hình HadGEM3-GC31-LL và CanESM5 cho kết quả PBias tốt cho yếu tố lượng mưa nhưng lại hạn chế về yếu tố nhiệt độ. Trong khi đó, mô hình EC-Earth3 và EC-Earth3-Veg cho kết quả tốt về yếu tố nhiệt độ nhưng lại hạn chế về yếu tố lượng mưa. Hơn nữa, kết quả cho thấy với cùng một yếu tố nhiệt độ, một số mô hình cho kết quả khá tốt cho yếu tố nhiệt tối cao ($T_{\max}$), nhưng lại bị hạn chế trong mô phỏng về nhiệt độ tối thấp ($T_{\min}$) và ngược lại như mô hình CanESM5, HadGEM3-GC31-LL. Trong số 7 mô hình, 2 mô hình IPSL-CM6A-LR và MRI-ESM2-0 cho kết quả PBias cao đối với cả yếu tố lượng mưa và nhiệt độ.

Bảng 5. PBias giá trị mô phỏng và thực đo yếu tố nhiệt độ tối thấp ($T_{\min}$, °C).

STT	GCMs	PBias ($T_{\min}$, °C)			
		Đà Lạt	Liên Khương	Bảo Lộc	Đắk Nông
1	CanESM5	0,00	0,02	-0,01	-0,01
2	CNRM-CM6-1-HR	-0,05	0,00	-0,04	-0,03
3	HadGEM3-GC31-LL	-0,04	-0,01	-0,04	-0,07
4	IPSL-CM6A-LR	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02
5	MRI-ESM2-0	-0,04	-0,01	-0,05	-0,05
6	EC-Earth3	-0,02	0,00	-0,01	-0,01
7	EC-Earth3-Veg	-0,01	0,01	-0,01	0,00
8	TB chung	-0,02	0,01	-0,02	-0,03



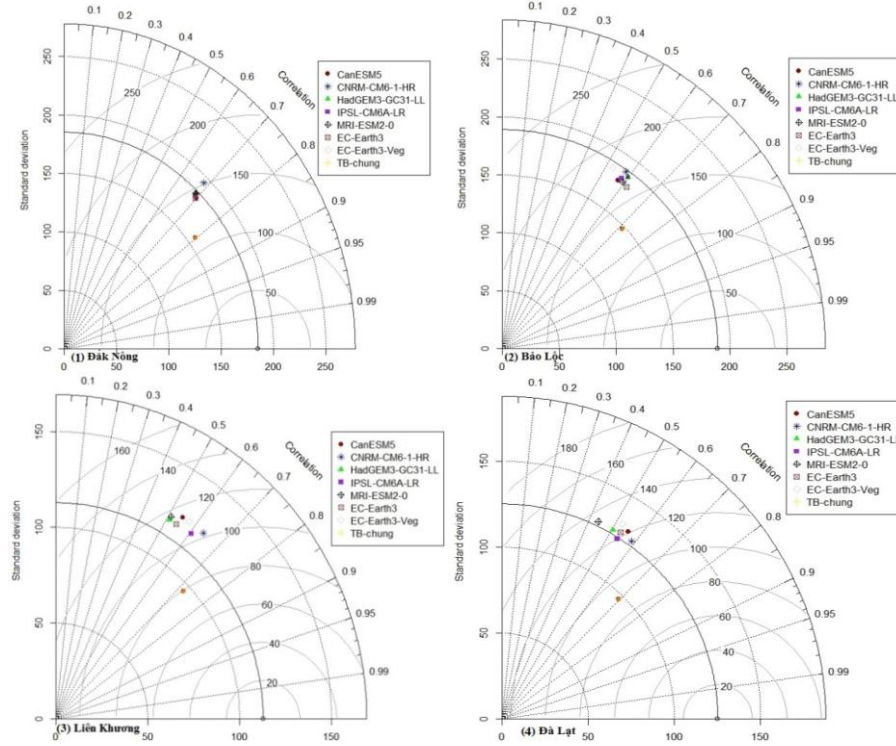
Hình 5. So sánh PBias nhiệt độ tối thấp ($T_{\min}$, °C) mô phỏng và thực đo của các GCMs.

3.2. Đánh giá sự phù hợp của các mô hình thông qua biểu đồ Taylor

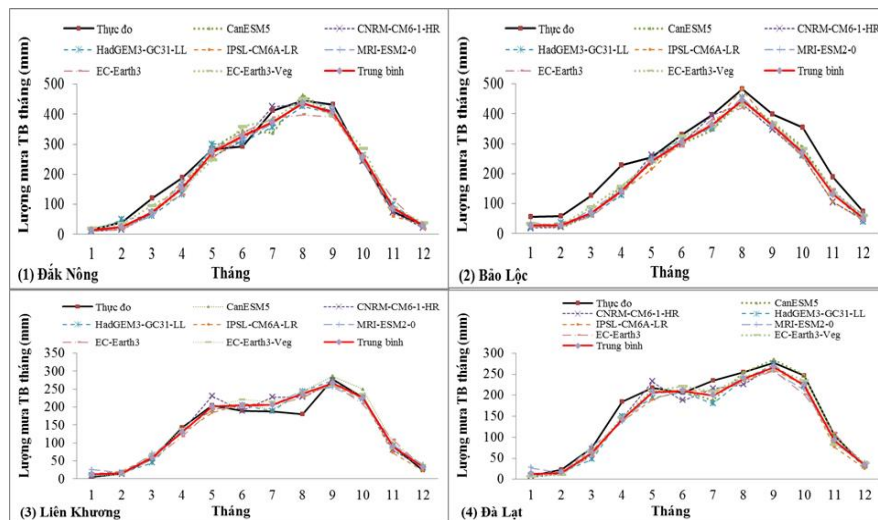
Biểu đồ Taylor mô tả hiệu suất của mô hình thông qua các chỉ số thống kê gồm hệ số tương quan Pearson R (giá trị nằm trên đường cong ngoài cùng điểm giao nhau giữa đường thẳng nét đứt xuất phát từ gốc tọa độ của biểu đồ), sai số RMSE (giá trị nằm trên nửa đường tròn đồng tâm có nét liền, có tâm nằm trên trục ngang) và độ lệch chuẩn SD (giá trị nằm trên hai trục điểm giao nhau giữa một phần tư đường tròn đồng tâm có nét đứt, tâm tại trục tọa độ của biểu đồ) cho 3 yếu tố gồm lượng mưa (mm), $T_{\max}$ (°C), $T_{\min}$ (°C) như trong Hình 6, 8, 10. Đồng thời, giá trị thực đo được thể hiện là đường cong nét liền đậm xuất phát từ tâm của nửa đường tròn nằm trên trục ngang, chạy song song với đường biểu diễn độ lệch chuẩn SD.

Biểu đồ Taylor của Hình 6 mô tả hiệu suất các GCMs trong mô phỏng lượng mưa (mm) tháng cho 7 mô hình và giá trị trung bình tổng thể của chúng được biểu thị bằng một ký hiệu có màu sắc khác nhau trên biểu đồ. Hệ số tương quan đạt được của các mô hình và trung bình tổng thể của chúng nằm trong khoảng 0,45-0,80. Trong khi đó giá trị RMSE nằm trong khoảng 80-180 mm/tháng, còn SD nằm trong khoảng 90-190 mm/tháng. Trong số các mô hình, biểu đồ Taylor cho thấy EC-Earth3, MRI-ESM2-0 có hiệu suất mô phỏng lượng mưa thấp hơn so với các mô hình còn lại, được thể hiện qua giá trị R thấp, đồng thời giá trị RMSE và SD cao hơn. Giữa các vị trí trên lưu vực thì khu vực Đắk Nông cho kết quả mô phỏng tốt hơn các vị trí còn lại về mức độ đồng dạng mẫu giữa giá trị mô phỏng và giá trị quan sát, thể hiện qua giá trị R cao (xấp xỉ 0,7-0,8). Điều này được thể hiện rõ hơn trong biểu đồ so sánh giá trị lượng mưa thực đo và mô phỏng trung bình tháng cho cả thời đoạn 35 năm 1980-2014, như Hình 7. Trong khi đó, xét về sai số và độ lệch chuẩn thì khu vực Liên Khương cho kết quả tốt hơn, với giá trị RMSE và SD nhỏ hơn so với các khu vực còn lại, cụ thể RMSE (80-120) và SD (80-125) so với RMSE (85-135) và SD (90-130) tại Đà Lạt; RMSE

(110-150) và SD (160-190) tại Đắk Nông; RMSE (130-180) và SD (150-190) tại Bảo Lộc. Như vậy, để so sánh đánh giá hiệu suất của các mô hình GCMs trong mô phỏng các yếu tố khí hậu cần kết hợp nhiều chỉ số thống kê. Ngoài ra, kết quả còn cho thấy so với từng mô hình riêng lẻ, giá trị trung bình chung (trung bình tổng thể cho tất cả các mô hình) cho kết quả so sánh tốt hơn với giá trị R cao, RMSE và SD thấp hơn rõ rệt.



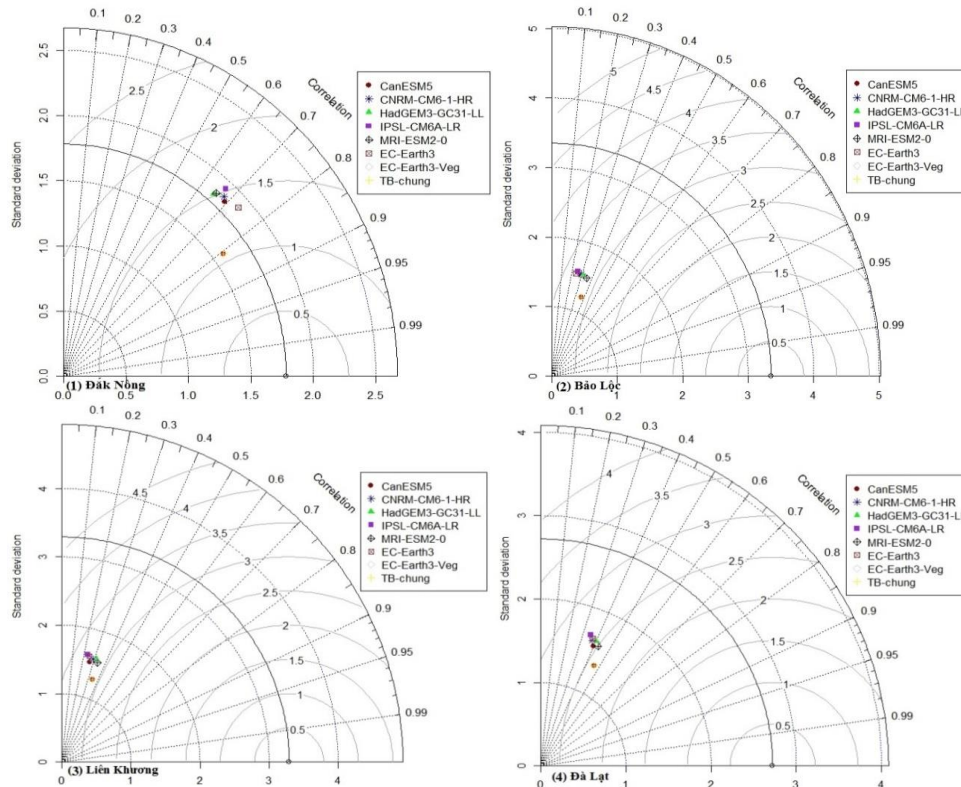
Hình 6. Kết quả so sánh hiệu suất mô phỏng lượng mưa (mm/tháng) của các mô hình bằng biểu đồ Taylor.



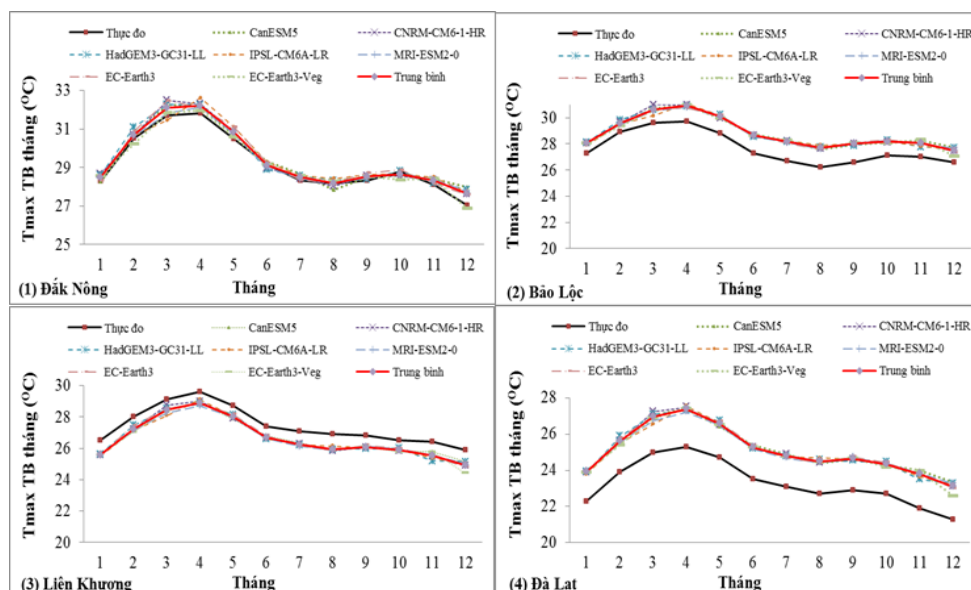
Hình 7. Biểu đồ so sánh lượng mưa tháng (P, mm/tháng) theo mô phỏng và thực đo.

Biểu đồ Taylor của hình 8 mô tả hiệu suất các GCMs trong mô phỏng nhiệt độ tối cao T_{max} ($^{\circ}C$) tháng trên lưu vực. Hệ số tương quan đạt được của các mô hình và trung bình tổng thể của chúng nằm trong khoảng 0,25-0,82. Trong khi đó giá trị RMSE nằm trong khoảng 1,0-3,2 $^{\circ}C$ /tháng, còn SD nằm trong khoảng 1,2-1,9 $^{\circ}C$ /tháng. Trong số các mô hình, biểu đồ Taylor cho thấy HadGEM3-GC31-LL, IPSL-CM6A-LR và CanESM5 có hiệu suất mô phỏng T_{max} thấp hơn so với các mô hình còn lại, được thể hiện qua giá trị R thấp, đồng thời giá trị RMSE và SD cao hơn. Tư tượng như trong mô phỏng về lượng mưa, giữa các vị trí trên

lưu vực thì khu vực Đắc Nông cho kết quả mô phỏng T_{max} tốt hơn các vị trí còn lại về mức độ đồng dạng mẫu giữa giá trị mô phỏng và giá trị quan sát, thể hiện qua giá trị R cao (xấp xỉ 0,65-0,82) và được thể hiện rõ hơn trong biểu đồ so sánh giá trị T_{max} thực đo và mô phỏng trung bình tháng cho cả thời đoạn 35 năm 1980-2014 (Hình 9). Đồng thời, xét về sai số thì khu vực Đắc Nông vẫn cho kết quả tốt hơn, với giá trị RMSE nhỏ hơn so với các khu vực còn lại, cụ thể RMSE (1,2-1,6) so với RMSE (2,4-2,7) tại Đà Lạt; RMSE (3,0-3,4) tại Liên Khương; RMSE (3,0 - 3,8) tại Bảo Lộc. Trong khi đó độ lệch chuẩn không có sự khác biệt lớn giữa các khu vực, cụ thể tại SD (1,6-1,8) tại Đắc Nông so với SD (1,3 - 1,7) tại Đà Lạt; và SD (1,3-1,6) tại Liên Khương và SD (1,3-1,5) tại Bảo Lộc. Tương tự như với mô phỏng lượng mưa, giá trị trung bình chung T_{max} cho kết quả so sánh tốt hơn so với từng mô hình riêng lẻ (giá trị R cao hơn, trong khi đó giá trị RMSE và SD thấp hơn rõ rệt).

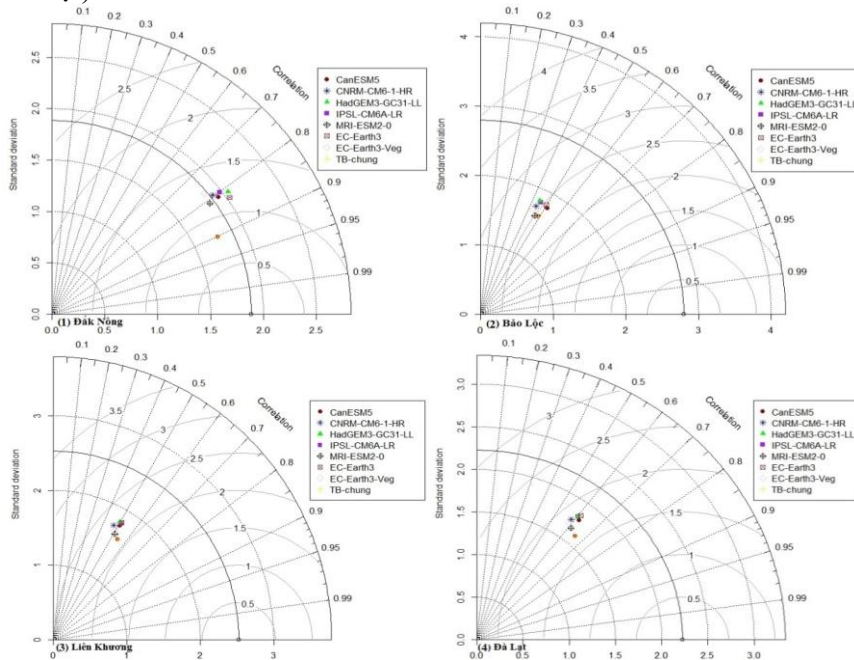


Hình 8. Biểu đồ Taylor so sánh hiệu suất mô phỏng nhiệt độ tối cao (T_{max} , °C) tại các trạm.

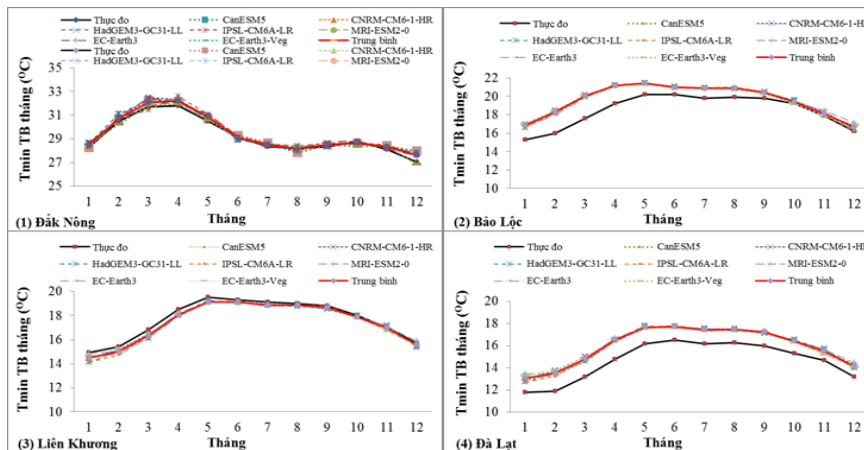


Hình 9. Kết quả so sánh giá trị nhiệt độ tối cao tháng (T_{max} , °C) theo mô phỏng và thực đo.

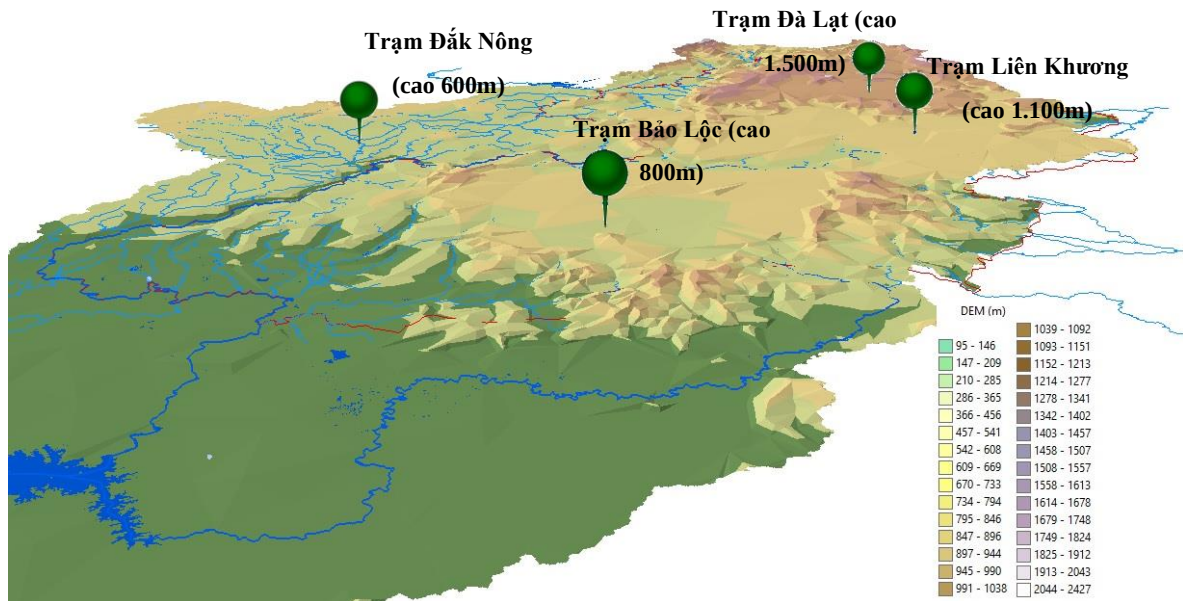
Biểu đồ Taylor của Hình 10 mô tả hiệu suất các GCMs trong mô phỏng nhiệt độ tối thấp $T_{\min}$ ($^{\circ}\text{C}$) tháng trên lưu vực. Hệ số tương quan đạt được của các mô hình và trung bình tổng thể của chúng nằm trong khoảng 0,25-0,90; giá trị RMSE nằm trong khoảng 0,7-2,6 $^{\circ}\text{C}$ /tháng và SD nằm trong khoảng 1,5-2,0 $^{\circ}\text{C}$ /tháng. Tương tự như trong mô phỏng $T_{\max}$, trong số các mô hình, biểu đồ Taylor cho thấy HadGEM3-GC31-LL, IPSL-CM6A-LR và CNRM-CM6-1-HR có hiệu suất mô phỏng $T_{\min}$ thấp hơn so với các mô hình còn lại, được thể hiện qua giá trị R thấp, đồng thời giá trị RMSE và SD cao hơn. Giữa các vị trí trên lưu vực thì khu vực Đắc Nông cho kết quả mô phỏng $T_{\min}$ tốt hơn các vị trí còn lại về mức độ đồng dạng mẫu giữa giá trị mô phỏng và giá trị quan sát, thể hiện qua giá trị R cao (xấp xỉ 0,7-0,8) và biểu đồ so sánh giá trị $T_{\min}$ thực đo và mô phỏng khá trùng khớp, như Hình 11. Bên cạnh đó, giống như trong mô phỏng $T_{\max}$, xét về sai số thì khu vực Đắc Nông cho kết quả tốt hơn, với giá trị RMSE nhỏ hơn so với các khu vực còn lại, cụ thể RMSE (0,8-1,3) so với RMSE (1,7-1,9) tại Đà Lạt; RMSE (2,1-2,4) tại Liên Khương; RMSE (2,4-2,6) tại Bảo Lộc. Ngược lại, độ lệch chuẩn không có sự khác biệt lớn giữa các khu vực, cụ thể tại SD (1,6-2,0) tại Đắc Nông so với SD (1,6-1,9) tại Đà Lạt; SD (1,7-1,9) tại Liên Khương và SD (1,6-1,9) tại Bảo Lộc. Tương tự như với mô phỏng lượng mưa, $T_{\max}$, giá trị trung bình chung $T_{\min}$ cho kết quả so sánh tốt hơn so với từng mô hình riêng lẻ (giá trị R cao hơn, trong khi đó giá trị RMSE và SD thấp hơn rõ rệt).



Hình 10. Kết quả so sánh hiệu suất mô phỏng nhiệt độ tối thấp ($T_{\min}$, $^{\circ}\text{C}$) của các mô hình bằng biểu đồ Taylor.



Hình 11. Kết quả so sánh giá trị nhiệt độ tối thấp tháng ($T_{\min}$, $^{\circ}\text{C}$) theo mô phỏng và thực đo.



Hình 12. Vị trí các trạm quan trắc khí tượng với nền độ cao địa hình.

Tổng thể cho thấy trong tất cả các mô hình không có mô hình nào cho kết quả tốt cho cả yếu tố lượng mưa, T_{max} , T_{min} . Chẳng hạn như mô hình EC-Earth3-Veg, EC-Earth3 có kết quả mô phỏng nhiệt độ (T_{min} và T_{max}) khá tốt, trong khi đó mô hình EC-Earth3 lại bị hạn chế trong mô phỏng yếu tố lượng mưa.

Tại các vị trí thì khu vực Đắc Nông cho giá trị mô phỏng tốt hơn so với khu vực Liên Khương, Bảo Lộc và Đà Lạt. Điều này được giải thích là do sự thay đổi địa hình và độ cao chuyển tiếp từ đồng bằng lên cao nguyên và từ cao nguyên lên vùng cao hơn, đặc biệt là tại khu vực Bảo Lộc và Đà Lạt (Hình 12). Sự chênh lệch địa hình từ vùng đồng bằng lên cao nguyên Bảo Lộc - Di Linh (từ 95-800 m) và từ cao nguyên Bảo Lộc - Di Linh lên cao nguyên LangBiang (từ 800-1.500 m) đã ảnh hưởng đến các yếu tố khí hậu. Tại Đà Lạt và Bảo Lộc, đối với lượng mưa hầu hết các mô hình và giá trị trung bình tổng thể có giá trị thấp hơn so với giá trị thực đo. Trong khi đó, nhiệt độ (T_{max} , T_{min}) tại Đà Lạt và Bảo Lộc cao hơn so với giá trị thực đo (Hình 9 và Hình 11). Nhìn chung, tại Đà Lạt và Bảo Lộc có sự đồng dạng hơn giữa yếu tố khí tượng mô phỏng và thực đo theo từng tháng, nhưng có sự sai khác lớn hơn so với khu vực còn lại. Điều này được giải thích là do địa hình khu vực này có chênh lệch địa hình lớn và sự tương tác giữa gió mùa và các dãy núi lân cận. Kết quả này tương tự như kết quả nghiên cứu [22].

4. Kết luận

Kết hợp chỉ số thống kê độ lệch phần trăm PBias và biểu đồ Taylor (đánh giá thông qua ba yếu tố là hệ số tương quan Pearson R, sai số trung bình bình phương gốc RMSE và độ lệch chuẩn SD) là phương pháp khả thi giúp đánh giá hiệu suất của các mô hình khí hậu toàn cầu GCMs trong mô phỏng các yếu tố khí hậu (lượng mưa, T_{max} , T_{min}).

Hiệu suất của 7 GCMs và giá trị trung bình tổng thể của chúng là khác nhau trong mô phỏng lượng mưa (mm), nhiệt độ tối cao T_{max} (°C), nhiệt độ tối thấp T_{min} (°C) tháng theo không gian trên lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai. Trong đó, khu vực Đắc Nông (cao 600 m) có địa hình đồng dạng hơn cho kết quả mô phỏng tốt hơn so với Liên Khương (cao 1.100 m), Đà Lạt (cao 1.500 m) và Bảo Lộc (cao 800 m). Địa hình vùng núi và sự thay đổi độ cao góp phần làm ảnh hưởng đến hiệu suất mô phỏng yếu tố khí hậu của các GCMs.

Tổng thể cho thấy không có mô hình nào vượt trội đối với kết quả mô phỏng các yếu tố lượng mưa, T_{max} , T_{min} . Mô hình HadGEM3-GC31-LL và CanESM5 cho kết quả tin cậy trong mô phỏng yếu tố lượng mưa nhưng hạn chế về nhiệt độ. Mô hình EC-Earth3-Veg, EC-Earth3

có kết quả mô phỏng nhiệt độ ($T_{\min}$ và $T_{\max}$) khá tốt, tuy nhiên EC-Earth3 lại hạn chế về mô phỏng yếu tố lượng mưa. Trong số 7 GCMs thì mô hình MRI-ESM2-0 có hiệu quả phỏng thấp nhất cho các yếu tố khí hậu trên lưu vực, tiếp đến là mô hình IPSL-CM6A-LR. Đối với tất cả các khu vực và tất cả các yếu tố (lượng mưa, nhiệt độ), giá trị trung bình chung của các mô hình cho kết quả so sánh tốt hơn so với từng mô hình riêng lẻ. Do đó, việc đánh giá, dự báo theo các kịch bản BĐKH tương lai cần sử dụng tổ nhiều mô hình GCMs thông qua sử dụng giá trị trung bình chung của chúng nhằm hạn chế sự sai lệch mang tính nội tại của mỗi mô hình riêng lẻ. Đối với lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai có thể sử dụng tổ hợp của 5 mô hình (1) EC-Earth3-Veg, (2) CanESM5, (3) EC-Earth3, (4) HadGEM3-GC31-LL, (5) CNRM-CM6-1-HR trong các nghiên cứu liên quan đến kịch bản BĐKH trong tương lai có sử dụng yếu tố lượng mưa và nhiệt độ cực trị. Những kết quả đạt được của nghiên cứu này có thể áp dụng cho các lưu vực khác có điều kiện tương tự như lưu vực thượng nguồn sông Đồng Nai với địa hình không đồng dạng, núi cao.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: P.H., N.T.N.Q.; Xử lý số liệu: P.H., N.T.N.Q.; Viết bản thảo bài báo: P.H., N.T.N.Q.; Định hướng và chỉnh sửa bài báo: L.V.T., V.L.P.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu thực hiện dưới sự hỗ trợ của Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Lâm Đồng. Các tác giả xin chân thành cảm ơn sự hợp tác của Sở Tài nguyên và Môi trường Lâm Đồng, Đài Khí tượng Thủy văn Tây Nguyên, Viện nghiên cứu Đổi mới và Phát triển bền vững (RIFISD) đã hỗ trợ cho việc hoàn thành nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không sao chép từ những nghiên cứu trước đây và không có sự tranh chấp lợi ích.

Tài liệu tham khảo

1. IPCC. Contribution of working group 1 to the first assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 1990, pp. 365.
2. IPCC. Contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 1995, pp. 588.
3. IPCC. Contribution of working group 1 to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 2001, pp. 881.
4. IPCC. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 2007, pp. 996.
5. IPCC. Contribution of working group 1 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 2013, pp. 1535.
6. IPCC. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. New York, NY, USA, 2021.
7. Riahi, K.; van Vuuren, D.P.; Kriegler, E.; Edmonds, J.; O'Neill, B.C.; Fujimori, S.; Bauer, N.; Calvin, K.; Dellink, R.; Fricko, O.; Lutz, W. The shared socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 153–168.
8. Nhi, P.T.T.; Linh, Đ.Q.; Dũng, T.Đ.; Khôi, Đ.N. Dự báo khí hậu lưu vực sông Sêrêpôk theo kịch bản mới của IPCC công bố năm 2021. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ - Khoa học Trái đất và Môi trường* **2021**, 5(SI1), 27–36.
9. Vuuren, D.P.V.; Stehfest, E.; Gernaat, D.E.H.J.; Doelman, J.C.; Berg, M.V.D.; Harmsen, M.; Boer, H.S.D.; Bouwman, L.F.; Daioglou, V.; Edelenbosch, O.Y.; Girod, B.; Kram, T.; Lassaletta, L.; Lucas, P.L.; Meijl, H.V.; Müller, C.; Ruijven, B. J.V.; Sluis, S.V.D.; Tabeau, A. Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 316–330.
10. Fricko, O.; Havlik, P.; Rogelj, J.; Klimont, Z.; Gusti, M.; Johnson, N.; Kolp, P.; Strubegger, M.; Valin, H.; Amann, M.; Ermolieva, T., The marker quantification of

- the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. *Global Environ. Change*. **2017**, 42, 251–267.
11. Fujimori, S.; Hasegawa, T.; Masui, T.; Takahashi, K.; Herran, D.S.; Dai, H.; Hijioka, Y.; Kainuma, M. SSP3: AIM implementation of Shared Socioeconomic Pathways. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 268–283.
12. Calvin, K.; Bond-Lamberty, B.; Clarke, L.; Edmonds, J.; Eom, J.; Hartin, C.; Kim, S.; Kyle, P.; Link, R.; Moss, R.; McJeon, H. The SSP4: A world of deepening inequality. *Global Environ. Change* **2017**, 42, 284–296.
13. Kriegl, E.; Bauer, N.; Popp, A.; Humpenöder, F.; Leimbach, M.; Strefler, J.; Baumstark, L.; Bodirsky, B.L.; Hilaire, J.; Klein, D.; Mouratiadou, I. Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century. *Global Environ. Change*. **2017**, 42, 297–315.
14. Huong, N.T.; Kim, Y.T.; Kwon, H.H. Evaluation and selection of CMIP6 GCMs for long-term hydrological projections based on spatial performance assessment metrics across South Korea. *J. Water. Clim. Change* **2023**, 14, (8), 2663–2678.
15. Quyên, N.T.N. Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước và đất lưu vực sông Srepok. Viện Môi trường và Tài nguyên - ĐHQG TP Hồ Chí Minh, TP HCM, 2018.
16. Khoi, D.N.; Nguyen, V.T.; Sam, T.T.; Mai, N.T.H.; Vuong, N.D.; Cuong, H.V. Assessment of climate change impact on water availability in the upper Dong Nai River Basin, Vietnam. *J. Water. Clim. Change* **2021**, 1–14.
17. Ngo, D.T.; Nguyen, M.H.; Pannier, E.; Woillez, M.N.; Drogoul, A.; Huynh, T.P.L.; Le, T.T.; Nguyen, T.T.H.; Nguyen, T.T.; Nguyen, T.A.; Thomas, F.; Truong, C.Q.; Vo, Q.T.; Vu, C.T. Climate change in Viet Nam; Impacts and adaptation. A COP26 assessment report of the GEMMES Viet Nam project, Paris, 2021.
18. Cục Biến đổi khí hậu, Bộ TNMT. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu quốc gia và khả năng thích ứng; Hà Nội, 2022.
19. Eyring, V.; Bony, S.; Meehl, G.A.; Senior, C.A.; Stevens, B.; Stouffer, R.J.; Taylor, K.E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev.* **2016**, 9(5), 1937–1958.
20. Khoi, D.N.; Sam, T.T.; Chi, N.T.T.; Linh, D.Q.; Nhi, P.T.T. Impact of future climate change on river discharge and groundwater recharge: a case study of Ho Chi Minh City, Vietnam. *J. Water. Clim. Change* **2022**, 13(3), 1–13.
21. Tính, N.T.; Tỷ, T.V.; Minh, H.V.T. Đánh giá và lựa chọn mô hình khí hậu toàn cầu (GCMs-CMIP5) cho khu vực đồng bằng Sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2016**, 42, 81–90.
22. Nguyen, D.T.; Ngo, D.T.; Desmet, Q. Performance evaluation and ranking of CMIP6 global climate models over Vietnam. *J. Water. Clim. Change* **2023**, 14(6), 1831–1846.
23. Tran, A.Q.; Ngo, D.T.; Espagne, E.; Trinh, T.L. A high-resolution projected climate dataset for Vietnam: Construction and preliminary application in assessing future change. *J. Water. Clim. Change* **2022**, 13(9), 3379–3399.
24. Tran, A.Q.; Ngo, D.T.; Espagne, E.; Trinh, T.L. A 10-km CMIP6 downscaled dataset of temperature and precipitation for historical and future Vietnam climate. *Sci. Data*. **2023**, 2023, 1–12.
25. Scafetta, N. CMIP6 GCM validation based on ECS and TCR ranking for 21st century temperature projections and risk assessment. *Atmosphere* **2023**, 14(345), 1–22.
26. Trường, T.V. Quy hoạch Tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai. 2015. Trục tuyến: <http://lvsdongnai.cem.gov.vn/>.
27. Ringler, C.; Huy, N.V. Water allocation policies for the Dong Nai river basin in Vietnam: An integrated perspective; Washington, D.C., U.S.A, 2004, pp. 1–5.
28. Hung, P.; Le, T.V.; Vo, P.L.; Duong, H.C.; Mostafizurb, R.M. Vulnerability assessment of water resources using GIS, remote sensing and SWAT model – A case study: the upper part of Dong Nai river basin, Vietnam. *Int. J. River Basin Manage.* **2021**, 20, 1–16.

29. Lei, X.; Xu, C.; Liu, F.; Song, L.; Cao, L.; Suo, N. Evaluation of CMIP6 models and multi-model ensemble for extreme precipitation over Arid Central Asia. *Remote Sens.* **2023**, 15(2376), 1–25.
30. Sabarinath, A.; Naga, R. A.; Gunthe, S.S.; Lakshmi, K.T.V. Application of deep learning algorithms to correct Bias in CMIP6 simulations of surface air temperature over the Indian monsoon core region. *Int. J. Climatol.* **2023**, 43(16), 7496–7515.
31. Chairani, S. The correlation between rainfall, temperature, relative humidity, and rice field productivity in Aceh Besar. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2022**, 1071 (2022), 1–11.
32. Taylor, K.E. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.* **2001**, 106(D7), 7183–7192.

Performance evaluation of some CMIP6-GCMs in simulating rainfall and temperature in the upper part of Dong Nai river basin

Pham Hung^{1*}, Nguyen Thi Ngoc Quyen², Le Van Trung^{3,4}, Vo Le Phu^{3,4*}

¹ Department of Natural Resources and Environment Lam Dong Province, Dalat, Vietnam; hungmtk25@gmail.com

² Tay Nguyen University-567 Le Duan Street, Buon Ma Thuot City, Dak Lak Province; ntnquyen@ttn.edu.vn

³ Faculty of Environment and Natural Resources, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268. Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; lvtrung@hcmut.edu.vn; volephu@hcmut.edu.vn

⁴ Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc District, Ho Chi Minh City, Vietnam; lvtrung@hcmut.edu.vn; volephu@hcmut.edu.vn

Abstract: The effective performance of general circulation models (GCMs) in simulating climate factors may vary in different regions. Therefore, the selection of suitable models for simulating climate change is a vital concern. This study was conducted to evaluate the performance of seven GCMs and their overall performance values based on Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) which downscaled for Vietnam (CMIP6_VN) in the upper part of Dong Nai river basin to simulate rainfall and near-surface temperature. Historical monitoring data in the period of 35-years (1980-2014) were collected to evaluate and categorize the rank of models' effectiveness according to statistical indicators, including: PBias percentage deviation, standard deviation (SD), Root mean square error (RMSE), Pearson correlation coefficient (R), and Taylor-Diagram. The results showed that GCMs performed different simulation outputs for each region depending on altitude and terrain factors. In addition, the ensemble means values of all GCMs achieve better comparative results than each individual model. In particular, the top five most effective models to simulate temperature and precipitation in the study area are EC-Earth3-Veg, CanESM5, EC-Earth3, HadGEM3-GC31-LL, and CNRM-CM6-1-HR, respectively.

Keywords: Climate change; CMIP6; General circulation model; Model ranking; Upper Part Dong Nai river basin.