

Bài báo khoa học

## Phân tích diễn biến của các chỉ số mưa trong bối cảnh biến đổi khí hậu trên lưu vực Vu Gia – Thu Bồn

Lê Ngọc Viên<sup>1</sup>, Nguyễn Mai Đăng<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Cao đẳng Công nghệ, Kinh tế và Thủy lợi miền Trung; lnvckt@gmail.com

<sup>2</sup> Trung tâm Đào tạo Quốc tế, Trường Đại học Thủy lợi; dang@tlu.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: dang@tlu.edu.vn; Tel.: +84-989551699

Ban Biên tập nhận bài: 2/4/2023; Ngày phản biện xong: 10/5/2023; Ngày đăng bài: 25/5/2023

**Tóm tắt:** Biến đổi khí hậu (BĐKH) đã làm thay đổi quá trình mưa và dòng chảy trên các lưu vực sông, ảnh hưởng đến việc quy hoạch, thiết kế và quản lý các công trình thủy lợi, thủy điện và phòng, chống thiên tai... Do vậy, bài báo này nghiên cứu sự biến đổi của các chỉ số mưa trên lưu vực sông Vu Gia–Thu Bồn trên cơ sở phân tích số liệu mưa thực đo và từ các mô hình khí hậu toàn cầu. Kết quả cho thấy các chỉ số liên quan đến mưa sinh lũ P95p, Prcp, R5dp đều tăng trong tương lai, và P95p tăng khoảng 50–100 mm so với thời kỳ nền, do vậy nguy cơ lũ lụt sẽ cao hơn. Chỉ số tổng lượng mưa năm (Ptot) và cường độ mưa ngày trung bình (SDII) cũng đều tăng, sự gia tăng này chủ yếu tập trung vào những tháng mưa lũ chính vụ (IX–XI). Bên cạnh đó, nguy cơ các đợt khô hạn cũng sẽ xuất hiện nhiều hơn do chỉ số Pcdd (số ngày không mưa liên tục trong năm) tăng lên, cụ thể số đợt có số ngày không mưa liên tục > 20 ngày sẽ tăng khoảng 15%, dẫn đến nguy cơ hạn hán sẽ gia tăng. Những thông tin này có thể tham khảo cho nhà quản lý và chuyên môn đề xuất các giải pháp đề thích ứng với BĐKH và đảm bảo an ninh nguồn nước trong tương lai.

**Từ khóa:** Chi tiết hóa thống kê; Biến đổi khí hậu; Hiệu chỉnh sai số; Chỉ số mưa; Vu Gia–Thu Bồn.

### 1. Giới thiệu

Có thể khẳng định rằng BĐKH đã có những tác động không thể đảo ngược đến các yếu tố khí tượng thủy văn và gây ra mối đe dọa lớn đối với sự sống [1]. Vì vậy, để phát triển kinh tế xã hội bền vững cần có những nghiên cứu đáng tin cậy về tác động của biến đổi khí hậu đối với môi trường và tài nguyên nước. Do các yếu tố trong tương lai luôn có tính không chắc chắn và khó dự đoán, đặc biệt khi chỉ áp dụng các công cụ thống kê cơ bản để phân tích các dữ liệu quan quan trắc, nên Mô hình khí hậu toàn cầu (*Global Climate Model – GCM*) được đánh giá là công cụ tốt nhất để nghiên cứu khí hậu khi xem xét các giả định/ các biên bên ngoài khác nhau. Nhiều GCM đã được phát triển bởi các cơ quan nghiên cứu uy tín để mô phỏng khí hậu dài hạn và định lượng tác động của biến đổi khí hậu [1]. Dự án so sánh liên mô hình theo cặp giai đoạn 5 (CMIP5) là bộ mô phỏng mô hình khí hậu mới nhất để nghiên cứu đánh giá toàn cầu hoặc khu vực [2–3]. Tuy nhiên, sản phẩm thô của GCM thường không được coi là nghiên cứu khí hậu ở quy mô địa phương do độ phân giải không gian thô của GCM [4–5]. Các phương pháp tăng độ phân giải của GCM đã khắc phục dần sự không phù hợp về độ phân giải khi đánh giá tác động của biến đổi khí hậu ở cấp lưu vực, chẳng hạn như lưu vực đầu nguồn để có được dữ liệu phân giải tốt hơn nhằm mô phỏng tốt hơn các quá trình thủy văn và thủy động lực học [6–7]. Chủ yếu có hai cách tiếp cận để chi tiết hóa GCM ở cấp

địa phương là chi tiết hóa động lực và chi tiết hóa thống kê [6–8]. Đầu ra của phương pháp tiếp cận chi tiết hóa động lực được coi là vượt trội do mô hình hóa tốt hơn các cơ chế khí hậu và hiện tượng vật lý [9–10]. Phương pháp chi tiết hóa thống kê lợi thế hơn so với chi tiết hóa động lực về sự thuận lợi trong tính toán và yêu cầu ít thời gian [5]. Vì vậy, chi tiết hóa thống kê được áp dụng nhiều cho các nghiên cứu ở quy mô khu vực (vùng) để đạt kết quả nhanh hơn [2, 6].

Bằng cách tiếp cận thống kê, phương pháp chi tiết hóa của GCM cũng không tránh khỏi sai số mô hình. Sai số mô hình là sự sai lệch có hệ thống của dữ liệu được mô hình hóa so với giá trị mong đợi [11]. Đầu ra của GCM bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, như là các giả định được đưa ra để phát triển GCM, trạng thái ban đầu, phương trình toán học và tương tác của các biến khác nhau được xem xét... Tuy nhiên, những yếu tố này gây ra sai số ngẫu nhiên hoặc hệ thống dẫn đến có thể đánh giá thiên lớn (hoặc thiên nhỏ) các biến khí hậu [11–13]. Mặt khác, các biến khí hậu thu được từ các GCM có độ phân giải không gian thô thường không phù hợp cho các ứng dụng ở quy mô khu vực. Mô hình GCM trung bình theo nhóm thường được áp dụng để giảm bớt hạn chế này giữa quá trình mưa quan trắc và quá trình mưa tính toán của GCM [14–15]. Tuy nhiên, cách tiếp cận này thích hợp hơn trong trường hợp nhiệt độ đồng nhất và không thay đổi đột ngột, đồng thời không thích hợp với lượng mưa có độ biến thiên cao vì lượng mưa không chỉ chịu ảnh hưởng của hoàn lưu quy mô lớn mà còn bị ảnh hưởng mạnh bởi các đặc điểm địa phương như độ cao, đặc điểm địa lý, thảm phủ thực vật,... [16–18]. Ngoài trừ nhiệt độ, áp suất và độ ẩm, các biến khác của GCM không nên sử dụng trực tiếp làm dữ liệu thô cho quy mô vùng và lượng mưa cho thấy ít phù hợp nhất với số liệu thực đo [18]. Do đó, quy trình hiệu chỉnh sai số thường được áp dụng để thu hẹp khoảng cách giữa kết quả tính toán mưa từ GCM và tài liệu quan trắc [19]. Quy trình hiệu chỉnh độ lệch cũng được áp dụng để điều chỉnh độ lệch trong mô hình tuần hoàn khu vực RCM và kết quả của GCM [13, 20, 21]. Các mô hình RCM được coi là tốt hơn so với GCM, tuy nhiên không thể khái quát hóa cho lượng mưa do có sự ảnh hưởng lớn của các đặc điểm khu vực [22–23]. Vì vậy, hiệu chỉnh sai số đã được ứng dụng cho các đầu ra của GCM trong nghiên cứu này. Các phương pháp hiệu chỉnh sai số khác nhau được các nhà nghiên cứu đề xuất và áp dụng để chi tiết hóa kết quả của các loại GCM. Ví dụ như: chuyển đổi tuyến tính (*Linear Scaling – LS*), tỷ lệ với cường độ mưa địa phương (*Local Precipitation Intensity Scaling – LOCI*), chuyển đổi theo hàm mũ, chuyển đổi theo phương sai, phân bố xác suất (*Distribution Mapping – DM*), và cách tiếp cận thay đổi khoảng delta,... [13].

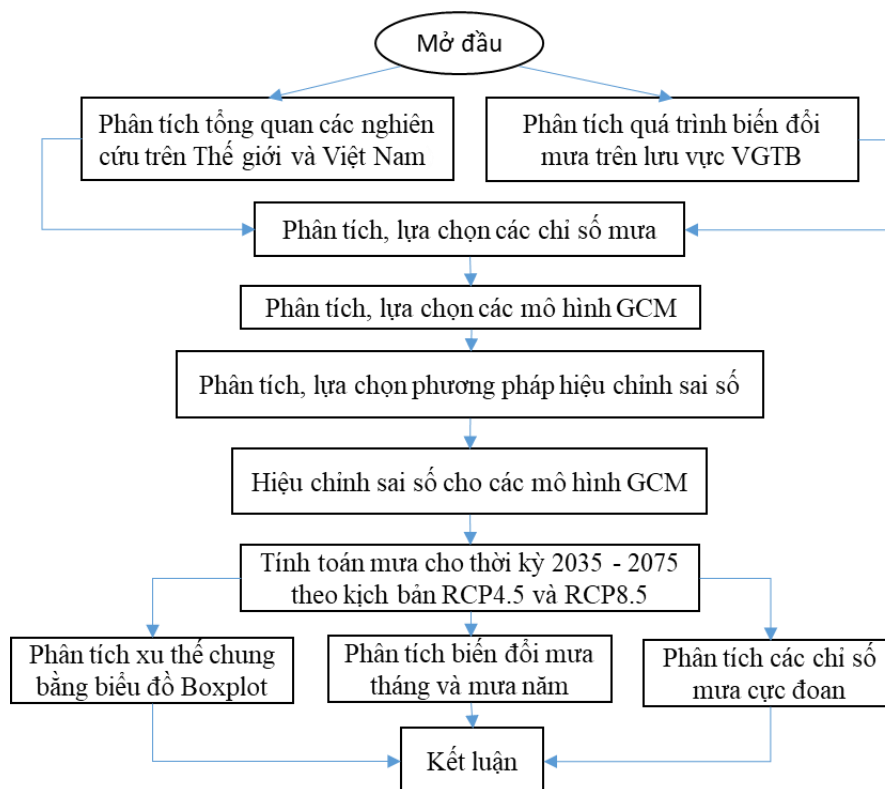
Nghiên cứu biến đổi khí hậu liên quan đến nhiệt độ và lượng mưa chủ yếu tập trung vào việc đánh giá những thay đổi về trung bình dài hạn, gần đây có xu thế chuyển sang xem xét ảnh hưởng của các trận mưa cực trị [24]. Bởi vì trong phân bố tần suất của các trị số mưa cực trị, chỉ cần thay đổi ít về trị số tần suất cũng có thể làm thay đổi lớn về trị số mưa cực trị, tức là mưa sinh lũ lớn và có thể gây ra thiệt hại lớn cho xã hội [25]. Tuy nhiên, vẫn có rất ít nghiên cứu xem xét các hiện tượng cực đoan dưới tác động của biến đổi khí hậu [26–28].

Đối với lưu vực nghiên cứu, kết quả từ số liệu thực đo 1978–2020 cho thấy xu thế mưa  $X_{1\max}$ ,  $X_{3\max}$ , và  $X_{5\max}$  của các trạm trên lưu vực đều tăng trung bình từ 0,5–3,0 mm/năm, 0,8–6,5 mm/năm, và 1,0–7,0 mm/năm. Đặc biệt khu vực tâm mưa Trà My có xu hướng tăng nhiều nhất. Theo kịch bản biến đổi khí hậu của Bộ TNMT công bố năm 2020, tổng lượng mưa năm các thời kỳ tương lai giữa thế kỷ và cuối thế kỷ bình quân khu vực Quảng Nam – Đà Nẵng tăng 14,4–21,5% so với kỳ cơ sở (1986–2005); tổng lượng mưa các mùa đông, xuân, hè, thu cũng đều tăng trung bình từ 1,3–25,4% (trừ trường hợp cá biệt có thời kỳ giảm). Tuy nhiên các kết quả theo kịch bản này không cho biết cụ thể cho từng khu vực, và cũng chưa có thông tin chi tiết cho từng chỉ số mưa, đặc biệt là các chỉ số mưa cực đoan.

Từ các đánh giá tổng quan trên, thấy rằng đến nay chưa có nghiên cứu nào chi tiết để đánh giá sự biến đổi các chỉ số mưa cực đoan cho lưu vực VGTB. Bài báo này tập trung đi sâu vào đánh giá biến đổi các trận mưa cực trị trong tương lai do tác động của BĐKH nhờ sự xem xét các chỉ số mưa cực đoan khác nhau trên lưu vực VGTB.

## 2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu dùng để tính toán

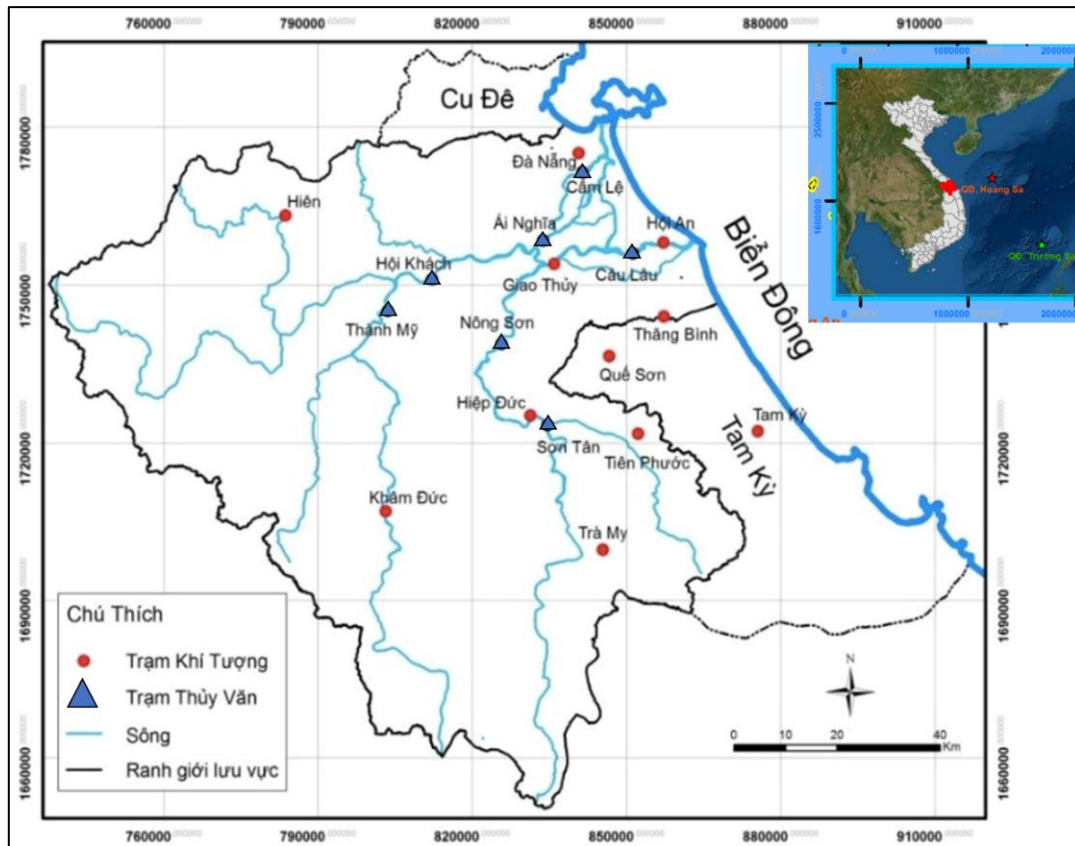
Các bước nghiên cứu được khai quát hóa trong sơ đồ ở Hình 1.



**Hình 1.** Sơ đồ mô tả các bước nghiên cứu.

### 2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông VGTB thuộc loại lớn ở miền Trung với tổng diện tích lưu vực khoảng 10.350 km<sup>2</sup> (Hình 2), có 2 nhánh chính là Vu Gia và Thu Bồn. Bắt nguồn từ dãy Trường Sơn, đi qua một vùng đồng bằng hẹp dọc theo bờ biển và cuối cùng đổ ra Biển Đông [26, 29]. Địa hình khu vực này rất phức tạp với cảnh quan đồi núi hẹp ở thượng nguồn và cửa sông bằng phẳng ở cuối hạ lưu về phía Đông [30]. Khí hậu lưu vực là nhiệt đới gió mùa với ảnh hưởng vùng chi phối của dãy Trường Sơn, ảnh hưởng đến khí hậu vùng này có hai mùa rõ rệt: mùa đông (tháng 11 đến tháng 4) và mùa hạ (tháng 5 đến tháng 10) [31]. Lượng mưa mùa mưa chiếm 57–74% lượng mưa hàng năm, thường kéo dài trong khoảng 4 tháng từ tháng 9 đến tháng 12. Lưu vực nhận được 26–43% lượng mưa hàng năm vào mùa khô (I–VIII). Lượng mưa trên lưu vực sông VGTB giảm dần theo hướng dịch chuyển từ Tây sang Đông. Vùng núi cao nhận được lượng mưa trung bình hàng năm khoảng 3.100–4.200 mm, vùng núi trung bình khoảng 2.500–3.000 mm trong khi vùng núi thấp và vùng ven biển nhận được khoảng 2.100–2.500 mm [32–33]. Trong trận mưa lịch sử 1–5/11/1999 đã ghi nhận lượng mưa 1 ngày lớn nhất lên đến 667 mm tại Hội An, ít nhất cũng là 405 mm tại Tam Kỳ. Tuy nhiên, ngày 5/11/2017 tại Trà My đã phá kỷ lục với  $X_{1max} = 782$  mm. Đối với  $X_{3max}$ ,  $X_{5max}$  và  $X_{7max}$  thì ghi nhận tại trạm Trao trong đợt mưa 14–20/11/1980 lần lượt là 1124 mm, 1488 mm và 1677 mm. Ngược lại với mưa lớn cực trị xảy ra trong mùa mưa, thì trong mùa khô lượng mưa lại suy giảm đã khiến tình hình hạn hán, xâm nhập mặn diễn ra rất nghiêm trọng trên lưu vực. Năm 2014, 2015 và 2016 có tổng lượng mưa thiếu hụt nhiều so với cùng kỳ trung bình nhiều năm lần lượt là 150 ÷ 790 mm, 50 ÷ 550 mm và 30 ÷ 300 mm. Đến 2020 cũng là năm thời tiết bất thường, từ tháng 1–9 tình hình hạn hán thiếu nước xảy ra nghiêm trọng ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất và sinh hoạt của người dân.



**Hình 2.** Lưu vực sông VGTB và các trạm KTTV.

### 2.2. Số liệu dùng để tính toán

Các loại số liệu thực đo và dữ liệu từ các GCM đã được sử dụng để nghiên cứu và tính toán trong nghiên cứu này. Mưa ngày thực đo giai đoạn 1978–2020 từ sáu trạm đo mưa trên lưu vực VGTB là Đà Nẵng, Hiên, Nông Sơn, Hội An, Khâm Đức và Trà My, được thể hiện trong Hình 1.

Có 10 tổ hợp dữ liệu mưa từ 5 mô hình GCM tính toán cho hai kịch bản phát thải trong tương lai AR5 (RCP4.5, RCP8.5) đã được sử dụng (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/>) trong nghiên cứu này. Phương pháp nội suy đồng tuyến tính đã được áp dụng để có được kết quả đầu ra GCM tại các vị trí của 6 trạm mưa. Chi tiết về dữ liệu GCM được sử dụng trong nghiên cứu này thể hiện trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Các thông số của các GCM.

Mô hình GCM	Quốc gia	Kịch bản phát thải	Độ phân giải không gian
CCSM4	NCAR/USA	RCP 4.5, 8.5	$0.94^{\circ} \times 1.25^{\circ}$
CSIRO-Mk 3.6	Australia	RCP 4.5, 8.5	$1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$
HadGEM2-ES	Hadley/UK	RCP 4.5, 8.5	$1.25^{\circ} \times 1.875^{\circ}$
MPI-ESM-LR	Germany	RCP 4.5, 8.5	$1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$
ACCESS 1.0	Australia	RCP 4.5, 8.5	$1.25^{\circ} \times 1.875^{\circ}$

### 2.3. Phương pháp tính toán và thiết lập mô hình

#### 2.3.1. Phương pháp chi tiết hóa thống kê và hiệu chỉnh sai số

Các phương pháp hiệu chỉnh sai số theo LS, LOCI và DM đã được áp dụng trong nghiên cứu này để chi tiết hóa kết quả mưa từ các GCM. Các biến số và chỉ số được sử dụng để mô tả các phương pháp này được đưa ra trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Các biến số và chỉ số sử dụng trong nghiên cứu.

Biến số	Mô tả	Chỉ số	Mô tả
$\alpha, \beta$	Các tham số hình dạng và tỷ lệ phân phối Gamma	$*$ , $'$	Các chỉ số hình dạng và tỷ lệ phân phối Gamma
$d$	Thời khoảng ngày	$\gamma$	Phân phối Gamma
$F$	Hàm phân phối tích lũy (CDF)	$m$	Thời khoảng tháng
$F^{-1}$	Nghịch đảo của CDF	$obs$	Thực đo
$\mu$	Trị số trung bình	$ref$	Mô hình RCM mô phỏng cho thời kỳ 1980–2011
$P$	Mưa	$fut$	Mô hình RCM mô phỏng cho thời kỳ 2012–2039
$s$	Hệ số tỷ lệ	$th$	Ngưỡng (Threshold)

2.3.2. Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo tỷ lệ tuyến tính (*Linear scaling – LS*)

Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo tỷ lệ tuyến tính [34] được đánh giá là phù hợp nhất để hiệu chỉnh sai số cho dữ liệu mưa thời đoạn tháng. Giả định cơ bản trong phương pháp này là: các giá trị hiệu chỉnh dựa trên sự khác biệt giữa lượng mưa thực đo được và mô phỏng GCM trong thời gian tham chiếu (thời kỳ nền) sẽ không thay đổi, và các giá trị mô phỏng của GCM trong tương lai được hiệu chỉnh theo sự khác biệt trong thời kỳ nền. Lượng mưa ngày được điều chỉnh để tham khảo và thời gian trong tương lai được thu thập bằng cách sử dụng Công thức (1) và (2).

$$P'_{ref}(d) = P_{ref}(d) \times \left( \frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{ref}(d))} \right) \tag{1}$$

$$P'_{fut}(d) = P_{fut}(d) \times \left( \frac{\mu_m(P_{obs}(d))}{\mu_m(P_{ref}(d))} \right) \tag{2}$$

2.3.3. Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo cường độ mưa địa phương (LOCI)

Phương pháp LS chỉ hiệu chỉnh sai số được giá trị trung bình, nên sử dụng phương pháp LOCI để hiệu chỉnh được cả giá trị trung bình cũng như tần suất và cường độ mưa ngày theo địa phương [35] (theo các trạm mưa đại diện cho từng tiểu lưu vực). Các bước liên quan đến phương pháp LOCI được mô tả dưới đây:

- Ngưỡng lượng mưa (*rainfall threshold*) được chọn từ lượng mưa mô phỏng trong các GCM sao cho những ngày có lượng mưa nhỏ hơn lượng mưa ngưỡng được chọn là những ngày không mưa có giá trị bằng 0, và những ngày mưa vượt ngưỡng sẽ lấy giá trị bằng những ngày mưa quan trắc (tại trạm). Sau đó, số lượng các trận mưa cho cả giai đoạn tham chiếu (thời kỳ nền) và trong tương lai được điều chỉnh bằng cách áp dụng ngưỡng lượng mưa:

$$P^*_{ref}(d) = \begin{cases} 0, & \text{nếu } P_{ref}(d) < P_{th} \\ P_{ref}(d) & \end{cases} \tag{3}$$

$$P^*_{fut}(d) = \begin{cases} 0, & \text{nếu } P_{fut}(d) < P_{th} \\ P_{fut}(d) & \end{cases} \tag{4}$$

- Hệ số tỷ lệ tuyến tính được ước tính dựa trên cường độ mưa ngày trung bình theo tháng với chuỗi số liệu nhiều năm. Chọn những ngày có mưa từ dữ liệu quan trắc với lượng mưa > 0 mm và những ngày có lượng mưa lớn hơn ngưỡng mưa trong mô phỏng của các GCM. Các hệ số tỷ lệ cường độ mưa được tính bằng công thức (5).



$$s = \frac{\mu_m (P_{\text{obs}}(d) | P_{\text{obs}}(d) > 0 \text{ mm})}{\mu_m (P_{\text{ref}}(d) | P_{\text{ref}}(d) > P_{\text{th}}) - P_{\text{th}}} \quad (5)$$

- Cuối cùng, việc hiệu chỉnh lượng mưa được mô phỏng theo GCM và các giai đoạn tham chiếu và thời kỳ tương lai được thực hiện như sau:

$$P'_{\text{ref}}(d) = P^*_{\text{ref}}(d) \times s \quad (6)$$

$$P'_{\text{fut}}(d) = P^*_{\text{fut}}(d) \times s \quad (7)$$

#### 2.3.4. Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo phân bố xác suất (DM)

Phương pháp hiệu chỉnh sai số theo DM là một dạng của phương pháp hiệu chỉnh phân vị (quantile mapping), hiệu chỉnh hàm phân phối xác suất của lượng mưa ngày dựa trên các hàm phân phối tần suất lũy tích (CDF) của dữ liệu mưa thực đo [13]. CDF được xây dựng cho cả lượng mưa thực đo và lượng mưa mô phỏng GCM, tức là, cho tất cả các ngày trong một tháng của giai đoạn 1978–2005. Sau đó, giá trị của lượng mưa mô phỏng GCM của ngày (d) trong tháng (m) được tìm kiếm trên hàm phân phối lũy tích thực nghiệm (ECDFs) của mô phỏng GCM cùng với xác suất lũy tích tương ứng của nó. Sau đó, giá trị của lượng mưa có cùng xác suất lũy tích được xác định trên các ECDF của các giá trị thực đo. Cuối cùng, lượng mưa ngày cho các thời kỳ nền và thời kỳ tương lai được tính toán bằng công thức (8) và (9), theo CDF của phân bố Gamma ( $F_\gamma$ ) và nghịch đảo ( $F_\gamma^{-1}$ ).

$$P'_{\text{ref}}(d) = F_\gamma^{-1} \left( F_\gamma (P_{\text{ref}}(d) | \alpha_{\text{ref},m}, \beta_{\text{ref},m}) | \alpha_{\text{obs},m}, \beta_{\text{obs},m} \right) \quad (8)$$

$$P'_{\text{fut}}(d) = F_\gamma^{-1} \left( F_\gamma (P_{\text{fut}}(d) | \alpha_{\text{ref},m}, \beta_{\text{ref},m}) | \alpha_{\text{obs},m}, \beta_{\text{obs},m} \right) \quad (9)$$

#### 2.3.5. Phân tích các chỉ số mưa cực đoan

Những biến đổi trong các hiện tượng mưa cực đoan đã được đánh giá dựa trên 6 chỉ số sau: (1) lượng mưa phân vị thứ 95 (P95p, mm) tức là mưa ứng với tần suất 5%; (2) tổng số ngày mưa lớn trong năm (Prcp, ngày); (3) cường độ mưa ngày tính trung bình cho những ngày có mưa (SDII, mm/ngày); (4) lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R5dp, mm); (5) tổng lượng mưa năm (Ptot, mm); và (6) tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất hàng năm (Pcdd, ngày) [36–38]. Các chỉ số này rất hữu ích để mô tả phần lớn các hiện tượng và đặc điểm mưa cực đoan.

a) Tổng lượng mưa năm tại phân vị mức 95% (P95p<sub>(j)</sub>, mm)

P95p<sub>(j)</sub> là tổng lượng mưa năm của năm thứ 'j' tại phân vị mức 95% khi chỉ xét những ngày có mưa trong năm đó. Ngày có mưa được quy ước là ngày có lượng mưa  $\geq 1,0$  mm, còn lại nếu  $< 1,0$  mm coi như không mưa.

b) Tổng số ngày mưa lớn trong năm (Prcp<sub>(j)</sub>, ngày)

Chỉ số này cho biết tổng số ngày mưa lớn trong năm (j), quy ước là những ngày có lượng mưa > lượng mưa ngày tại phân vị mức 95% (P95p<sub>(j)</sub> đã tính ở trên).

c) Cường độ mưa ngày trung bình của những ngày có mưa (SDII<sub>(j)</sub>, mm/ngày)

SDII<sub>j</sub> (Simple Precipitation Intensity Index) là chỉ số cường độ mưa ngày trung bình của những ngày có mưa trong năm thứ (j), được tính theo công thức:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (10)$$

d) Tổng lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R5dp<sub>(j)</sub>, mm)

Chỉ số này đưa ra tổng lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất trong năm 'j'.

e) Tổng lượng mưa năm ( $P_{tot(j)}$ , mm)

Chỉ số này đưa ra tổng lượng mưa của tất cả những ngày có mưa (theo quy ước có lượng mưa  $\geq 1.0$  mm) trong năm (j), được tính theo công thức:

$$P_{tot_j} = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \tag{11}$$

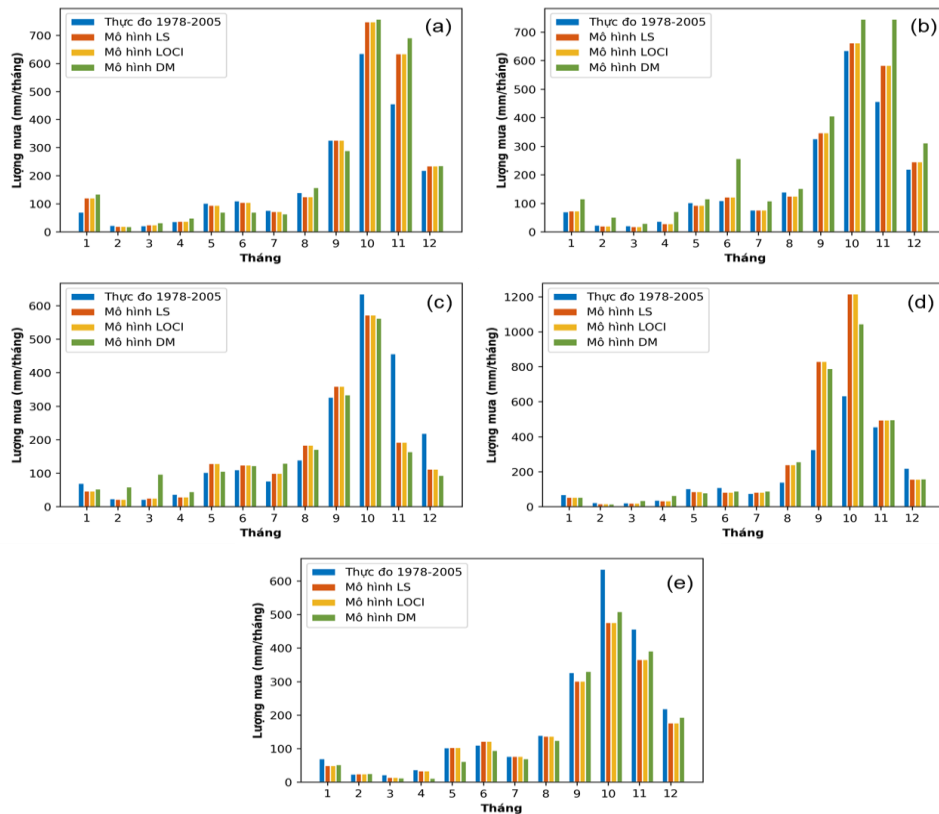
f) Tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm ( $P_{cdd(j)}$ , ngày)

Chỉ số này mô tả tổng số ngày không mưa liên tục lớn nhất trong từng năm (j).

### 3. Kết quả và thảo luận

#### 3.1. Hiệu chỉnh sai số cho 6 trạm đo mưa

Ba phương pháp hiệu chỉnh sai số đã được áp dụng để hiệu chỉnh sai số về giá trị trung bình, tần số xuất hiện của lượng mưa trong các GCM. Kịch bản thời kỳ cơ sở (nền) cho các GCM là lượng mưa thực đo thời kỳ 1987–2005, trong khi tính toán cho tương lai là các thời kỳ 2035–2075 (giai đoạn giữa thế kỷ). Hiệu quả thống kê của các phương pháp hiệu chỉnh sai số được trình bày trong Bảng 3, được đánh giá bằng các chỉ số hiệu suất RMSE, MAE và  $R^2$ . Có thể thấy rằng có sự thay đổi nhỏ trong tất cả các chỉ số hiệu quả tại các trạm mưa khác nhau, cụ thể là: RMSE và MAE lần lượt thay đổi từ 7,849 đến 14,177 và 4,54 đến 7,809;  $R^2$  dao động trong phạm vi 0,419–0,557 đối với biến lượng mưa ngày. Trên cơ sở đánh giá hiệu quả, phương pháp LS và LOCI tốt hơn so với phương pháp DM.



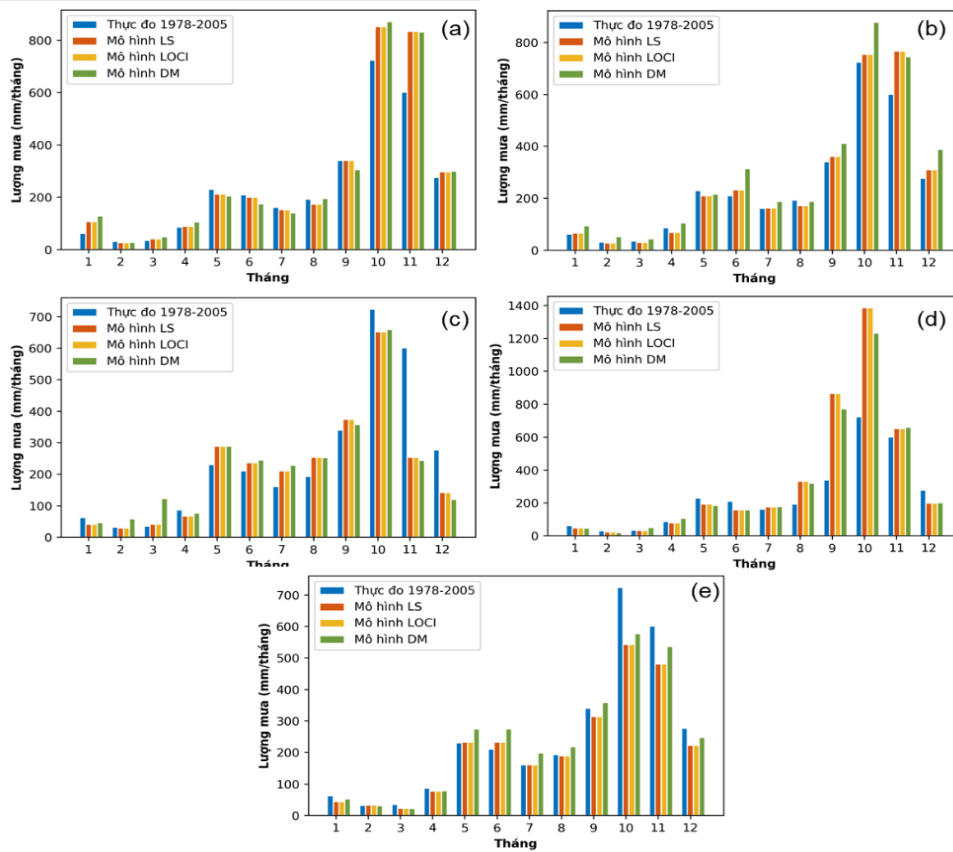
**Hình 1.** Kết quả của các phương pháp hiệu chỉnh sai số cho các mô hình RCM: (a) ACCESS (b) CCSM (c), CSIRO (d), HadGEM và (e) MPI-GCM tại trạm Đà Nẵng.

Lượng mưa tháng tại các trạm Đà Nẵng và Nông Sơn sau khi hiệu chỉnh sai số lần lượt được thể hiện trên Hình 3 và Hình 4. Có thể thấy dữ liệu GCM khi đã hiệu chỉnh sai số có sự phù hợp khá tốt với số liệu mưa thực đo của thời kỳ cơ sở. Không có nhiều biến động về lượng mưa từ thấp đến trung bình. Tuy nhiên, một số ngày lượng mưa lớn không thể được mô phỏng tốt do trong một số thời kỳ có lượng mưa ngày biến động lớn. Ở đây cũng cho thấy các phương pháp hiệu chỉnh sai số LS và LOCI thực hiện tốt hơn so với phương pháp DM.

Có thể nhận thấy rằng lượng mưa được điều chỉnh sai số bằng cách sử dụng CCSM và CSIRO gần với các số liệu thực đo hơn nhiều so với các GCM khác. Mô hình HadGCM không thể mô phỏng tốt khi so sánh với mưa thực đo, và cho thấy mưa từ mô hình cao hơn so với mưa thực đo trong những tháng mùa mưa (IX–XII) và thấp hơn trong mùa khô (I–VIII).

**Bảng 3.** Kết quả của hiệu chỉnh sai số bằng 3 phương pháp (LS, LOCI, DM) cho 6 trạm mưa.

Phương pháp hiệu chỉnh sai số	Chỉ số đánh giá hiệu quả	Đà Nẵng	Hiên	Nông Sơn	Hội An	Khâm Đức	Trà My
LS	RMSE	8,139	7,849	9,647	8,311	11,21	14,177
	MAE	4,540	4,501	5,631	4,662	6,020	7,809
	R <sup>2</sup>	0,546	0,419	0,531	0,533	0,557	0,543
LOCI	RMSE	8,429	7,965	9,874	8,632	12,51	15,472
	MAE	4,65	4,672	5,863	4,945	6,532	7,944
	R <sup>2</sup>	0,521	0,402	0,511	0,512	0,517	0,499
DM	RMSE	9,252	8,98	10,326	9,849	11,274	13,626
	MAE	5,246	5,108	6,251	5,535	6,395	8,12
	R <sup>2</sup>	0,487	0,358	0,495	0,458	0,55	0,551



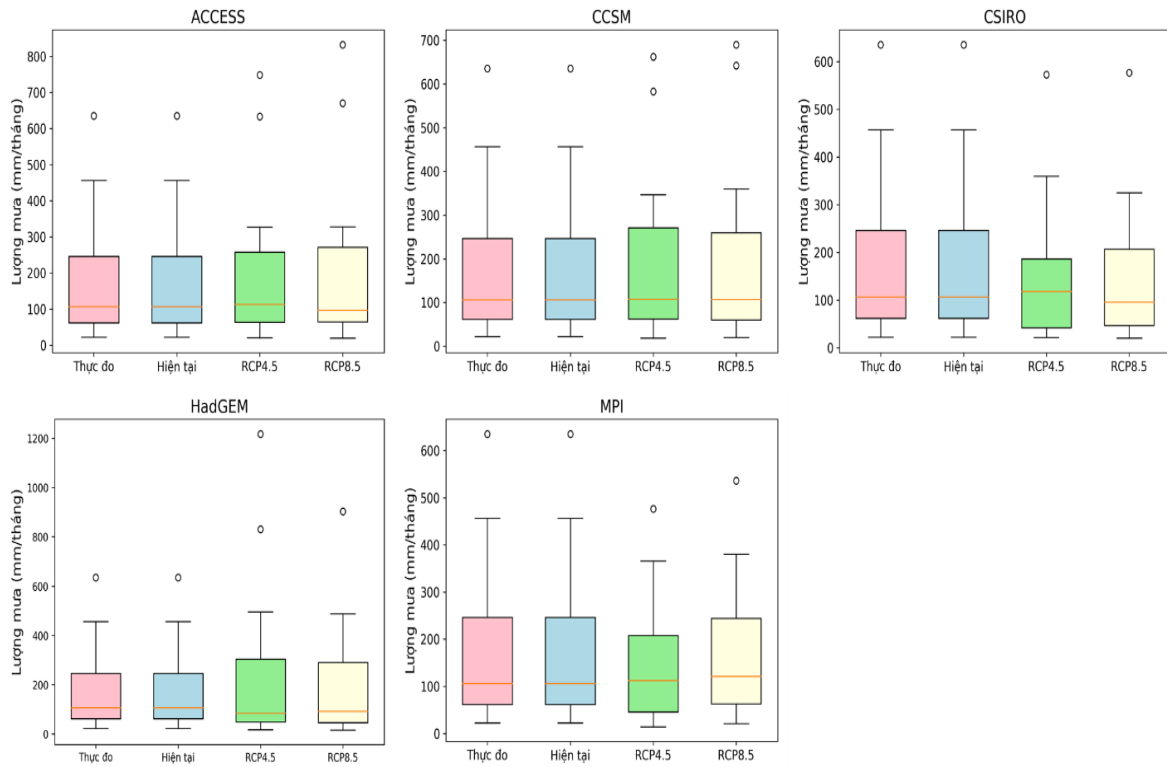
**Hình 2.** Kết quả hiệu chỉnh sai số cho các mô hình ACCESS: (a) và CCSM (b), CSIRO (c), HadGEM (d) và MPI-GCM (e) tại trạm Nông Sơn.

### 3.2. Tính toán các kịch bản mưa trong tương lai

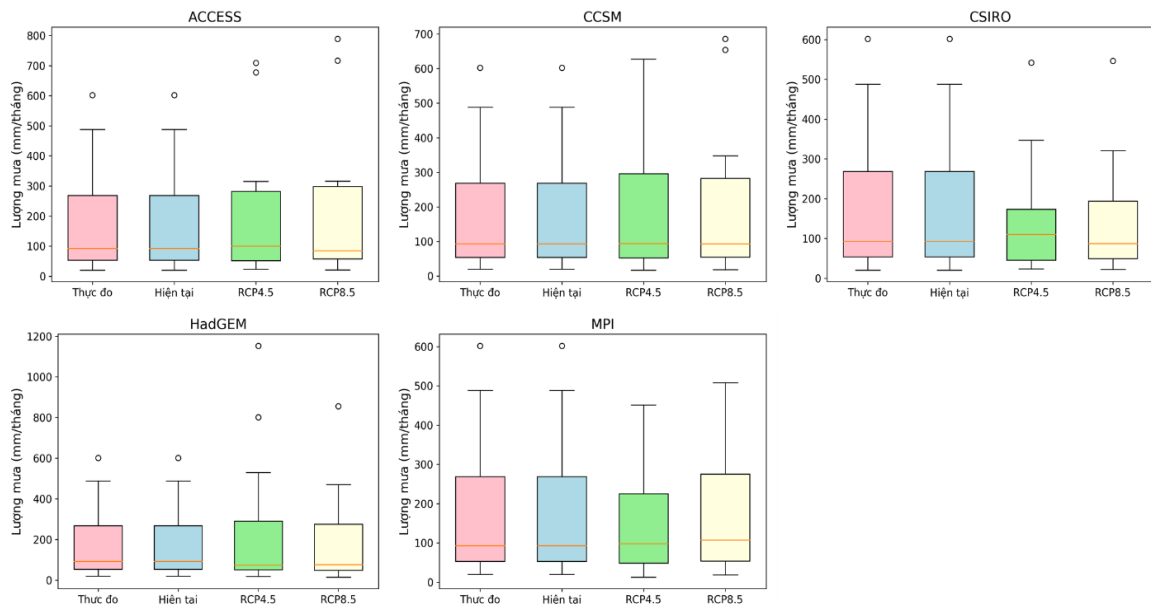
Kết quả đánh giá, so sánh mưa thực đo (1978–2005) và mưa từ các GCM giai đoạn nền (1978–2005) và giai đoạn tương lai (2035–2075) ứng với các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 tại trạm Đà Nẵng và Nông Sơn được thể hiện ở hình 5 và hình 6. Sử dụng phương pháp đánh giá các đặc trưng thống kê và thể hiện trên biểu đồ Boxplot để dễ xem xét, phân tích kết quả tính toán giữa các mô hình. Kết quả từ biểu đồ cho thấy quá trình mưa tính toán của GCM khá khớp với mưa thực đo ở giai đoạn nền. Sự mô phỏng quá trình mưa trên lưu vực của mô



hình CCSM thể hiện tốt hơn so với các mô hình khác, nên các kết quả từ mô hình này được xem là đáng tin cậy và được chọn ưu tiên tính toán trong nghiên cứu này. Mô hình CSIRO cũng có thể phù hợp tốt với các quá trình mưa thực đo.



**Hình 3.** Kết quả đánh giá thống kê bằng biểu đồ Boxplot cho mưa thực đo và BĐKH của 5 GCM tại trạm Đà Nẵng.

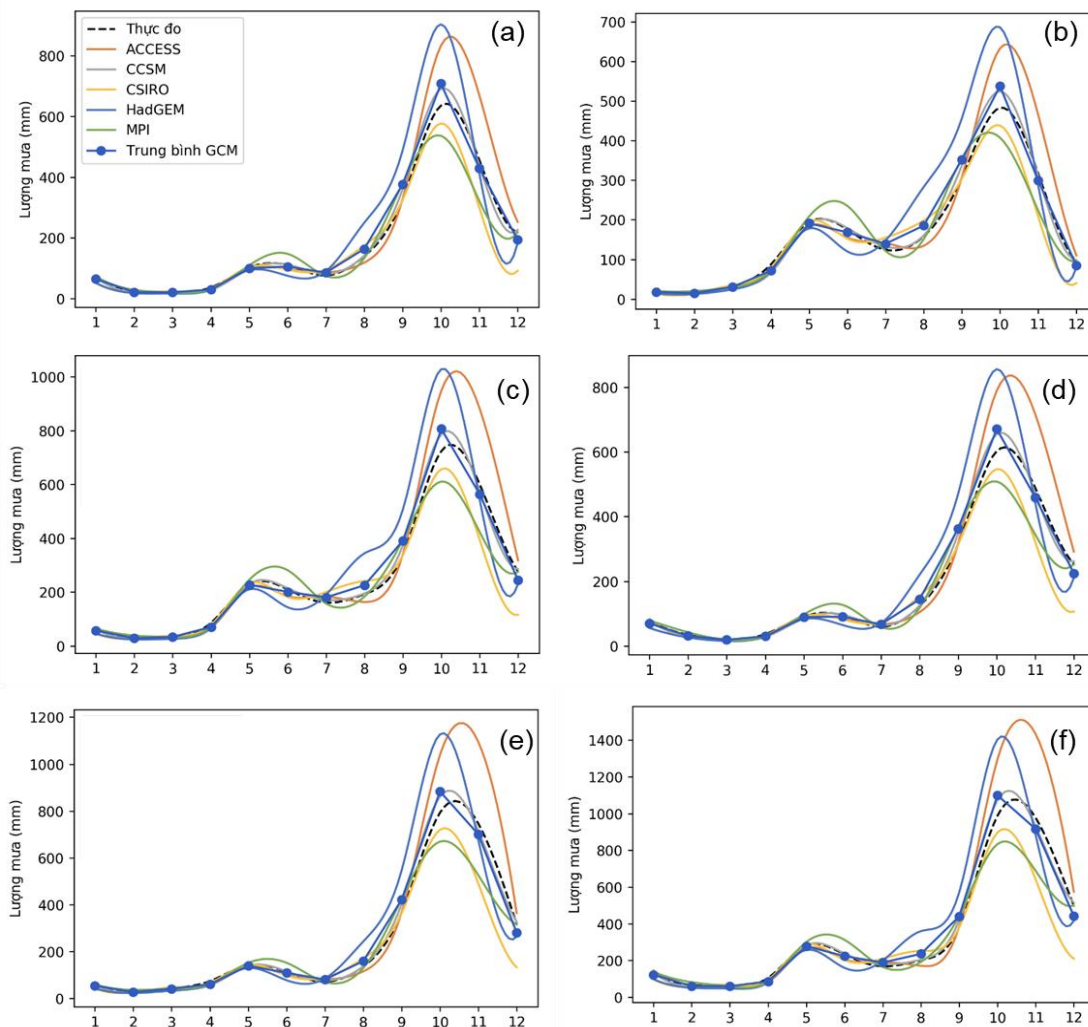


**Hình 4.** Kết quả đánh giá thống kê bằng biểu đồ Boxplot cho mưa thực đo và BĐKH của 5 GCM tại trạm Nông Sơn.

Có thể quan sát thấy từ các biểu đồ thống kê của CCSM thì lượng mưa trung bình hàng tháng sẽ tăng lên trong tương lai khi xem xét các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Mô hình CCSM chỉ ra trong tương lai sẽ có số lượng các trận mưa cực đoạn ( $X > 500$  mm) sẽ nhiều hơn so với quá khứ. Tuy nhiên, RCP4.5 của CSIRO cho biết lượng mưa trung bình tháng cao

hơn so với thời kỳ nền và số lượng các tháng có mưa nhỏ ( $X < 50$  mm) cũng nhiều hơn so với thời kỳ nền; trong khi RCP8.5 của CCSM lại cho thấy tần suất xuất hiện của những tháng có mưa cực đoạn ( $X > 500$  mm) tăng nhiều hơn của những tháng có mưa bình thường ( $X = 250$  mm). Xem xét tổng thể các tính toán trong tương lai của các GCM, có thể kết luận rằng sẽ có nhiều các trận mưa lớn hơn so với so với thời kỳ nền.

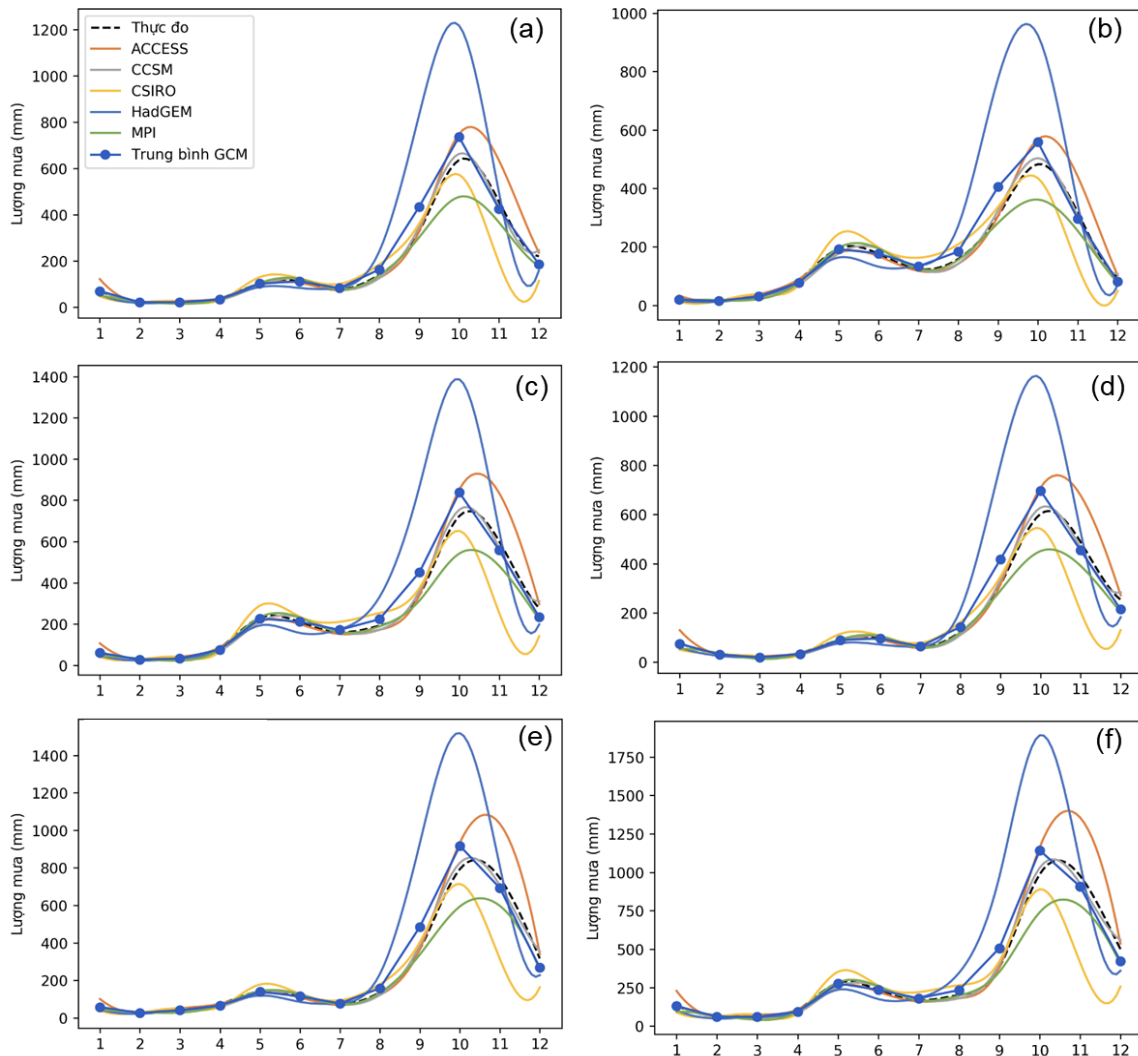
Kết quả cho thấy sự khác biệt lớn giữa mưa trong tương lai trên các tính toán của GCM. Điều này dễ hiểu vì tất cả các mô hình GCM đều có giả định trạng thái ban đầu khác nhau để mô phỏng các hiện tượng nhà kính [39], dẫn đến sẽ có sự khác biệt trong các sản phẩm chi tiết hóa thống kê từ các GCM. Do đó, trên thực tế trung bình của tổ hợp GCM được áp dụng để giảm đáng kể sự không chắc chắn trong nghiên cứu biến đổi khí hậu [40, 41]. Trung bình tổ hợp GCM (*Ensemble average – EAG*) được tính bằng cách lấy trung bình cộng của tất cả các phép chiếu của các mô hình GCM tại mỗi trạm.



**Hình 5.** Tính toán mưa cho kịch bản RCP4.5 tại các trạm: a) Đà Nẵng, b) Hiên, c) Nông Sơn, d) Hội An, e) Khâm Đức, f) Trà My.

Kết quả hình 7 và hình 8 cho thấy thời kỳ mùa khô (I–V) số liệu từ các mô hình GCM rất sát với thực đo, tuy nhiên những tháng mùa mưa có sự khác biệt rõ rệt, đặc biệt là thời kỳ lũ chính vụ IX–XII. Mô hình HadGEM và ACCESS dự đoán lượng mưa trong tương lai tăng rõ rệt so với thời kỳ nền, nhưng MPI và CSIRO lại cho kết quả lượng mưa giảm. Mô hình HadGEM tính toán lượng mưa tháng lớn nhất trong mùa lũ dao động 1.000–1.750 mm mỗi tháng, trong khi mô hình CSIRO ước tính lượng mưa hàng tháng cao nhất từ 400–800 mm, thấp hơn nhiều so với kết quả từ HadGEM trên cả 6 trạm mưa với kịch bản RCP4.5. Điều này cho thấy sự thay đổi đáng kể giữa các dự đoán của GCM về lượng mưa theo cả phân bố không gian và thời gian. Các kết quả của mô hình CCSM và đường trung bình GCM gần như

tương tự nhau và cho thấy lượng mưa trong mùa mưa tăng 10–25% so với thời kỳ nền đã quan trắc được. Phần lớn các kết quả từ GCM đã cho thấy sự thay đổi chút ít về thời gian xuất hiện mưa lớn so với thời kỳ nền, thời kỳ lũ tiểu mãn (lũ sớm: V–VII) các mô hình GCM kịch bản RCP4.5 cho lượng mưa cao hơn so với mưa thực đo của thời kỳ nền.

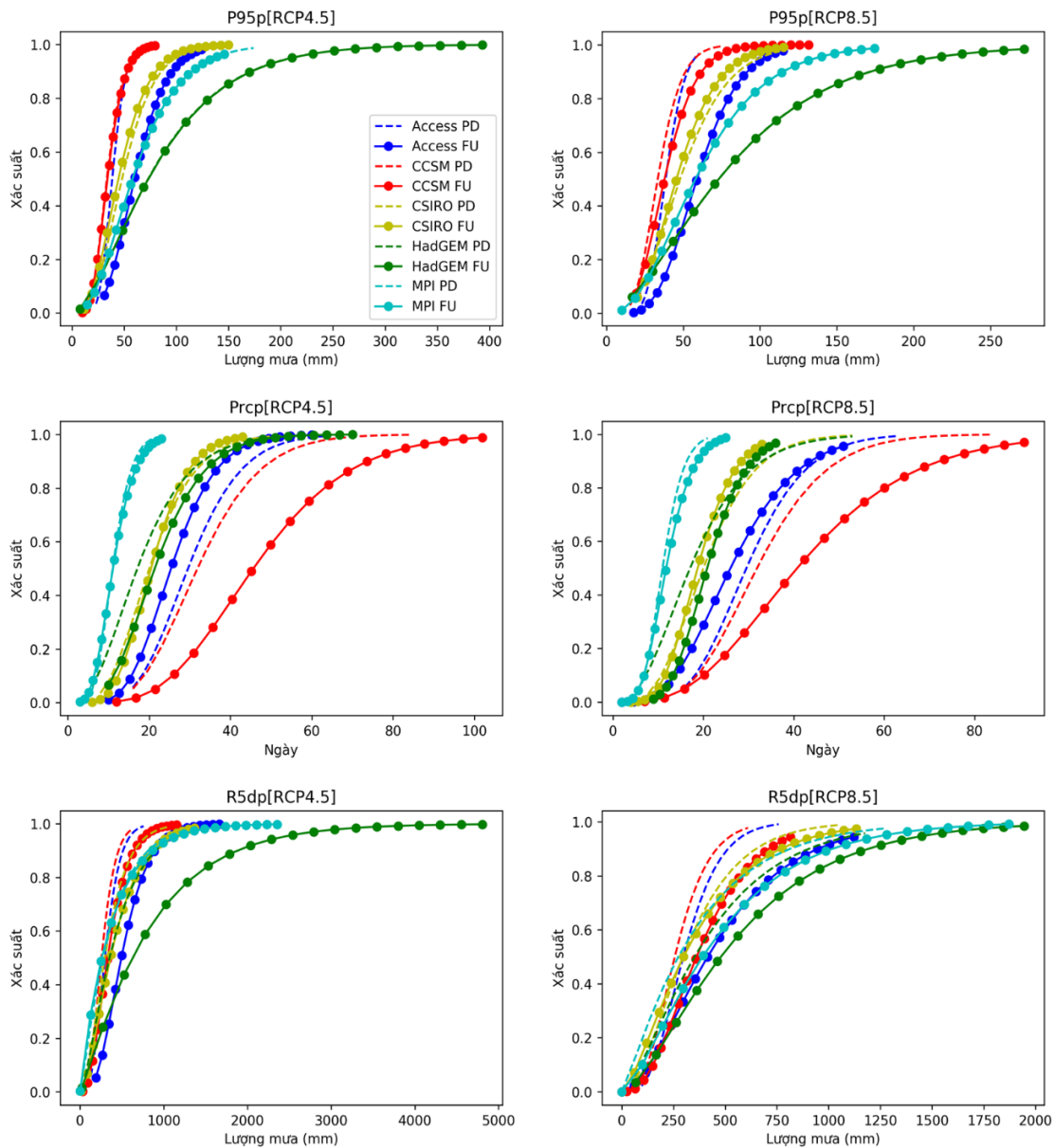


**Hình 6.** Tính toán mưa cho kịch bản RCP8.5 tại các trạm: a) Đà Nẵng, b) Hiên, c) Nông Sơn, d) Hội An, e) Khâm Đức, f) Trà My.

Kết quả tính toán theo kịch bản RCP8.5 chỉ ra lượng mưa trong các tháng mùa mưa cao hơn 5–15% so với kịch bản RCP4.5, điều đó cho thấy các hiện tượng mưa cực đoạn sẽ xuất hiện nhiều hơn vào mùa mưa. Thể hiện trội nhất là mô hình HadGEM rồi đến ACCESS. Tương tự như kịch bản RCP4.5, thời kỳ lũ tiểu mãn (lũ sớm: V–VII) các mô hình GCM kịch bản RCP8.5 cũng cho lượng mưa cao hơn so với thời kỳ nền.

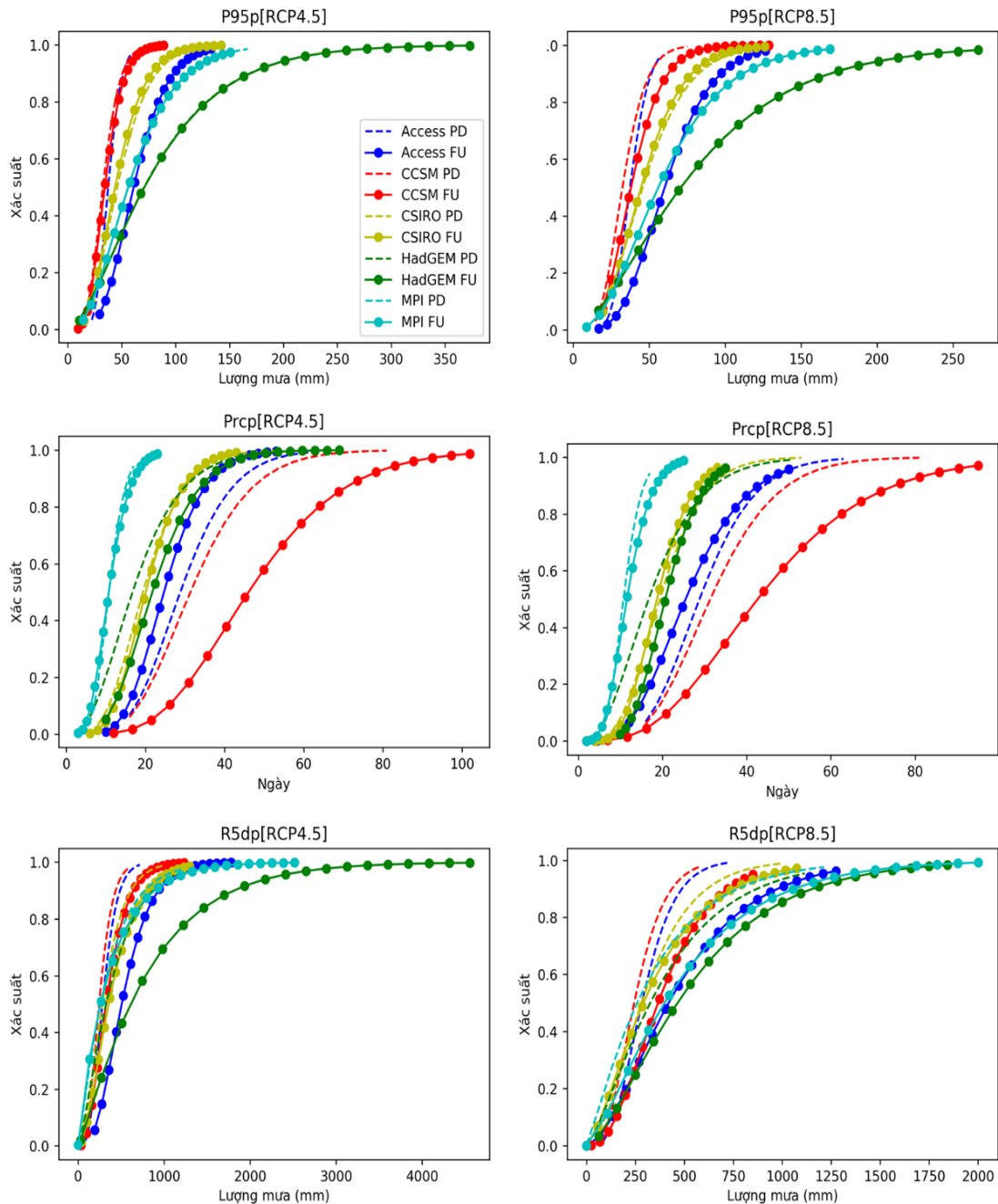
### 3.3. Xu thế của các chỉ số mưa cực đoạn

Hình 9 và hình 10 mô tả các hàm phân phối Gama lũy tích (CDF) của lượng mưa phân vị thứ 95 ( $P_{95p}$ , mm) – mưa ngày ứng với tần suất 5%; số ngày mưa lớn ( $P > P_{95p}$ ) trong năm ( $Pr_{cp}$ , ngày); và lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất ( $R_{5dp}$ , mm) của kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm đo mưa Đà Nẵng và Nông Sơn. Xét cho thời kỳ hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCM.



**Hình 7.** Hàm phân bố Gamma lũy tích (CDF) của mưa phân vị thứ 95 (P95p, mm), số ngày mưa lớn trong năm (Prcp, day), lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R5dp, mm) cho hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCMs với 2 kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm Đà Nẵng.

Kết quả cho thấy phân phối tần suất lũy tích (CDF) Gamma đều phù hợp với quá trình mưa hiện tại và tương lai của trạm Đà Nẵng và Nông Sơn (Hình 9 và Hình 10). Chỉ số P95p cho biết lượng mưa của các trận mưa có xác suất vượt ngưỡng 5% (tức là 95% khả năng lượng mưa thấp hơn P95p) và các quá trình (patterns) mưa của các trận mưa lớn cực trị. Kịch bản RCP4.5 cho tất cả các mô hình GCM cho thấy các trận mưa P95p cao hơn nhiều so với hiện nay. Cả phần dưới và phần trên của CDF của các kịch bản trong tương lai đều hạ thấp hơn so với hiện tại, cho thấy sự gia tăng của cả 2 loại mưa P95p thấp và cao. Mô hình ACCESS cho thấy mưa P95p tăng 2,5–3 lần so với thời kỳ hiện nay, khoảng từ 50–100 mm. Kịch bản RCP8.5 chỉ ra quá trình mưa tương tự như RCP4.5, nhưng nghiêng hơn về phía trước có nghĩa là trong tương lai các trận mưa P95p sẽ tăng.



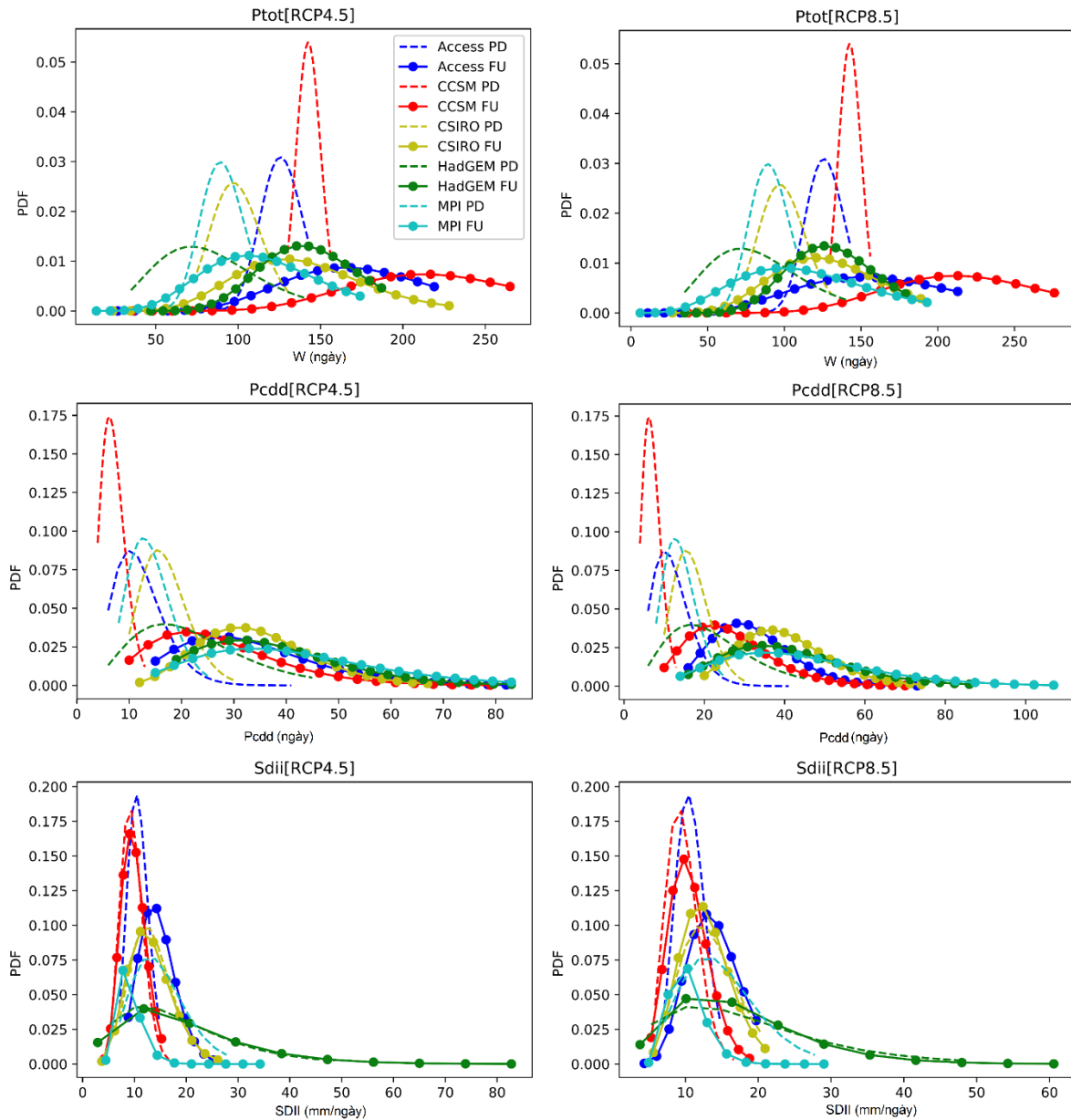
**Hình 8.** Hàm phân phối Gama lũy tích (CDF) của mưa phân vị thứ 95 (P95p, mm), số ngày mưa lớn trong năm (Prcp, day), lượng mưa 5 ngày liên tiếp lớn nhất (R5dp, mm) cho hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCMs với 2 kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm Nông Sơn.

Ngoại trừ mô hình ASSESS, tất cả các GCM khác đều cho thấy xu hướng Prcp tăng, điều này cho thấy số ngày có mưa lớn cực đoan sẽ tăng trong tương lai. R5dp là đại lượng biểu thị tổng lượng mưa lớn nhất trong 5 ngày liên tiếp. Chỉ số này mô tả những trận mưa lớn cường độ cao có thời gian dài hơn, đây là nguyên nhân chính sinh ra lũ lụt. Có thể quan sát thấy từ Hình 9 và hình 10 rằng CDF của R5dp cho các kịch bản trong tương lai đã dịch chuyển sang phải so với kịch bản nền. Điều đó có nghĩa là lượng mưa lớn nhất trong 5 ngày liên tiếp cao hơn thời kỳ nền, do đó khả năng xảy ra lũ lụt trong tương lai sẽ cao hơn. Kịch bản RCP4.5 cho thấy các trận mưa 5 ngày xuất hiện nhiều hơn so với kịch bản RCP8.5.

Nhìn chung, có thể quan sát từ Hình 9 và hình 10 rằng lượng mưa của các trận mưa cực đoan sẽ tăng lên, dẫn đến là cùng độ lớn của trận mưa đó sẽ có tần suất (độ lặp lại) giảm đi.



Xét về mặt không gian, không có sự khác biệt đáng kể của các chỉ số mưa trong tương lai giữa các trạm Đà Nẵng và Nông Sơn.

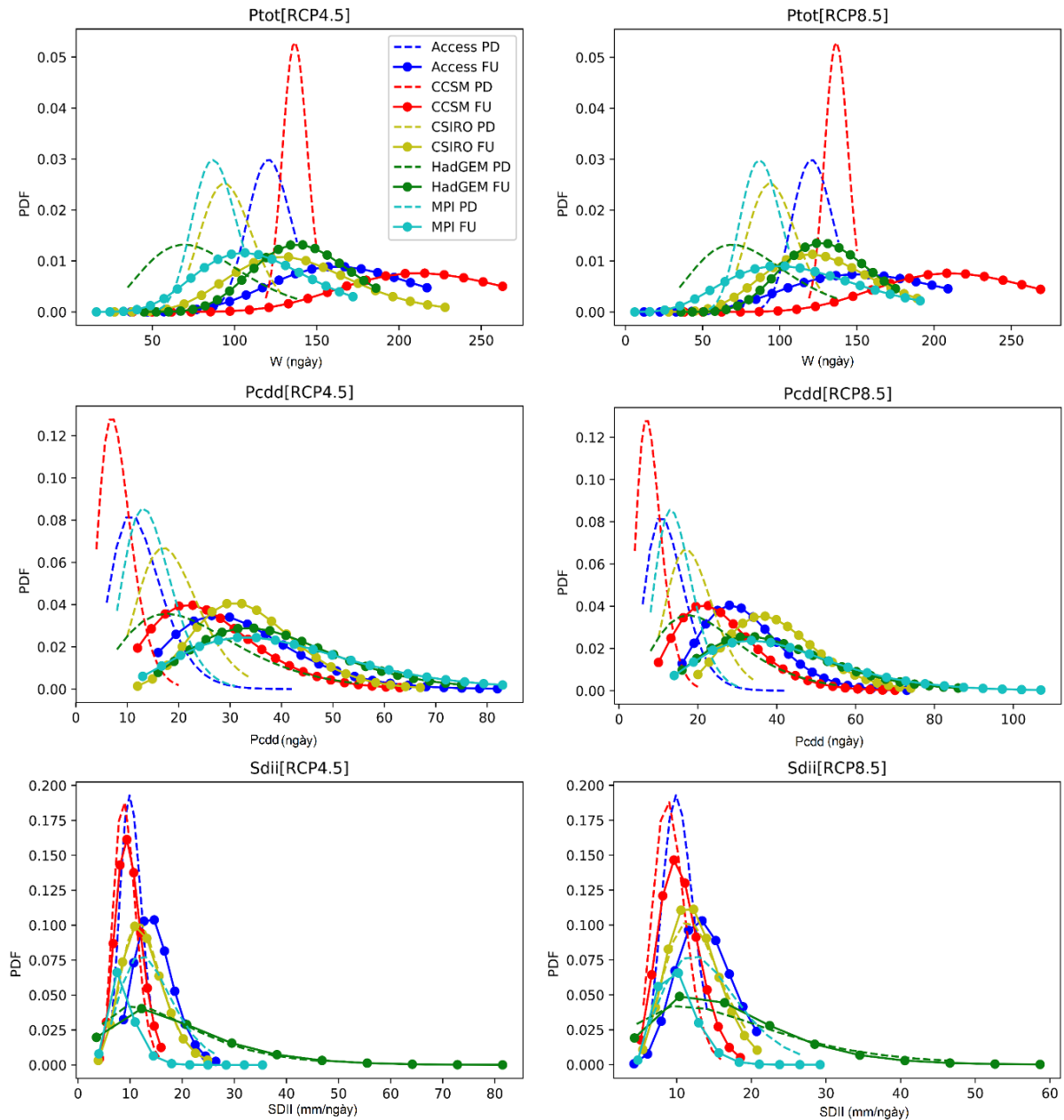


**Hình 9.** Hàm phân phối xác suất Gamma (PDF) của tổng lượng mưa năm (Ptot), số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm (Pcdd) và cường độ mưa ngày trung bình (SDII) cho thời kỳ hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCMs với 2 kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm Đà Nẵng.

Các chỉ số như: tổng lượng mưa năm (Ptot, mm), tổng số ngày mưa trong năm (W, ngày), tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm (Pcdd, ngày), và cường độ mưa trung bình của những ngày có mưa (SDII, mm/ngày) của thời kỳ nền và tương lai tại các trạm Đà Nẵng và Nông Sơn được thể hiện trong Hình 11 và hình 12.

Diện tích của biểu đồ Ptot thể hiện mưa năm, phụ thuộc vào biến số ngày có mưa trong năm W (quy ước ngày có mưa khi  $X > 1$  mm). Trong các nghiên cứu trước đây đều chỉ ra rằng tất cả các GCM đều có bản chất thống kê trong thời kỳ nền tương tự như quá trình thực đo [42]. Đó là sự xuất hiện thường xuyên của các trận mưa trung bình, và các trận mưa lớn có tần suất ít hơn. Các GCM tính toán mưa trong tương lai cho các kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 trên lưu vực sông VGTB đã cho thấy xu hướng các đường trong tương lai của biểu đồ Ptot lệch về bên phải nhiều hơn, vì vậy, trong tương lai lưu vực sẽ có lượng mưa năm nhiều hơn so với hiện nay. Tuy nhiên, vẫn chưa thể lý giải được nguyên nhân sự gia tăng

tổng lượng mưa năm là do các trận mưa trong mùa mưa ngày càng lớn hơn, hay do số ngày mưa tăng lên, mà cần sử dụng thêm thông tin của P<sub>cdd</sub> và S<sub>dii</sub> để phân tích nguyên nhân gia tăng này.



**Hình 10.** Hàm phân phối xác suất Gamma (PDF) của tổng lượng mưa năm (Ptot), tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm (P<sub>cdd</sub>) và cường độ mưa trung bình ngày (S<sub>dii</sub>) cho thời kỳ hiện tại (PD) và tương lai (FU) của 5 mô hình GCM với 2 kịch bản RCP4.5 và 8.5 tại trạm Nông Sơn.

Dựa trên phân tích chỉ số P<sub>cdd</sub> (tổng số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm), kết quả từ ACCESS cho thấy những đợt khô hạn lớn nhất dao động từ 5 đến 40 ngày, trong đó hơn 80% là các đợt kéo dài đến 20 ngày. Mô hình khác của GCM cũng biểu diễn mô phỏng ngày tương tự như vậy. Tuy nhiên, các kết quả trong tương lai cho thấy số ngày khô hạn sẽ tăng mạnh, số ngày không mưa liên tục trên 20 ngày sẽ tăng từ 15% ở hiện tại lên 80% trong tương lai, đồng thời thời gian mùa khô sẽ kéo dài hơn so với hiện nay. Như vậy trong tương lai thời kỳ khô hạn sẽ dài hơn và tần suất xuất hiện sẽ nhiều hơn nên hậu quả của hạn hán sẽ khốc liệt hơn.

Chỉ số SDII là cường độ mưa ngày trung bình trong năm (chỉ xét cho ngày có mưa), được tính toán bằng tỷ số giữa  $P_{tot}$  và số ngày có mưa ( $W$ ). Các kịch bản mưa trong tương lai cho thấy số các trận mưa có cường độ trung bình và thấp thì giảm xuống, nhưng số các trận mưa có cường độ cao lại tăng lên.

So với các nghiên cứu trước đây, bài báo này đã đánh giá cụ thể về sự phù hợp của mô hình ACCESS đối với lưu vực sông VGTB so với các mô hình GCM khác; đồng thời cũng chỉ ra rằng phương pháp hiệu chỉnh sai số LS hiệu quả hơn 2 phương pháp LOCI và DM. Kết quả 6 chỉ số mưa cũng cho thấy mức độ biến đổi trong tương lai của các đặc trưng mưa lớn trong mùa mưa, mưa tháng và mưa năm với mức độ chi tiết tại 6 vị trí trạm mưa đại diện trên lưu vực.

#### 4. Kết luận

Các quá trình mưa thực đo và tính toán trong tương lai (giai đoạn giữa thế kỷ 2035–2075) trên lưu vực sông VGTB đã được mô phỏng, phân tích và tính toán. Sáu trạm đo mưa trong lưu vực đã được xem xét để đánh giá sự biến đổi không gian, kết quả cho thấy sự biến đổi theo tháng của mưa thực đo tại các trạm gần tương tự nhau. Tuy nhiên, tổng lượng mưa năm có thay đổi theo địa hình, cụ thể trạm Hiền có lượng mưa năm thấp nhất, trong khi trạm Khâm Đức có lượng mưa năm cao nhất.

Trong số 5 mô hình GCM, thì mô hình ACCESS được cho kết quả mô phỏng tốt nhất các quá trình mưa trên lưu vực. Sáu chỉ số mưa được sử dụng để phân tích xu hướng và những thay đổi của quá trình mưa trong tương lai khi xét các kịch bản BDKH RCP4.5 và RCP8.5, tất cả các chỉ số đều thay đổi trong cả 2 kịch bản. Trong tương lai, chỉ số mưa P95p và Prep đều tăng, và lượng mưa của các trận mưa lớn (vượt tần suất 5%) tăng so với thời kỳ nền khoảng 50–100 mm tùy từng vị trí của lưu vực. Đồng thời chỉ số R5dp của các kịch bản tương lai cũng có xu thế lớn hơn kịch bản nền, có nghĩa là lượng mưa lớn nhất trong 5 ngày liên tiếp sẽ cao hơn, dẫn đến nguy cơ lũ lụt. Chỉ số tổng lượng mưa năm ( $P_{tot}$ ) và cường độ mưa ngày trung bình (SDII) đều tăng, sự gia tăng này lại chỉ tập trung vào những tháng mưa lũ chính vụ (IX–XI). Bên cạnh đó, nguy cơ các đợt khô hạn cũng sẽ xuất hiện nhiều hơn do chỉ số Pddd (số ngày không mưa liên tục dài nhất trong năm) tăng lên, cụ thể là số ngày không mưa liên tục > 20 ngày sẽ tăng khoảng 15%, dẫn đến nguy cơ hạn hán sẽ ngày càng khốc liệt hơn.

Nhìn chung, có thể kết luận rằng hiện tượng ấm lên toàn cầu có thể có tác động lớn đến tổng lượng mưa và quá trình diễn biến mưa trên lưu vực VGTB ở các tháng mùa mưa, đặc biệt là các tháng lũ chính vụ. Tần suất và cường độ của các hiện tượng cực đoan có thể sẽ tăng lên, cường độ mưa của các trận mưa lớn có thể tăng, nhưng ngược lại số ngày không mưa cũng có thể kéo dài hơn. Trong khi diễn biến mưa những tháng mùa khô ít thay đổi.

Một số hạn chế của nghiên cứu này là: mới chỉ tính toán mưa trong tương lai theo các kịch bản BDKH cho 6 trạm mưa điển hình (mưa điểm) mà chưa xác định được các bản đồ phân bố mưa theo không gian (mưa diện); và chưa xét đến các đặc trưng mưa mùa khô. Rất mong muốn các nghiên cứu tiếp theo sẽ bổ sung khắc phục những hạn chế này.

**Đóng góp tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.M.Đ.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.M.Đ.; Xử lý số liệu: L.N.V.; Tính toán: L.N.V.; Phân tích kết quả: L.N.V., N.M.Đ.; Viết bản thảo bài báo: L.N.V.; Chỉnh sửa bài báo: N.M.Đ.

**Lời cảm ơn:** Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn các cơ quan của Tổng cục Khí tượng Thủy văn đã cung cấp tài liệu; các chuyên gia trong nước và quốc tế đã đóng góp ý kiến để 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, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

### Tài liệu tham khảo

1. Pachauri, R.K.; Allen, M.R.; Barros, V.R.; Broome, J.; Cramer, W.; Christ, R.; Church, J.A.; Clarke, L.; Dahe, Q.; Dasgupta, P. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014.
2. Cheng, L.; Zhu, J. Benefits of CMIP5 Multimodel Ensemble in Reconstructing Historical Ocean Subsurface Temperature Variations. *J. Clim.* **2016**, *29*, 5393–5416.
3. Taylor, K.E.; Stouffer, R.J.; Meehl, G.A. An Overview of CMIP5 and Experiment Design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2012**, *93*, 485–498.
4. Liu, X.; Coulibaly, P.; Evora, N. Comparison of Data-Driven Methods for Downscaling Ensemble Weather Forecasts. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2008**, *12*, 615–624.
5. Sunyer, M.A.; Madsen, H.; Ang, P.H. A Comparison of Different Regional Climate Models and Statistical Downscaling Methods for Extreme Rainfall Estimation under Climate Change. *Atmospheric Res.* **2012**, *103*, 119–128.
6. Samadi, S.; Ehteramian, K.; Sarraf, B.S. SDSM Ability in Simulate Predictors for Climate Detecting over Khorasan Province. *Procedia-Soc. Behav. Sci.* **2011**, *19*, 741–749.
7. Tumbo, S.D.; Mpeti, E.; Tadross, M.; Kahimba, F.C.; Mbillinyi, B.P.; Mahoo, H.F. Application of Self-Organizing Maps Technique in Downscaling GCMs Climate Change Projections for Same, Tanzania. *Phys. Chem. Earth Parts ABC* **2010**, *35*, 608–617.
8. Fowler, H.J.; Blenkinsop, S.; Tebaldi, C. Linking Climate Change Modelling to Impacts Studies: Recent Advances in Downscaling Techniques for Hydrological Modelling. *Int. J. Climatol. J. R. Meteorol. Soc.* **2007**, *27*, 1547–1578.
9. Maraun, D.; Wetterhall, F.; Ireson, A.M.; Chandler, R.E.; Kendon, E.J.; Widmann, M.; Brienen, S.; Rust, H.W.; Sauter, T.; Themeßl, M. Precipitation Downscaling under Climate Change: Recent Developments to Bridge the Gap between Dynamical Models and the End User. *Rev. Geophys.* **2010**, *48*.
10. von Storch, H. Review of Empirical Downscaling Techniques. In Proceedings of the Regional climate development under global warming. General technical report no. 4. Conference proceedings regclim spring meeting Jevnaker, Torbjornrud, Norway, 2000.
11. Teutschbein, C.; Seibert, J. Bias Correction of Regional Climate Model Simulations for Hydrological Climate-Change Impact Studies: Review and Evaluation of Different Methods. *J. Hydrol.* **2012**, *456*, 12–29.
12. Terink, W.; Hurkmans, R.; Torfs, P.; Uijlenhoet, R. Evaluation of a Bias Correction Method Applied to Downscaled Precipitation and Temperature Reanalysis Data for the Rhine Basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2010**, *14*, 687–703.
13. Teutschbein, C.; Seibert, J. Is Bias Correction of Regional Climate Model (RCM) Simulations Possible for Non-Stationary Conditions? *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2013**, *17*, 5061–5077.
14. Déqué, M.; Rowell, D.P.; Lüthi, D.; Giorgi, F.; Christensen, J.H.; Rockel, B.; Jacob, D.; Kjellström, E.; De Castro, M.; van den Hurk, B. An Intercomparison of Regional Climate Simulations for Europe: Assessing Uncertainties in Model Projections. *Clim. Change* **2007**, *81*, 53–70.
15. Giorgi, F. Regional Climate Modeling: Status and Perspectives. Proceedings of the Journal de Physique IV (proceedings), EDP sciences, 2006, 139, pp. 101–118.
16. Aalbers, E.E.; Lenderink, G.; van Meijgaard, E.; van den Hurk, B.J. Local-Scale Changes in Mean and Heavy Precipitation in Western Europe, Climate Change or Internal Variability? *Clim. Dyn.* **2018**, *50*, 4745–4766.

17. Chen, Z.; Wang, W.; Fu, J. Vegetation Response to Precipitation Anomalies under Different Climatic and Biogeographical Conditions in China. *Sci. Rep.* **2020**, *10*, 1–16.
18. Johnson, F.; Sharma, A. Measurement of GCM Skill in Predicting Variables Relevant for Hydroclimatological Assessments. *J. Clim.* **2009**, *22*, 4373–4382.
19. Arora, H.; Ojha, C.S.P.; Buytaert, W.; Kaushika, G.S.; Sharma, C. Spatio–Temporal Trends in Observed and Downscaled Precipitation over Ganga Basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* **2017**, 1–19.
20. Fang, G.H.; Yang, J.; Chen, Y.N.; Zammit, C. Comparing Bias Correction Methods in Downscaling Meteorological Variables for a Hydrologic Impact Study in an Arid Area in China. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2015**, *19*, 2547–2559.
21. Luo, M.; Liu, T.; Meng, F.; Duan, Y.; Frankl, A.; Bao, A.; De Maeyer, P. Comparing Bias Correction Methods Used in Downscaling Precipitation and Temperature from Regional Climate Models: A Case Study from the Kaidu River Basin in Western China. *Water* **2018**, *10*, 1046.
22. Eden, J.M.; Widmann, M.; Maraun, D.; Vrac, M. Comparison of GCM–and RCM–Simulated Precipitation Following Stochastic Postprocessing. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2014**, *119*, 11–040.
23. Zou, L.; Zhou, T. Near Future (2016–40) Summer Precipitation Changes over China as Projected by a Regional Climate Model (RCM) under the RCP8.5 Emissions Scenario: Comparison between RCM Downscaling and the Driving GCM. *Adv. Atmospheric Sci.* **2013**, *30*, 806–818.
24. Adeyeri, O.E.; Lawin, A.E.; Laux, P.; Ishola, K.A.; Ige, S.O. Analysis of Climate Extreme Indices over the Komadugu–Yobe Basin, Lake Chad Region: Past and Future Occurrences. *Weather Clim. Extrem.* **2019**, *23*, 100194.
25. Karl, T.R.; Meehl, G.A.; Miller, C.D.; Hassol, S.J.; Waple, A.M.; Murray, W.L. Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and US Pacific Islands. *Synth. Assess. Prod.* **2008**, *3*, 16–19.
26. Nam, D.H.; Hoa, T.D.; Duong, P.C.; Thuan, D.H.; Mai, D.T. Assessment of Flood Extremes Using Downscaled CMIP5 High–Resolution Ensemble Projections of near–Term Climate for the Upper Thu Bon Catchment in Vietnam. *Water* **2019**, *11*, 634.
27. Phuong, D.N.D.; Duong, T.Q.; Liem, N.D.; Tram, V.N.Q.; Cuong, D.K.; Loi, N.K. Projections of Future Climate Change in the Vu Gia Thu Bon River Basin, Vietnam by Using Statistical Downscaling Model (SDSM). *Water* **2020**, *12*, 755.
28. Tien Thanh, N.; Dutto Aldo Remo, L. Projected Changes of Precipitation Idf Curves for Short Duration under Climate Change in Central Vietnam. *Hydrology* **2018**, *5*, 33.
29. Van Tra, T.; Thinh, N.X.; Greiving, S. Combined Top–down and Bottom–up Climate Change Impact Assessment for the Hydrological System in the Vu Gia–Thu Bon River Basin. *Sci. Total Environ.* **2018**, *630*, 718–727.
30. Vu, M.T.; Vo, N.D.; Gourbesville, P.; Raghavan, S.V.; Liong, S.–Y. Hydro–Meteorological Drought Assessment under Climate Change Impact over the Vu Gia–Thu Bon River Basin, Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2017**, *62*, 1654–1668.
31. Nguyen, H.T.; Duong, T.Q.; Nguyen, L.D.; Vo, T.Q.; Tran, N.T.; Dang, P.D.; Nguyen, L.D.; Dang, C.K.; Nguyen, L.K. Development of a Spatial Decision Support System for Real–Time Flood Early Warning in the Vu Gia–Thu Bon River Basin, Quang Nam Province, Vietnam. *sensors* **2020**, *20*, 1667.
32. Vo, N.D.; Gourbesville, P. Flood Risk Assessment: A View of Climate Change Impact at Vu Gia Thu Bon Catchment, Vietnam. In Proceedings of the Advances in



- Hydroinformatics: SimHydro 2017–Choosing The Right Model in Applied Hydraulics; Springer, 2018; pp. 727–737.
33. Vo, N.D.; Gourbesville, P. Establishing the Flood Map for the Downstream of Vu Gia–Thu Bon Catchment – a Coastal Region of Viet Nam Central. Scale Variability of Inundation Area under the Impact of Climate Change. In Proceedings of the 36<sup>th</sup> IAHR World Congress – The Hague, Netherlands, 28 June–3 July, 2015.
  34. Lenderink, G.; Buishand, A.; Van Deursen, W. Estimates of Future Discharges of the River Rhine Using Two Scenario Methodologies: Direct versus Delta Approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2007**, *11*, 1145–1159.
  35. Schmidli, J.; Goodess, C.M.; Frei, C.; Haylock, M.R.; Hundecha, Y.; Ribalaygua, J.; Schmith, T. Statistical and Dynamical Downscaling of Precipitation: An Evaluation and Comparison of Scenarios for the European Alps. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2007**, *112*.
  36. dos Santos, C.A.C.; de Brito, J.I.; Júnior, C.H. da S.; Dantas, L.G. Trends in Precipitation Extremes over the Northern Part of Brazil from ERA40 Dataset. *Rev. Bras. Geogr. Física* **2012**, *5*, 836–851.
  37. Sharma, D.; Babel, M.S. Trends in Extreme Rainfall and Temperature Indices in the Western Thailand. *Int. J. Climatol.* **2014**, *34*, 2393–2407.
  38. Yazid, M.; Humphries, U. Regional Observed Trends in Daily Rainfall Indices of Extremes over the Indochina Peninsula from 1960 to 2007. *Climate* **2015**, *3*, 168–192.
  39. Pan, Z.; Christensen, J.H.; Arritt, R.W.; Gutowski Jr, W.J.; Takle, E.S.; Otieno, F. Evaluation of Uncertainties in Regional Climate Change Simulations. *J. Geophys. Res. Atmospheres* **2001**, *106*, 17735–17751.
  40. Mondal, A.; Mujumdar, P.P. On the Basin–Scale Detection and Attribution of Human–Induced Climate Change in Monsoon Precipitation and Streamflow. *Water Resour. Res.* **2012**, *48*.
  41. Sharma, C.; Ojha, C.S.P.; Shukla, A.K.; Pham, Q.B.; Linh, N.T.T.; Fai, C.M.; Loc, H.H.; Dung, T.D. Modified Approach to Reduce GCM Bias in Downscaled Precipitation: A Study in Ganga River Basin. *Water* **2019**, *11*, 2097.
  42. Sharma, C.; Ojha, C.S.P. Statistical Parameters of Hydrometeorological Variables: Standard Deviation, SNR, Skewness and Kurtosis. Proceedings of the Advances in Water Resources Engineering and Management: Select Proceedings of TRACE 2018, Springer, 2020, pp. 59–70.

## Analysis of the changes of rainfall indicators in the context of climate change in Vu Gia–Thu Bon River basin

Le Ngoc Vien<sup>1</sup>, Nguyen Mai Dang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Central Region College of Technology, Economics and Water Resources;  
Invckt@gmail.com

<sup>2</sup> Center for International Education, Thuyloi University; dang@tlu.edu.vn

**Abstract:** Climate change made the changes of precipitation and flow on river basins, it is needed to adjust the planning, design and management of hydraulic works, hydropower, and natural disaster prevention system. Therefore, this paper studies the variation of rainfall indices in Vu Gia–Thu Bon river basin on the basis of analysis of real rain data and from global climate models. The results show that the heavy rainfall indicators P95p, Prcp, R5dp all increase in the future, and P95p increases by about 50–100 mm compared to the baseline period, so the flood risk will be higher. The total annual rainfall index (Ptot) and the average daily rainfall intensity (SDII) also increased; these increases were mainly concentrated in

the main flood season (IX-XI). Besides, the drought hazard is also increases due to the Podd index (number of consecutive days without rain in a year) also increases, specifically, the number of days without continuous rain > 20 days will increase by about 15%, leading to the risk of drought would be more severe. This information could be useful for managers and researchers to propose measures to adapt to climate change and ensure water security in the future.

**Keywords:** Statistical downscaling; Climate change; Bias correction; Precipitation indicators; Vu Gia –Thu Bon.