TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá mức độ và xu thế biến đổi mưa thành phố Hà Nội dựa trên dữ liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS

Nguyễn Thị Bích Ngọc[1], Trần Văn Tình[1]*

[1] Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội; ntbngoc@hunre.edu.vn; tvtinh@hunre.edu.vn.

*Tác giả liên hệ: tvtinh@hunre.edu.vn; Tel.: +84–977177618

Ban biên tập nhận bài: 30/6/2024; Ngày phản biện xong: 12/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu so sánh và đánh giá chất lượng dữ liệu mưa vệ tinh *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) với dữ liệu mưa ngày, tháng, mùa và năm tại 4 trạm khí tượng ở Hà Nội trong giai đoạn 1981-2023 thông qua các chỉ tiêu thống kê như khả năng nhận diện ngưỡng mưa, tổng lượng mưa và hệ số tương quan... Kết quả đánh giá về lượng mưa cho thấy, tương quan giữa mưa vệ tinh và mưa quan trắc ở thời đoạn tháng là tốt (R > 0,8), tuy giảm hơn ở thời đoạn năm và mùa (R từ 0,57-0,8) nhưng vẫn ở mức trung bình trở lên. Tương quan lượng mưa ngày không cao (R < 0,4), mưa vệ tinh mới chỉ phản ánh hiện tượng mưa với tỉ lệ dự báo đúng (PC) từ 0,65-0,68. Bài báo cũng đánh giá mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa bằng phương pháp Mann-Kendall và Sen's slope, kết quả lượng mưa hàng năm và mưa mùa tại Hà Nội khá ổn định và tăng nhẹ, nhưng không đạt ý nghĩa thống kê. Trong năm, tháng VII và IX có lượng mưa tăng đáng kể. Đặc biệt tháng VIII, lượng mưa tăng đến 1,99 mm/năm, đạt mức ý nghĩa thống kê (α = 0,1). Xu thế biến đổi không gian của lượng mưa vệ tinh tại Hà Nội biến đổi đồng đều nhưng giá trị biến đổi khác nhau theo khu vực.

Từ khóa: Hà Nội; Mưa vệ tinh; CHIRPS; Mann-Kendall; Xu thế mưa.

1. Mở đầu

Trong chu trình thủy văn toàn cầu, mưa là quá trình vô cùng quan trọng, ảnh hưởng mạnh mẽ đến sự phân bố theo không gian và thời gian của tài nguyên nước [1]. Mưa đóng vai trò là cầu nối của quá trình tương tác khí quyển với bề mặt trái đất. Dữ liệu mưa rất thiết yếu trong công tác quy hoạch, quản lý tài nguyên nước và giảm nhẹ thiên tai như lũ quét, lũ lụt, hạn hán…[2–4]. Vì vậy, dữ liệu mưa luôn là một trong những dữ liệu quan trọng được đo đạc trong mạng lưới quan trắc Khí tượng Thủy văn (KTTV) quốc gia. Theo Quyết định phê duyệt Quy hoạch mạng lưới trạm KTTV quốc gia thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050, tính đến năm 2024 trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam có 1835 trạm đo dữ liệu mưa bao gồm các trạm KTTV, trạm hải dương và 871 điểm đo mưa tự động độc lập [5]. Tuy nhiên, các trạm quan trắc mưa phân bố không đều, một số khu vực miền núi và hải đảo không có hoặc có rất ít trạm quan trắc mưa. Ngoài ra, trong nghiên cứu, đôi khi gặp phải vấn đề là số lượng trạm quan trắc mưa không đủ bao phủ toàn bộ khu vực nghiên cứu, đặc biệt là ở những khu vực nằm ngoài lãnh thổ Việt Nam, việc thu thập dữ liệu quan trắc mưa gặp rất nhiều khó khăn. Bên cạnh đó, dữ liệu mưa thời đoạn ngắn chủ yếu chỉ có tại các trạm Khí tượng cấp I, do đó, việc thu thập số liệu đầu vào cho các mô hình mô phỏng thủy văn, biến đổi khí hậu và môi trường đôi khi không đầy đủ. Chính những nguyên nhân này dẫn đến những hạn chế ảnh hưởng đến khả năng, chất lượng phỏng và dự báo hiện nay [4, 6]. Để khắc phục hạn chế này, việc bổ sung số liệu từ các sản phẩm dữ liệu mưa không gian, như mưa được mô phỏng từ

các mô hình khí hậu, mưa radar, mưa vệ tinh đã và đang được sử dụng rộng rãi nhằm cung cấp thêm thông tin về sự thay đổi lượng mưa, cường độ mưa theo không gian và thời gian. Dữ liệu mưa vệ tinh thể hiện dưới dạng mưa lưới có độ bao phủ rộng, đã giúp khắc phục phần nào hạn chế của dữ liệu mưa quan trắc tại trạm đo mưa trên mặt đất. Mặc dù vậy, dữ liệu mưa vệ tinh vẫn tiềm ẩn nhiều sai số [1, 7], và độ chính xác của nó cũng không đồng nhất giữa các khu vực cũng như loại số liệu mưa vệ tinh lựa chọn [4, 6, 8, 9]. Do đó, việc sử dụng cần được lựa chọn và đánh giá một cách cẩn trọng.

Hiện nay, các dữ liệu mưa vệ tinh nguồn mở tương đối phong phú và phổ biến, bao gồm: *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Global Precipitation Measurement (GPM), Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMAP), Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), ...* Những dữ liệu lượng mưa này cũng có độ phân giải về không gian và thời gian khác nhau. Vệ tinh TRMM với nhiệm vụ đo lượng mưa vừa và lớn ở vùng nhiệt đới với thời đoạn 12 giờ. Mưa vệ tinh quốc tế GPM cung cấp số liệu quan trắc mưa và tuyết toàn cầu với độ phân giải thời gian 3 giờ [10]. Dữ liệu bản đồ lượng mưa toàn cầu GSMaP được xử lý đồng bộ dựa trên radar đo mưa và bức xạ hồng ngoại trên vệ tinh địa tĩnh, có độ phân giải không gian là 0,1 độ và độ phân giải thời gian là 1 giờ [11]. CHIRPS là sản phẩm kết hợp giữa dữ liệu từ các trạm Khí tượng quan sát theo thời gian thực và dữ liệu vệ tinh hồng ngoại để ước tính lượng mưa toàn cầu. Đây là bộ dữ liệu mưa ngày độ bao phủ gần như toàn cầu, với độ phân giải không gian 0,05 độ (~5 km) [12], CHIRPS là một trong những dữ liệu mưa vệ tinh có độ phân giải cao và đã được đánh giá tại nhiều quốc gia như Ethiopia [13, 14], Italy [15], Kenya [16], Trung Andes của Argentina [17], Pakistan [18] và Trung Quốc đại lục [19]. Những ghiên cứu [8, 20] đã chỉ ra rằng với thời đoạn mưa ngày, mưa tháng và mưa năm dữ liệu mưa lưới CHIRPS nhìn chung vượt trội hơn so với các sản phẩm mưa vệ tinh nguồn mở khác về độ phân giải không gian, độ chính xác và độ dài chuỗi số liệu.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu đánh giá chất lượng và ứng dụng mưa vệ tinh cũng đã được thực hiện trên các quy mô khác nhau, chẳng hạn như khu vực miền Trung [21], tỉnh Ninh Thuận, Bình Thuận [22], thành phố Hà Tĩnh [23] và đặc biệt chủ yếu theo phạm vi lưu vực sông. Điển hình là lưu vực sông Mê Kông, trong đó dữ liệu mưa vệ tinh đã được sử dụng để dự báo lũ từ Chiang saen đến Stung Treng[24, 25]. Nghiên cứu [26] đã đánh giá lượng mưa và cân bằng nước theo lưới trên lưu vực sông Mê Kông. Nghiên cứu [27] sử dụng mưa vệ tinh mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Srepok. Các nghiên cứu đánh giá sản phẩm mưa vệ tinh lưu vực sông Mã [4], lưu vực sông Cả [6, 8].

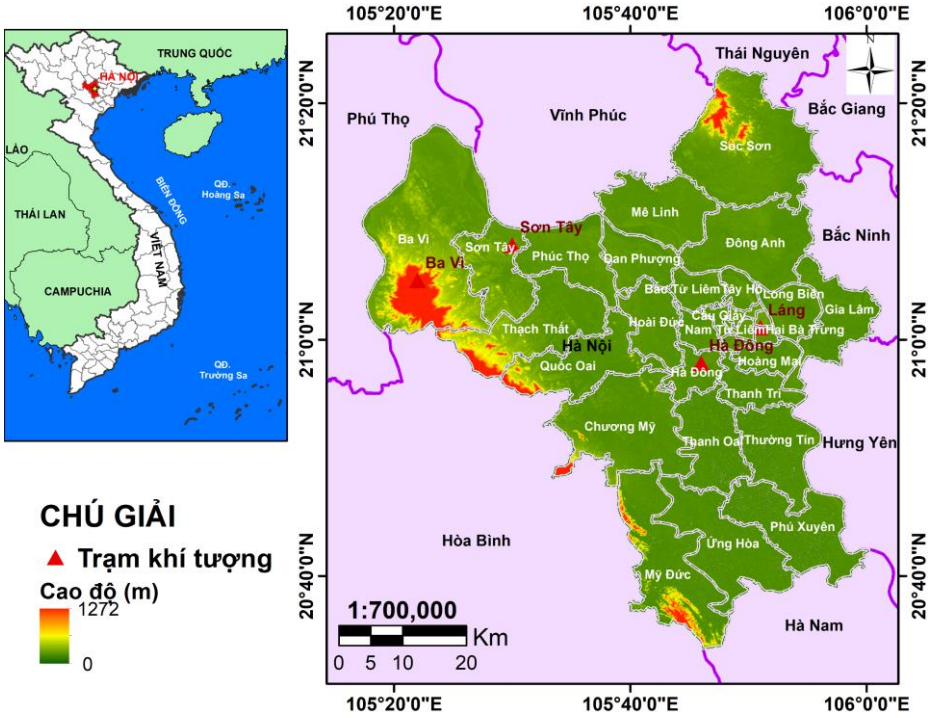
Dựa trên các nghiên cứu trong nước và quốc tế đã chỉ ra sự vượt trội của mưa vệ tinh CHIRPS so với các dữ liệu mưa lưới nguồn mở khác, bài báo này lựa chọn sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS để đánh giá xu thế biến đổi lượng mưa tại khu vực thành phố Hà Nội. Để đạt được mục tiêu đã đề ra, nghiên cứu tập trung vào hai nội dung chính: (1) Đánh giá và so sánh chất lượng mưa vệ tinh CHIRPS trên khu vực nghiên cứu dựa vào số liệu mưa quan trắc tại các trạm khí tượng mặt đất; (2) Sử dụng mưa vệ tinh CHIRPS đánh giá mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa tại thành phố Hà Nội trong giai đoạn 1981-2023.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Hà Nội là trung tâm chính trị, kinh tế, văn hóa và giáo dục của nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, đồng thời là thủ đô của cả nước. Thành phố này gồm 30 đơn vị hành chính cấp huyện, bao gồm 12 quận, 17 huyện và 01 thị xã, với diện tích là 3.359,82 km² [28], dân số 8,4 triệu người [29], Hà Nội là thành phố lớn nhất Việt Nam. Thành phố có vị trí địa lý nằm ở phía Tây Bắc của trung tâm vùng đồng bằng châu thổ sông Hồng, trong phạm vi từ 20°34’ đến 21°18’ vĩ độ Bắc và từ 105°17’ đến 106°02’ kinh độ Đông (Hình 1) [30]. Khí hậu của thành phố mang đặc điểm khí hậu nhiệt đới gió mùa, với mùa hè nóng ẩm và mưa nhiều, trong khi mùa đông lạnh và ít mưa. Mùa mưa kéo dài từ tháng V đến tháng IX hoặc tháng X

hàng năm, chiếm khoảng 80% lượng mưa tổng lượng mưa năm. Tháng VII và tháng VIII là tháng có lượng mưa và số ngày mưa lớn nhất trong năm [31]. Do ảnh hưởng của địa hình, lượng mưa phân bố không đều trên toàn bộ thành phố.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu mưa vệ tinh

Như đã trình bày ở trên, nghiên cứu này đánh giá mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa của thành phố Hà Nội dựa trên số liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS. Bộ dữ liệu này được cung cấp dạng nguồn mở bởi các nhà khoa học của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) kết hợp với nhóm nghiên cứu Khí hậu nguy hiểm tại Đại học California (CHC). Đây là bộ dữ liệu mưa cung cấp theo thời đoạn ngày, với độ phân giải không gian 0,05 độ [12]. Người dùng có thể truy cập số liệu mưa tại địa chỉ https://www.chc.uc-sb.edu/data/chirps. Trong bài báo này sử dụng bộ dữ liệu mưa vệ tinh giai đoạn 1981-2023 trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE), được truy cập tại: https://developers.google.com/earthe-ngine/data-sets/catalog/UCSBCHG_CHIRPS_DAILY. Thành phố Hà Nội được chia tương ứng thành 116 ô lưới. Thông tin về dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông tin về số liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS.

Tên	Độ phân giải	Thời đoạn	Chuỗi số liệu	Tổ chức	Vệ tinh liên quan
CHIRPS	0,05°	1 ngày, 5 ngày	1981 - nay	Mạng lưới Hệ thống cảnh báo sớm nạn đói của USAID (FEWS NET).	NOAA, RFE2, TARCAT, TRMM

2.2.2. Dữ liệu mưa thực đo

Dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS đã được công bố với chuỗi số liệu từ năm 1981 đến nay. Trong nghiên cứu này, dữ liệu mưa theo thời đoạn ngày tại 4 trạm khí tượng, bao gồm Láng, Hà Đông, Ba Vì và Sơn Tây giai đoạn 1981-2023, được sử dụng để đánh giá, so sánh. Số liệu thực đo thời đoạn ngày được sử dụng để làm cơ sở để đánh giá độ chính xác của dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS tại khu vực thành phố Hà Nội. Tọa độ vị trí các trạm được thể hiện trong hình 1 và bảng 2.

Bảng 2. Thông tin các trạm khí tượng sử dụng trong nghiên cứu.

STT	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ
1	Láng	105,85	21,02
2	Hà Đông	105,77	20,77
3	Ba Vì	105,4	21,08
4	Sơn Tây	105,5	21,13

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Phương pháp đánh giá, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS

Nghiên cứu này sử dụng các chỉ số thống kê bao gồm hệ số tương quan (R), sai số quân phương (RMSE), sai số tuyệt đối trung bình (MAE) và độ lệch BIAS để đánh giá lượng mưa ước tính từ vệ tinh CHIRPS. Ngoài ra, nghiên cứu cũng đánh giá khả năng phát hiện sự kiện có mưa theo dữ liệu mưa ngày thông qua sử dụng ba chỉ số thống kê là: tỉ lệ dự báo đúng (PC), tỉ lệ dự báo thành công (CSI), tỷ lệ cảnh báo khống (FAR) [1, 6] và sự kiện mưa vừa theo hai chỉ số CSI và FAR. Bảng 3 trình bày công thức, ý nghĩa và giá trị tốt nhất của các chỉ số thống kê được sử dụng để đánh giá độ chính xác của dữ liệu mưa vệ tinh dựa trên dữ liệu mưa quan trắc tại các trạm Khí tượng.

Bảng 3. Các chỉ số thống kê sử dụng để đánh giá mưa vệ tinh CHIRPS.

Chỉ số đánh giá	Đơn vị	Công thức	Ý nghĩa	Giá trị tốt nhất
Hệ số tương quan R	-	$R=\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{td}-\bar{X}_{td})(X_{vt}-\bar{X}_{vt})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_{td}-\bar{X}_{td})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_{vt}-\bar{X}_{vt})^2}}$	Phản ánh mối tương quan giữa mưa thực đo và mưa vệ tinh	1
Sai số quân phương RMSE	mm	$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{vt}-X_{td})^2}{n}}$	Đánh giá sự khác biệt trung bình giữa mưa thực đo và mưa vệ tinh	0
Sai số tuyệt đối trung bình MAE	mm	$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{n}\lvert X_{vt}-X_{td}\rvert}{n}$	Phản ánh giá trị sai số của ước tính trung bình	0
Độ lệch BIAs	%	$BIAs=\frac{\sum_{i=1}^{n}\lvert X_{vt}-X_{td}\rvert}{\sum_{i=1}^{n}X_{td}}$	Xu hướng lệch giữa mưa vệ tinh so với dữ liệu mưa quan trắc BIAs dương: mưa vệ tinh có xu hướng cao hơn mưa quan trắc. BIAs âm: mưa vệ tinh có xu hướng thấp hơn mưa quan trắc.	0
Tỉ lệ dự báo đúng PC	-	$PC=\frac{H+N}{H+M+F+N}$	Tỉ lệ dự báo đúng sự kiện mà mưa vệ tinh dự báo đúng	1
Tỉ lệ cảnh báo khống FAR	-	$FAR=\frac{F}{H+F}$	Mô tả sự kiện có mưa được sản phẩm phát hiện nhưng không được quan sát	0
Tỉ lệ thành công CSI	-	$CSI=\frac{H}{H+M+F}$	Tỉ lệ sự kiện có mưa thực tế được phát hiện chính xác bởi các sản phẩm vệ tinh	1

Chú thích: X_{td} là giá trị lượng mưa quan trắc tại trạm; X_{vt} là giá trị lượng mưa vệ tinh CHIRPS tại ô lưới vị trí trạm quan trắc; H là tổng số lần phát hiện đúng ngưỡng mưa; M là tổng số lần cảnh báo mưa sai ngưỡng (cảnh báo khống); F là tổng số lần không phát hiện được ngưỡng mưa (cảnh báo sót); N là tổng số lần sản phẩm vệ tinh ước tính chính xác không có hiện tượng mưa giống như kết quả quan trắc mưa tại trạm.

2.3.2. Phương pháp đánh giá xu thế biến đổi mưa

Các đặc trưng thống kê được sử dụng để đánh giá mức độ biến đổi của lượng mưa thành phố Hà Nội bao gồm: giá trị nhỏ nhất (min), giá trị lớn nhất (max), giá trị trung bình (μ), độ lệch chuẩn σ, hệ số biến thiên C_v [32, 33]. Nghiên cứu áp dụng phương pháp kiểm định phi tham số Mann Kendall [34, 35] và phương pháp xu thế Sen (Sen's slope) [36] đánh giá xu thế biến đổi lượng mưa hàng năm, theo mùa và theo tháng.

a) Giá trị nhỏ nhất (min), lớn nhất (max)

Min và max lần lượt là giá trị nhỏ nhất, lớn nhất của chuỗi số liệu mưa vệ tinh của các thời đoạn tháng, mùa hoặc năm tính trên toàn thành phố Hà Nội.

b) Giá trị trung bình (μ)

Giá trị trung bình của mưa vệ tinh các thời đoạn tháng, mùa hoặc năm được tính bằng tổng các giá trị lượng mưa trong chuỗi số liệu tương ứng chia cho số lượng các giá trị. μ được xác định theo công thức (1):

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \quad (1)$$

Trong đó X_i là lượng mưa vệ tinh năm thứ i của thời đoạn tháng, mùa hoặc năm, n là số năm tính toán.

c) Độ lệch chuẩn σ

Độ lệch chuẩn là chỉ số đo mức độ phân tán của chuỗi số mưa và được tính bằng căn bậc hai của phương sai. σ được tính theo công thức:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\mu)^2}{n}} \quad (2)$$

d) Hệ số biến thiên C_V

Nghiên cứu này sử dụng hệ số biến thiên (C_V) để đánh giá độ phân tán của tất cả các điểm dữ liệu mưa so với giá trị trung bình của sự biến đổi lượng mưa. Hệ số biến thiên càng cao cho thấy mức độ biến đổi lượng mưa càng lớn [37], C_V được tính bằng công thức (3):

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \times 100 \quad (3)$$

Theo [38] mức độ biến động khí hậu thay đổi có thể được phân loại thành các cấp gồm: rất cao (C_V >40%), cao (30%<C_V<40%), vừa phải (20% <C_V <30%) và thấp (C_V<20%).

d) Kiểm định Mann-Kendall (M-K)

Kiểm định phi tham số M-K được sử dụng để nhận dạng và đánh giá xu hướng biến đổi của chuỗi số liệu mưa, nhiệt độ, dòng chảy theo thời gian. Đối với chuỗi số liệu theo trình tự thời gian x_1, x_2, ...x_N (biểu diễn N giá trị số liệu). Tại mỗi một thời điểm thì mỗi giá trị dữ liệu được so sánh với các giá trị trên toàn chuỗi thời gian [39].

Trị số S được xác định theo công thức sau:

$$S = \sum_{i-1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^{N} \text{sign}(x_j - x_i) \quad (4)$$

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 \text{ nếu } x_j - x_i > 0 \\ 0 \text{ nếu } x_j - x_i = 0 \\ -1 \text{ nếu } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó x_j và x_i là giá trị lượng mưa trong năm j và i.

Giá trị ban đầu của trị số S tương ứng với việc không tồn tại xu hướng (hay S = 0), trong khi đó, giá trị của trị số S dương cho thấy một xu hướng tăng và ngược lại, giá trị của trị số S âm tương ứng với một xu thế giảm [40]. Mức ý nghĩa của một xu hướng (tăng hoặc giảm) được xác định thông qua giá trị chuẩn của S (kí hiệu là Z). Giá trị chuẩn của S được tính theo phương trình (6):

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{nếu } S>0\\ 0 & \text{nếu } S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{nếu } S<0\end{cases} \quad (6)$$

Phương sai của S (Var(S)) được tính theo công thức (7) [41]:

$$Var\,(S)=\frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5)-\sum_{p=1}^{m}t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right] \quad (7)$$

Trong đó, m là số các nhóm mà trong mỗi nhóm có các giá trị số liệu giống nhau, t_p là số các điểm số liệu trong nhóm thứ p.

Giá trị của Z được xác định dựa trên giả thuyết về phân bố chuẩn, với giá trị trung bình bằng 0 và phương sai bằng 1. Giá trị Z dùng để kiểm định xem chuỗi số liệu có xu hướng hay không, với mức ý nghĩa được xác định cho trước (trong nghiên cứu này, mức ý nghĩa α được chọn là 0,1).

e) Xu thế biến đổi Sen's slope [35,42]

Để xác định độ lớn của xu hướng trong chuỗi số liệu mưa X (hay còn gọi là độ dốc đường xu thế), ta sử dụng ước lượng Sen. X là trung vị (median) của chuỗi n(n-1)/2 phần tử, được tính theo công thức (8):

$$X=\text{median}\left\{\frac{x_j-x_i}{j-i}\right\} \text{ với } i=1,2,\ldots,n-1;\ j>i \quad (8)$$

Trong đó X > 0 mưa xu thế tăng và ngược lại.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phân tích đánh giá dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS

3.1.1. Đánh giá, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS theo ngày

a) Đánh giá khả năng phát hiện mưa và mưa vừa trở lên

Nghiên cứu sử dụng các chỉ số PC, FAR và CSI để đánh giá khả năng phát hiện sự kiện có mưa và không có mưa ứng với ngưỡng 0,1 mm/ngày. Ngoài ra, dựa trên phân bố mưa tại các trạm ở Hà Nội, nghiên cứu cũng đánh giá khả năng phát hiện mưa vừa với ngưỡng giá trị 15 mm/ngày, sử dụng hai chỉ số FAR và CSI trong giai đoạn 1981-2023. Bảng 4 thống kê kết quả các chỉ số đánh giá số liệu mưa theo vệ tinh CHIRPS so với số liệu mưa ngày quan trắc tại 4 trạm: Láng, Hà Đông, Ba Vì và Sơn Tây.

Kết quả đánh giá khả năng phát hiện các ngưỡng mưa của mưa vệ tinh CHIRPS tại 4 trạm có sự tương đồng khá cao. Các chỉ số đánh giá với ngưỡng khả năng xuất hiện mưa (0,1 mm/ngày) tốt hơn so với ngưỡng phát hiện ngưỡng mưa vừa trở lên (> 15 mm/ngày). Tỉ lệ cảnh báo khống của dữ liệu mưa vệ tinh còn khá cao; đối với ngưỡng phát hiện mưa, FAR trên 0,3 và với ngưỡng phát hiện mưa vừa trở lên, tỉ lệ cảnh báo sai còn lớn hơn, FAR tại các trạm đều trên 0,4. Chỉ số dự báo thành công CSI với ngưỡng mưa vừa tại các trạm chỉ đạt trên 0,2. Mặc dù chỉ số CSI cho việc phát hiện đúng sự kiện mưa chỉ khoảng 0,33 - 0,34, tỉ lệ dự báo đúng PC tại các trạm đều đạt mức khá, nằm trong khoảng 0,65 - 0,68. Kết quả đánh giá tại thành phố Hà Nội này tương tự như nghiên cứu [8] đánh giá cho lưu vực sông Cả.

b) Đánh giá lượng mưa ngày

Kết quả đánh giá và so sánh lượng mưa hàng ngày của vệ tinh CHIRPS và lượng mưa ngày quan trắc được trình bày trong bảng 4, thông qua các chỉ số R, RMSE, MAE và BIAs. Hệ số tương quan R cho mưa ngày đạt mức tương quan trung bình, nằm trong khoảng 0,34-0,36. Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) đều trên 5 mm và sai số quân phương (RMSE) dao

động từ 14,7 đến 15,2 mm. Chỉ số độ lệch (BIAs) cho thấy mưa CHIRPS không biến động nhiều, nhưng vẫn có xu hướng thấp hơn so với mưa quan trắc tại trạm lượng mưa. Đặc biệt, tại trạm Ba Vì, dữ liệu mưa vệ tinh có sai số lớn nhất, với lượng mưa ngày có xu hướng thiên hơn so với thực đo (BIAs = -13,42).

Bảng 4. Các chỉ số đánh giá lượng mưa CHIRPS với số liệu mưa quan trắc theo ngày.

STT	Tên trạm	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs	PC	FAR		CSI	
							Phát hiện mưa	Phát hiện mưa vừa	Phát hiện mưa	Phát hiện mưa vừa
1	Láng	0,36	14,7	5,8	-1,69	0,68	0,37	0,45	0,34	0,22
2	Hà Đông	0,34	14,9	5,8	0,94	0,67	0,36	0,45	0,34	0,21
3	Ba Vì	0,35	15,2	6,2	-13,42	0,65	0,36	0,43	0,33	0,21
4	Sơn Tây	0,36	14,9	6,1	2,18	0,67	0,36	0,46	0,34	0,22

Qua kết quả phân tích, có thể thấy rằng chuỗi số liệu mưa hàng ngày của CHIRPS mới chỉ phản ánh một phần các hiện tượng có mưa và không có mưa và sai số về lượng mưa hàng ngày là khá lớn. Mức độ tương quan lượng mưa ngày giữa lượng mưa vệ tinh CHIRPS và mưa quan trắc tại trạm vẫn còn thấp. Nguyên nhân của sự sai khác này có thể do sự khác biệt trong mức độ đại diện về không gian của từng nguồn dữ liệu mưa. Trong khi dữ liệu mưa từ trạm đo đại diện cho khu vực xung quanh trạm đó, dữ liệu mưa từ CHIRPS cung cấp thông tin với độ phân giải 0,05 độ.

3.1.2. Đánh giá, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS theo tháng

Lượng mưa hàng tháng được xác định bằng tổng lượng mưa ngày từ dữ liệu CHIRPS trong từng tháng. Để đánh giá dữ liệu mưa tháng nghiên cứu xây dựng biểu đồ tương quan lượng mưa tháng thực đo tại 4 trạm và số liệu mưa vệ tinh CHIRPS. Biểu đồ này dựa trên g 43 năm dữ liệu (1981-2023), với mỗi trạm có 516 dữ liệu tháng.

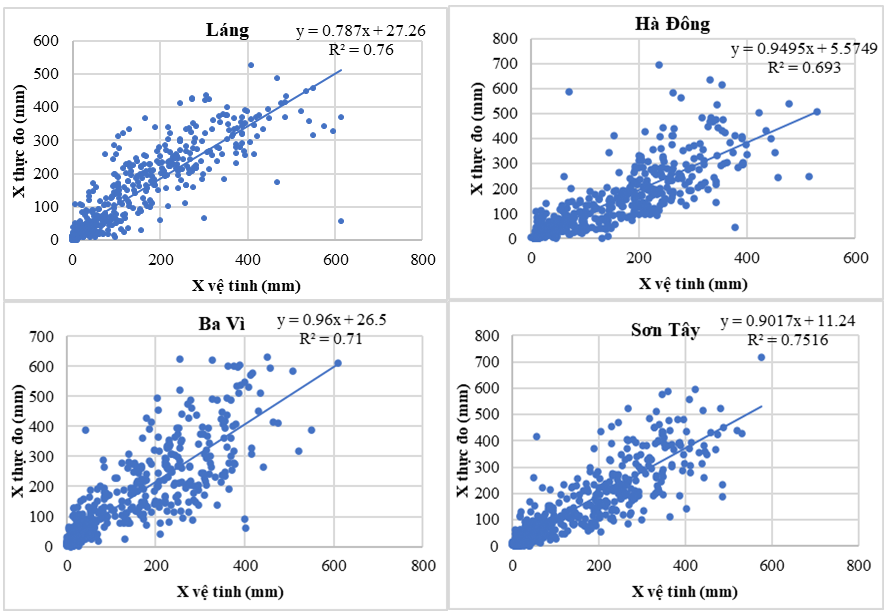
Bảng 5. Các chỉ số đánh giá lượng mưa CHIRPS với số liệu mưa quan trắc theo tháng.

STT	Tên trạm	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs
1	Láng	0,87	67,1	42,1	-1,69
2	Hà Đông	0,83	74,6	46,1	0,94
3	Ba Vì	0,84	83,3	56,8	-13,42
4	Sơn Tây	0,87	70,6	46,8	2,18

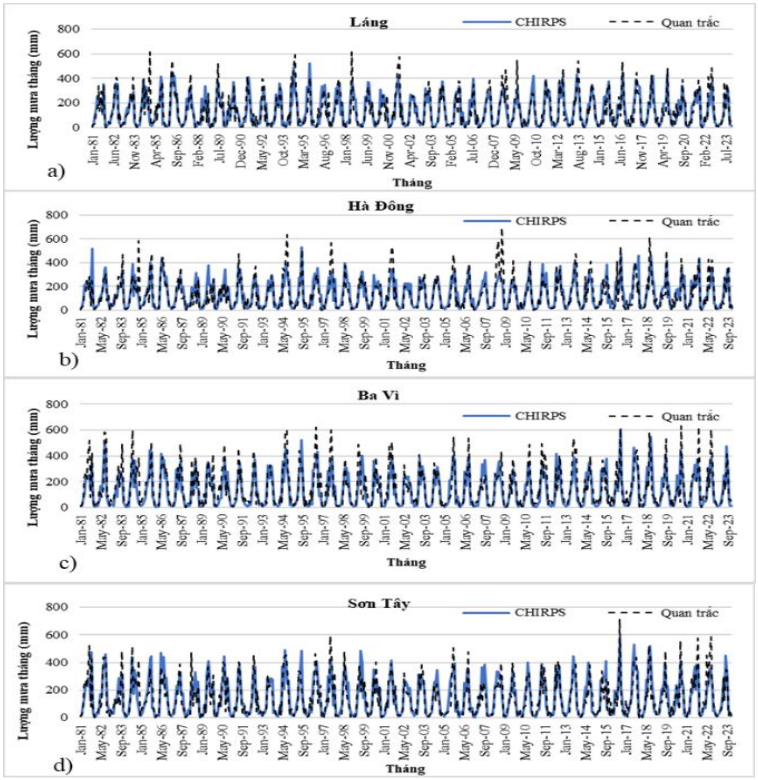
Hình 2 và bảng 5 cho thấy mức độ tương quan giữa lượng mưa tháng từ quan trắc và dữ liệu mưa vệ tinh cao hơn đáng kể so với khi đánh giá tương quan mưa ngày. Theo [43], điều này có thể là do những sai số trong giá trị hàng ngày được bù đắp khi tổng hợp thành giá trị hàng tháng. Kết quả hệ số tương quan R các trạm đều lớn hơn 0,8, thể hiện sự tượng quan tốt giữa lượng mưa tháng của CHIRPS và mưa tháng quan trắc tại các trạm. Chỉ số BIAs của lượng mưa tháng cũng cho kết quả tương tự như với mưa ngày. Giá trị sai số tuyệt đối trung bình (MAE) của các trạm nằm trong khoảng 42-57 mm/tháng và sai số quân phương (RMSE) biến đổi từ 70,6 đến 83,3 mm/tháng (Bảng 5).

Theo hình 3, biểu đồ so sánh lượng mưa tháng giữa dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS và mưa quan trắc cho thấy rằng lượng mưa tháng được tính từ dữ liệu vệ tinh CHIRPS phản ánh khá chính xác quá trình biến đổi mưa tháng, đặc biệt trong mùa khô và thời kỳ đầu cũng như cuối mùa mưa. Dạng đường quá trình diễn biến lượng mưa hàng tháng của hai nguồn dữ liệu tương đối sát nhau cả về lượng và hình dạng đường. Tuy nhiên, chỉ riêng trong giai đoạn giữa mùa mưa, tháng VII và VIII có lượng mưa lớn, thì mưa vệ tinh lại có xu hướng thấp hơn so

với quan trắc. Nguyên nhân có thể do mưa vệ tinh khó phát hiện lượng mưa ban đầu bằng thuật toán [44].



Hình 2. Tương quan lượng mưa tháng tại các trạm đo với dữ liệu mưa CHIRPS.

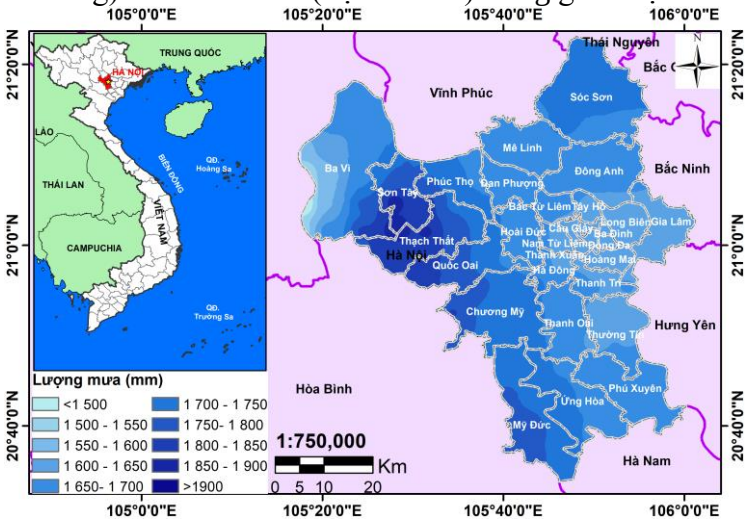


Hình 3. Biểu đồ lượng mưa tháng CHIRPS và thực đo giai đoạn 1981-2023.

3.1.3. Đánh giá, so sánh dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS theo năm và mùa

Hình 4 thể hiện phân bố lượng mưa năm của dữ liệu mưa CHIRPS khu vực Hà Nội. Trên bản đồ, lượng mưa được thể hiện bằng thang màu xanh lam, với độ đậm nhạt khác nhau: lượng mưa càng lớn thang màu càng đậm và ngược lại. Kết quả từ hình 4 cho thấy, sự phân bố không gian dữ liệu mưa có xu hướng thay đổi theo địa hình: khu vực đồng bằng lượng mưa năm thấp hơn, trong khi khu vực núi Sóc Sơn và núi Ba Vì có lượng mưa cao hơn, được

thể hiện rõ qua màu xanh lam đậm nổi bật trên bản đồ. Lượng mưa năm trung bình toàn thành phố biến đổi từ khoảng1380 mm đến gần 2200 mm. Lượng mưa năm tính toán từ dữ liệu mưa vệ tinh khá phù hợp với lượng mưa năm trung bình quan trắc tại các trạm biến đổi từ 1608 mm (trạm Hà Đông) đến 1845 mm (trạm Ba Vì) trong giai đoạn 1981-2013.

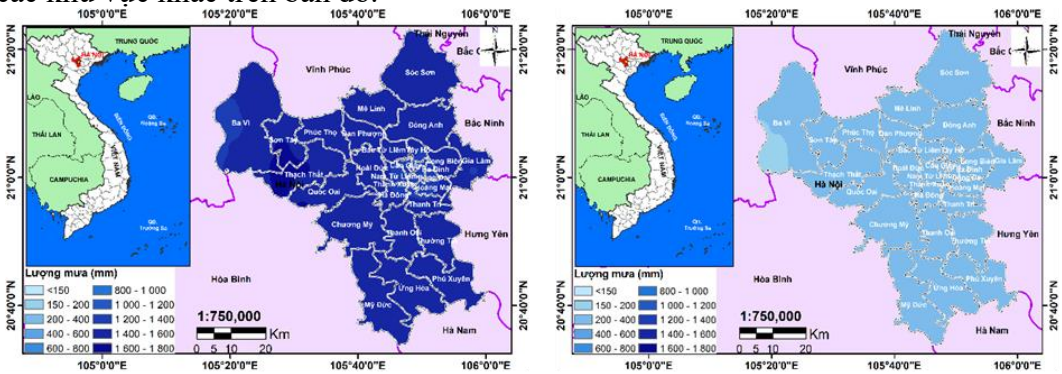


Hình 4. Phân bố không gian của tổng lượng mưa trung bình hàng năm ở khu vực Hà Nội trong giai đoạn 1981-2023 dựa trên cơ sở dữ liệu CHIRPS v2.0.

Bản đồ phân bố lượng mưa trong mùa mưa và mùa khô, được xây dựng dựa trên dữ liệu mưa CHIRPS tại khu vực Hà Nội (Hình 5), cho thấy sự khác biệt rõ rệt về lượng mưa giữa hai mùa. Với cùng một thang chia màu, bản đồ phân bố lượng mưa mùa mưa tại khu vực nghiên cứu có màu đậm hơn rõ rệt so với mùa khô.

Trên bản đồ hình 5a, tương tự như phân bố không gian của mưa hàng năm, trong mùa mưa, lượng mưa ở khu vực đồng bằng thấp hơn và tăng lên ở khu vực núi Sóc Sơn và Ba Vì. Lượng mưa trung bình trong mùa mưa trên toàn thành phố biến đổi trong khoảng 1240 mm đến 1660 mm, khá tương đồng với lượng mưa trung bình mùa mưa đo tại 4 trạm, từ 1420 mm đến 1620 mm. Đặc biệt, lượng mưa quan trắc trung bình mùa mưa tại trạm Ba Vì, nằm trên núi Ba Vì, là 1620 mm, gần bằng với lượng mưa lớn nhất trên bản đồ phân bố lượng mưa theo dữ liệu mưa CHIRPS.

Khác với mùa mưa, sự phân bố không gian lượng mưa trung bình trong mùa khô ít biến đổi, toàn thành phố gần như được thể hiện cùng một thang màu (Hình 5b). Lượng mưa trung bình trong mùa khô dao động trong từ 140 mm đến 270 mm. Khu vực có lượng mưa thấp nhất nằm ở phía tây thành phố, khuất sau dãy núi Ba Vì, được thể hiện qua màu nhạt hơn so với các khu vực khác trên bản đồ.



a, Mùa mưa b, Mùa khô

Hình 5. Phân bố không gian của tổng lượng mưa trung bình mùa khô, mùa mưa ở khu vực Hà Nội trong giai đoạn 1981-2023 dựa trên cơ sở dữ liệu CHIRPS v2.0.

Kết quả thống kê các chỉ số đánh giá lượng mưa của dữ liệu mưa CHIRPS so với lượng mưa quan trắc theo năm và theo mùa tại các trạm khí tượng được trình bày trong bảng 6.

Bảng 6. Các chỉ số đánh giá, so sánh lượng mưa CHIRPS với lượng mưa quan trắc theo năm và theo mùa.

Tên trạm	Năm				Mùa mưa				Mùa khô			
	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs	R	RMSE (mm)	MAE (mm)	BIAs
Láng	0,67	241,1	193,5	-1,69	0,67	230,9	180,7	-1,69	0,68	146,9	93,7	-1,69
Hà Đông	0,62	336,0	250,8	0,94	0,58	332,2	245,2	0,94	0,61	162,6	112,7	0,94
Ba Vì	0,61	375,7	285,1	-13,42	0,57	314,8	221,3	-13,42	0,80	234,3	197,9	-13,42
Sơn Tây	0,68	234,4	191,6	2,18	0,63	230,5	187,8	2,18	0,76	135,5	96,2	2,18

Mặc dù hệ số tương quan mưa năm giữa mưa vệ tinh và mưa quan trắc đánh giá tại các trạm nhỏ hơn so với khi đánh giá mưa thời đoạn tháng nhưng hệ số tương quan đều đạt mức khá, R trên 0,6 (0,61-0,68). Sai số tuyệt đối trung bình MAE của lượng mưa năm tại các trạm biến đổi từ 193,5-285,1 mm/năm, trạm Ba Vì có sai số MAE lớn nhất (285,1 mm/năm, tương đương với 15,6% lượng mưa năm).

Trong 2 mùa, mùa khô mưa vệ tinh có kết quả tính toán tốt hơn, hệ số tương quan cao hơn rõ rệt (Bảng 6). Ở trạm Ba Vì hệ số R lượng mưa mùa khô giữa dữ liệu mưa CHIRPS với mưa quan trắc đạt kết quả rất cao là 0,8. Vào mùa mưa hệ số tương quan R đánh giá tại 4 trạm khí tượng so sánh với dữ liệu mưa CHIRPS chỉ đạt từ 0,57-0,67. Như đã đề cập trong nội dung đánh giá mưa tháng, lượng mưa các tháng giữa mùa mưa VII và VIII, mưa vệ tinh thường thiên nhỏ hơn so với mưa thực tế làm ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Do vậy, khi sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS để mô phỏng, tính toán trong thời kỳ mùa mưa cần chú ý đến đặc điểm này và có các phương pháp hiệu chỉnh phù hợp.

3.2. Mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa thành phố Hà Nội

Dựa trên kết quả đánh giá sai số, dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS chỉ phản ánh chính xác lượng mưa thời đoạn tháng, mùa và năm. Với dữ liệu lượng mưa ngày, sai số giữa lượng mưa vệ tinh CHIRPS và mưa quan trắc lớn, mức độ tương quan không cao. Do đó, nghiên cứu chỉ sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS để tính toán và đánh giá xu thế biến đổi mưa theo thời đoạn năm, mùa và tháng. Các kết quả đánh giá mức độ và xu thế biến đổi lượng mưa thành phố Hà Nội được trình bày như sau:

3.2.1. Mức độ biến đổi lượng mưa

Bảng 7 trình bày các đặc trưng thống kê tính trung bình trên 116 ô lưới cho Thành phố Hà Nội bao gồm các giá trị tối thiểu (min) và tối đa (max), giá trị trung bình, độ lệch chuẩn và hệ số biến đổi C_V của dữ liệu lượng mưa hàng năm, theo mùa và theo tháng của thành phố Hà Nội giai đoạn 1981-2023.

Lượng mưa hàng năm trung bình của thành phố Hà Nội là khoảng hơn 1960 mm, gần bằng với lượng mưa trung bình cả nước là 1990 mm [45]. Trong giai đoạn nghiên cứu, có sự biến đổi đáng kể về lượng mưa hàng năm với độ lệch chuẩn là 194,08 mm. Giá trị lượng mưa tối đa và tối thiểu hàng năm lần lượt ghi nhận là 2198,4 mm (2017) và 1383,9 mm (2009), khoảng biến thiên mưa năm lên đến hơn 800 mm. Hệ số biến thiên (C_v) của lượng mưa hàng năm tại thành phố Hà Nội là 0,115. Hệ số này khá thấp, cho thấy sự đồng đều và ổn định của lượng mưa hàng năm trong giai đoạn nghiên cứu. Mặc dù có sự thay đổi về lượng mưa từ năm này sang năm khác, nhưng mức độ biến động không quá lớn, cho thấy rằng lượng mưa hàng năm có xu hướng duy trì ở mức tương đối ổn định.

Ở khu vực nghiên cứu, lượng mưa thay đổi quanh năm và có sự khác biệt rõ rệt giữa mùa mưa và mùa khô. Lượng mưa mùa mưa trung bình 1466,2 mm chiếm 86,5% tổng lượng năm.

Độ lệch chuẩn của lượng mưa mùa mưa là 186,9 mm, cho thấy có sự thay đổi đáng kể giữa các năm, mặc dù sự thay đổi này không nhiều như lượng mưa hàng năm. Hệ số biến thiên (C_v) của lượng mưa mùa mưa khá thấp là 0,128, cho thấy lượng mưa mùa mưa có mức độ đồng đều cao. Tuy vậy, giá trị lớn nhất là 1978,4 mm (năm 2017), cao hơn giá trị trung bình hơn 500 mm. Giá trị tối thiểu 1157,6 mm (năm 2009), thấp hơn giá trị lượng mưa trung bình mùa mưa 308,6 mm. Chênh lệch giữa giá trị lượng mưa mùa mưa lớn nhất và nhỏ nhất lên đến 820,8 mm còn cao hơn khoảng lệch biến thiên mưa năm.

Bảng 7. Kết quả các đặc trưng thông kê biến đổi lượng mưa năm, mưa mùa và mưa tháng trung bình thành phố Hà Nội (1981-2023).

Thể loại mưa	Trung bình (mm)	Độ lệch chuẩn (mm)	C_v	Max (mm)	Min (mm)
Mưa năm	1693,3	194,1	0,115	2198,4	1383,9
Mùa mưa	1466,2	186,9	0,128	1978,4	1157,6
Mùa Khô	227,1	51,2	0,225	370,1	142,8
Tháng 1	10,8	9,1	0,868	46,7	0,7
Tháng 2	29,4	12	0,405	75,0	14,0
Tháng 3	44,8	25,7	0,575	135,5	12,5
Tháng 4	83,5	40,0	0,479	194,3	31,1
Tháng 5	242,7	73,8	0,305	499,0	122,9
Tháng 6	230,4	73,2	0,318	403,8	93,4
Tháng 7	312,7	80,7	0,259	486,5	152,0
Tháng 8	319,2	93,3	0,292	548,2	125,0
Tháng 9	230,6	92,8	0,402	427,2	67,4
Tháng 10	130,7	94,2	0,720	390,6	17,8
Tháng 11	41,1	27,1	0,662	126,5	10,4
Tháng 12	17,5	9,0	0,514	48,7	5,4

Mùa khô, kéo dài từ tháng XI đến tháng IV năm sau, có lượng mưa trung bình là 227,1 mm, chỉ chiếm 13,5% tổng lượng mưa hàng năm. Độ lệch chuẩn lượng mưa mùa khô là 51,2 mm và hệ số biến thiên (C_v) của lượng mưa mùa khô là 0,225, nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,3, như vậy mức độ biến động của lượng mưa mùa khô ở mức trung bình. Lượng mưa mùa khô có sự biến thiên tương đối lớn giữa các năm, giá trị lớn nhất là 370.1 mm, cao hơn giá trị trung bình gần 143 mm. Giá trị tối thiểu chỉ là 142,8 mm, thấp hơn giá trị trung bình mùa khô khoảng 84,3 mm. Chênh lệch giữa giá trị lượng mưa mùa khô lớn nhất và nhỏ nhất lên đến 227,3 mm.

Lượng mưa của các tháng trong năm biến đổi rất khác nhau. Các tháng trong mùa khô lượng mưa rất thấp và có sự biến động lớn cả về lượng mưa giữa các năm trong cùng một tháng và lượng mưa giữa các tháng trong năm. Trong cùng một tháng, tỉ lệ chênh lệch giữa lượng mưa tháng lớn nhất, nhỏ nhất so với lượng mưa trung bình tháng biến đổi từ 2 đến 4 lần. Lượng mưa trung bình tháng rất nhỏ, biến đổi từ 10,8 mm đến 83,5 mm. Trong đó, tháng I là tháng có lượng mưa nhỏ nhất và đây cũng là tháng có lượng mưa biến đổi hàng năm mạnh mẽ nhất, hệ số biến đổi C_v của tháng I lên đến 0,868. Các tháng còn lại trong mùa khô hệ số biến đổi C_v biến đổi đã giảm so với tháng I nhưng vẫn khá lớn. Tháng IV là tháng chuyển tiếp từ mùa khô sang mùa mưa, trong tháng sẽ xuất hiện những trận mưa đầu mùa làm gia tăng lượng mưa tháng.

Biến đổi lượng mưa trong các tháng mùa mưa ổn định hơn so với các tháng của mùa khô hệ số biến đổi C_v trong khoảng 0,25 đến 0,4. Tuy nhiên, chỉ có tháng X hệ số biến đổi C_v cao lên đến 0,72, vì đây là tháng chuyển tiếp từ mùa mưa sang mùa khô, dẫn đến sự khác biệt khá lớn về lượng mưa giữa các năm. Trong tháng X, biến đổi lượng mưa tháng giữa năm có lượng mưa lớn nhất và nhỏ nhất lên đến 373mm, gấp 2,85 lần giá trị lượng mưa trung bình của tháng trong giai đoạn nghiên cứu. Lượng mưa trung bình các tháng trong mùa mưa biến

đổi từ 130,7mm đến 319,2 mm. Hai tháng có lượng mưa lớn nhất trong năm là tháng VII và tháng VIII, lượng mưa hai tháng này chiếm gần 40% tổng lượng mưa năm.

Nhìn chung, kết quả tính toán cho thấy mức độ biến đổi lượng mưa trong thời kỳ mùa khô và thời kỳ chuyển tiếp từ mùa mưa sang mùa khô khá lớn. Vấn đề này đòi hỏi phải có các chiến lược quản lý và phân bổ nước hợp lý kết hợp với các biện pháp giảm nhẹ biến đổi khí hậu. Bên cạnh đó, cần xem xét lập kế hoạch dài hạn để đối phó với tình trạng khan hiếm nước tiềm ẩn và những thách thức nông nghiệp phát sinh từ những biến động về lượng mưa này.

3.2.2. Xu thế biến đổi lượng mưa

Bảng 8 trình bày kết quả phân tích xu hướng biến đổi mưa năm, mưa mùa và mưa tháng trong 43 năm (1981-2023) theo kiểm định phi tham số M-K (công thức (6)) và xu thế biến đổi Sen's slope (công thức (8)).

Bảng 8. Kết quả phân tích xu hướng lượng mưa hàng năm, theo mùa và theo tháng trung bình thành phố Hà Nội (1981-2023).

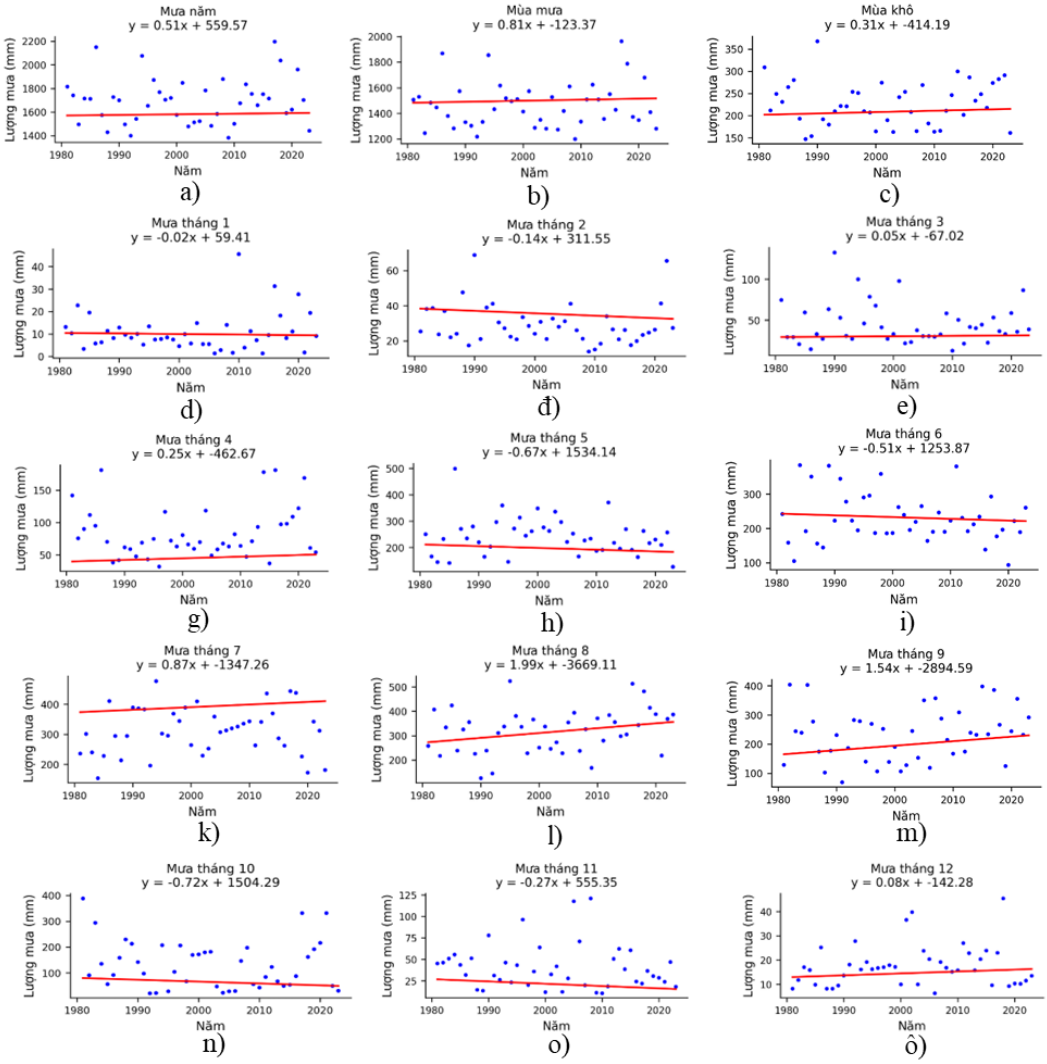
Mưa	alpha	p-value	M - K (Z)	Sen's Slope	Xu thế
Năm	0,1	0,79	0,27	0,51	Tăng
Mùa mưa	0,1	0,77	0,29	0,81	Tăng
Mùa khô	0,1	0,68	0,42	0,31	Tăng
Tháng 1	0,1	0,69	-0,40	-0,02	Giảm
Tháng 2	0,1	0,27	-1,11	-0,14	Giảm
Tháng 3	0,1	0,79	0,27	0,05	Tăng
Tháng 4	0,1	0,48	0,71	0,25	Tăng
Tháng 5	0,1	0,38	-0,88	-0,67	Giảm
Tháng 6	0,1	0,37	-0,90	-0,51	Giảm
Tháng 7	0,1	0,50	0,67	0,87	Tăng
Tháng 8	0,1	0,06	1,90*	1,99	Tăng
Tháng 9	0,1	0,26	1,13	1,54	Tăng
Tháng 10	0,1	0,56	-0,59	-0,72	Giảm
Tháng 11	0,1	0,20	-1,28	-0,27	Giảm
Tháng 12	0,1	0,31	1,03	0,08	Tăng

*Đảm bảo mức ý nghĩa α là 10%.

Qua bảng 8, có thể thấy rằng lượng mưa các thời đoạn năm, mùa trung bình trên thành phố Hà Nội đều có xu thế tăng nhẹ. Cụ thể, lượng mưa hàng năm có xu thế tăng với Sen's Slope là 0,51 mm/năm và giá trị M-K (Z) là 0,27. Tương tự, lượng mưa mùa mưa và mùa khô cũng có xu thế tăng với giá trị Sen's Slope lần lượt là 0,81 mm/năm và 0,31 mm/năm. Tuy nhiên, xu thế tăng này không quá lớn, vì vậy không đạt được mức ý nghĩa thống kê với α bằng 0,1. Giá trị p-value của cả lượng mưa năm và mùa mưa đều lớn hơn 0,1, điều này cho thấy rằng xu thế tăng của lượng mưa năm và mưa mùa không đủ lớn để khẳng định có sự thay đổi đáng kể trong giai đoạn nghiên cứu (Hình 6a–6c).

Xu thế biến đổi lượng mưa có sự khác biệt rõ rệt giữa các tháng trong giai đoạn nghiên cứu. Theo kết quả phân tích xu thế biến đổi Sen's Slope trong bảng 8 và hình 6, có 6 tháng ghi nhận xu thế tăng lượng mưa, bao gồm: tháng III, IV, VII, VIII, IX và XII, vớ mức tăng từ 0,08 mm/năm đến 1,99 mm/năm. Ngược lại, 6 tháng còn lại, gồm tháng I, II, V, VI, X và XI có xu thế giảm lượng mưa, với lượng mưa giảm từ 0,02 mm/năm đến 0,72 mm/năm. Tuy nhiên, tương tự như xu thế của lượng mưa năm và mưa mùa, các xu thế biến đổi tăng, giảm của lượng mưa hàng tháng không đạt mức ý nghĩa thống kê với α = 0,1. Trong các tháng từ tháng I đến tháng VII (Hình 6d–6k) và các tháng X đến tháng XII (Hình 6m–6o) đường xu thế biến đổi (đường màu đỏ) hầu hết gần như đều nằm ngang song song với trục hoành. Trong khi đó, tháng VIII và tháng IX đường xu thế biến đổi lượng mưa tương đối dốc, lượng mưa tăng đáng kể. Tháng VIII ghi nhận lượng mưa tăng mạnh lên đến 1,99 mm/năm và đảm bảo mức ý nghĩa thống kê với α = 0,1 (p-value = 0,06) (Bảng 8, Hình 6l). Mặc dù, tháng IX cũng

cho thấy xu thế tăng đáng kể (1,54 mm/năm), nhưng mức tăng này vẫn chưa đảm bảo mức ý nghĩa thống kê với α = 0,1 (vì p-value = 0,26). Nhìn chung, xu thế lượng mưa tháng tăng lớn hơn so với xu thế lượng mưa tháng giảm, nhưng phần lớn các thay đổi này không đủ để khẳng định có sự biến đổi đáng kể trong giai đoạn nghiên cứu, ngoại trừ tháng VIII với lượng mưa tăng đáng kể đảm bảo mức ý nghĩa thống kê với α = 0,1.



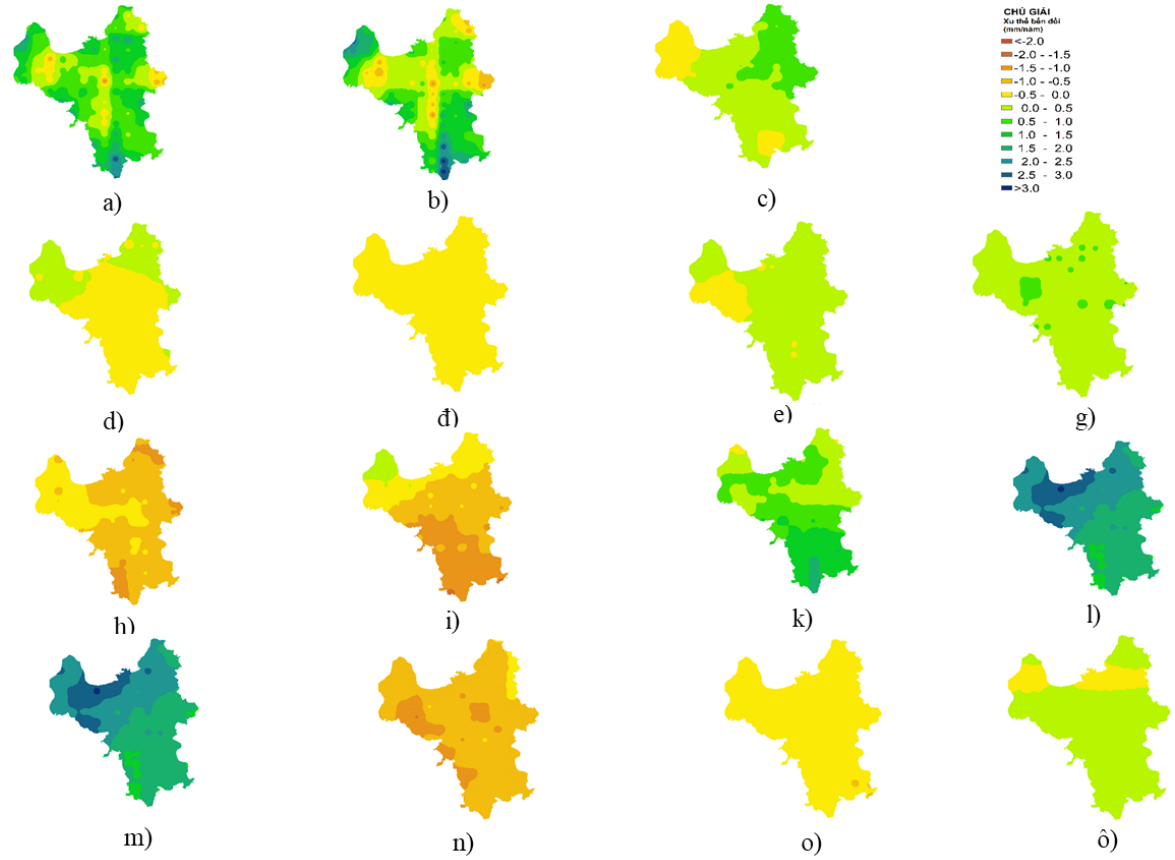
Hình 6. Xu thế biến đổi lượng mưa Sen's Slope hàng năm, mưa mùa, mưa tháng giai đoạn (1981 - 2023): a) Hàng năm; b) Mùa mưa; c) Mùa khô; d) Tháng 1; đ) Tháng 2; e) Tháng 3; g)Tháng 4; h) Tháng 5; i) Tháng 6; k) Tháng 7; l) Tháng 8; m) Tháng 9; n) Tháng 10; o) Tháng 11; ô) Tháng 12.

Sự phân bố không gian của xu thế biến đổi lượng mưa các thời đoạn năm, mùa và tháng được xác định bằng phương pháp xu thế biến đổi Sen's slope dựa trên dữ liệu lượng mưa hàng năm, mưa mùa và mưa tháng của 116 ô lưới phân bố trên thành phố Hà Nội. Trong hình 7, màu xanh lam và màu xanh lá biểu thị cho xu hướng lượng mưa tăng còn màu vàng và màu cam biểu thị cho xu hướng lượng mưa giảm.

Giai đoạn 1981-2023, lượng mưa năm và là lượng mưa mùa tại Hà Nội có xu thế tăng, với mức tăng toàn thành phố là không nhiều chỉ khoảng 0,5-1,5 mm/năm, màu sắc được biểu thị trong các hình 7a–7c chủ yếu là màu xanh lá cây bao phủ thành phố. Khu vực phía Nam thành phố có lượng mưa tăng đáng kể, trong khi khu vực núi Ba Vì, Sóc Sơn và khu vực trung tâm thành phố lại có xu hướng giảm lượng mưa trong mùa mưa và mưa năm (Hình 7a, 7b). Mùa khô, lượng mưa biến đổi rất ít chỉ khoảng -0,5 đến 1,0 mm.

Trong các tháng từ tháng I đến tháng IV, tháng XI và tháng XII, trên toàn thành phố lượng mưa biến đổi rất ít. Các hình từ 7d đến 7g, 7o và 7ô chủ yếu xuất hiện hai màu chủ đạo

là vàng và xanh lõn chuối, cho thấy lượng mưa các tháng này có xu thế biến đổi rất nhỏ chỉ từ -0,5 đến 0,5 mm. Trong các tháng đầu mùa mưa là tháng V, VI (thời kỳ chuyển tiếp từ mùa khô sang mùa mưa) và tháng X cuối mùa mưa (thời kỳ mùa mưa sang mùa khô), lượng mưa tại Hà Nội có xu thế giảm. Trên các hình 7h, 7i và 7n màu cam chiếm phần lớn diện tích thành phố, tương ứng với lượng mưa tháng có xu thế giảm từ 1-2,0 mm/ năm. Tháng VII, VIII và IX là ba tháng có lượng mưa tăng (hình 7k, 7l và 7m). Trong đó, tháng VIII và tháng IX là hai tháng lượng mưa tăng nhiều khoảng từ 2-3,0 mm/năm trên toàn thành phố. Trên các hình 7l và 7m, màu xanh lam bao phủ cả khu vực nghiên cứu, cho thấy sự tăng lượng mưa đáng kể trong các tháng này.



Hình 7. Sự phân bố không gian của xu thế biến đổi lượng mưa hàng năm, theo mùa và theo tháng giai đoạn (1981 - 2023) dựa trên cơ sở dữ liệu CHIRPS: a) Hàng năm; b) Mùa mưa; c) Mùa khô; d) Tháng 1; đ) Tháng 2; e) Tháng 3; g)Tháng 4; h) Tháng 5; i) Tháng 6; k) Tháng 7; l) Tháng 8; m) Tháng 9; n) Tháng 10; o) Tháng 11; ô) Tháng 12.

3.3. Thảo luận

Nghiên cứu này đánh giá dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS bằng cách so sánh với số liệu mưa quan trắc tại các trạm khí tượng bao gồm dữ liệu mưa hàng ngày, tháng, mùa và năm. Kết quả nghiên cứu, tương tự như các nghiên cứu trước đây [3, 8, 35, 44], cho thấy rằng dữ liệu vệ tinh CHIRPS chỉ phản ánh tốt với lượng mưa theo tháng, mùa và năm. Đối với dữ liệu lượng mưa ngày, sai số giữa lượng mưa vệ tinh CHIRPS và mưa quan trắc tại các trạm khí tượng là khá lớn, mức độ tương quan không cao mà dữ liệu mưa từ vệ tinh CHIRPS mới chỉ phản ánh được một phần thông qua nhận biết hiện tượng có mưa và không có mưa. Vì vậy, khi sử dụng dữ liệu lượng mưa CHIRPS làm dữ liệu đầu vào cho các bài toán mô phỏng dòng chảy hoặc đánh giá, nên chỉ tiếp cận dữ liệu mưa với các thời khoảng hàng tháng, mùa hoặc hàng năm. Nếu sử dụng dữ liệu lượng mưa CHIRPS với thời khoảng ngày, cần thực hiện kiểm định và hiệu chỉnh cẩn thận để đảm bảo độ chính xác và đáng tin cậy.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã tiến hành đánh giá hiệu quả và độ chính xác của dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS ở thành phố Hà Nội, thông qua việc so sánh với số liệu mưa thực đo tại các trạm khí tượng. Kết quả so sánh sẽ làm cơ sở để sử dụng mưa vệ tinh CHIRPS đánh giá mức độ và xu thế biến đổi mưa khu vực nghiên cứu.

Kết quả đánh giá cho thấy sản phẩm mưa vệ tinh còn hạn chế đối với lượng mưa hàng ngày, chuỗi dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS chỉ phản ánh được thông qua việc nhận biết hiện tượng có mưa hoặc không có mưa. Mức độ tương quan lượng mưa ngày giữa lượng mưa vệ tinh và mưa quan trắc còn thấp, dưới 0,4. Tuy nhiên, khi phân tích theo hàng tháng, mùa và năm, chất lượng dữ liệu mưa của CHIRPS được cải thiện đáng kể. Hệ số tương quan đánh giá mưa tháng tốt, với tất cả các trạm giá trị R trên 0,8. Mặc dù hệ số tương quan đánh giá mưa mùa và mưa năm nhỏ hơn mưa tháng, nhưng R tại các trạm này đều đạt mức khá ($R \geq 0,57$).

Nghiên cứu cũng đã sử dụng mưa vệ tinh CHIRPS để phân tích sự biến đổi không gian và xu hướng dài hạn của lượng mưa hàng tháng, mùa và năm cho khu vực thành phố Hà Nội, trong giai đoạn 1981-2023. Kết quả cho thấy lượng mưa hàng năm và mùa mưa có sự ổn định cao, với hệ số biến đổi thấp. Ngược lại, lượng mưa tháng có sự biến động lớn hơn, đặc biệt trong mùa khô và thời kỳ chuyển tiếp giữa hai mùa, với hệ số biến đổi C_v dao động từ 0,4 đến 0,87.

Xu hướng biến đổi lượng mưa trong giai đoạn nghiên cứu cho thấy có sự tăng nhẹ về lượng mưa hàng năm, mùa mưa và mùa khô, nhưng mức độ tăng không đủ lớn để khẳng định có sự thay đổi đáng kể với mức ý nghĩa $\alpha = 0,1$. Trong năm, theo Sen's slope các tháng III, IV, VII, VIII, IX và XII có xu hướng lượng mưa tăng, trong đó, tháng VIII và IX đặc biệt đáng chú ý với lượng mưa tăng đáng kể. Xu thế biến đổi theo không gian của lượng mưa tháng tại Hà Nội biến đổi khá đồng đều về xu hướng nhưng giá trị biến đổi giữa các khu vực là khác nhau do ảnh hưởng của điều kiện địa hình và vị trí địa lý, với khu vực phía Nam thành phố có lượng mưa tăng lớn nhất, trong khi khu vực núi Ba Vì và Sóc Sơn có xu thế giảm.

Kết quả của nghiên cứu cung cấp cơ sở quan trọng để sử dụng dữ liệu mưa vệ tinh CHIRPS trong việc đánh giá biến đổi lượng mưa theo tháng, mùa và năm tại Hà Nội. Đối với các ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao về lượng mưa hàng ngày, việc kết hợp dữ liệu mưa vệ tinh với các phương pháp hiệu chỉnh phù hợp là cần thiết.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.B.N., T.V.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.B.N., T.V.T.; Xử lý số liệu: N.T.B.N.; Viết bản thảo bài báo: N.T.B.N., T.V.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.B.N., T.V.T.

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 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. Alsalal, S.T.; Leong, M.; Sâmt, N.; Al-Bakri, J.T; Longhui, L. Evaluation of CHIRPS and CFSR precipitation products over the Mujib Basin, Jordan. *Geografia Malaysian J. Soc. Space*. **2023**, *19(2)*, 1–20. https://doi.org/10.17-576/geo-2023-1902-01.
2. Senent-Aparicio, J.; López-Ballesteros, A.; Pérez-Sánchez, J.; Segura-Méndez, F.J.; Pulido-Velazquez, D. Using multiple monthly water balance models to evaluate gridded precipitation products over peninsular Spain. *Remote Sens*. **2018**, *10*, 922. https://doi.org/10.3390/rs10060922.
3. Chung, T.B.; Phương, T.A.; Hằng, T.T.D.; Anh.N.T.; An, H.T.; Campbell, S.B. Nghiên cứu khả năng sử dụng số liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao trong mô phỏng dòng chảy trên lưu vực sông thiếu số liệu. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, *754*, 59–70.

4. Kiên, N.T.; An, N.L.; Thành, L.Đ. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh gsmap mô phỏng mưa lớn - ứng dụng cho lưu vực sông Mã. *Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2019**, *64*, 76–83.
5. Tổng cục Khí tượng Thủy Văn. Thống kê và cập nhật thông tin các trạm Khí tượng Thủy văn. 2024. Trực tuyến: http://vmha.gov.vn/thong-bao-cua-tong-cuc-104/quyet-dinh-phe-duyet-quy-hoach-mang-luoi-tram-khi-tuong-thuy-van-quoc-gia-thoi-ky-2021-%E2%80%93-2030-tam-nhin-den-nam-2050-16672.html
6. Ngọc, T.M.; Khá, Đ.Đ.; Tuấn, N.C.; Như, N.Y. Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CMORPH trên lưu vực sông Lam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2024**, *763*, 24–34. doi:10.36335/VNJHM.2024(763).24-34.
7. Eng, J.; Hao, Z.; Wang, J.; Shao, Q. Suitability of TRMM satellite rainfall in driving a distributed hydrological model in the source region of Yellow River. *J. Hydrol*. **2014**, *509*, 320–332.
8. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên cứu đánh giá vá so sánh các dữ liệu mưa vệ tinh độ phân giải cao lưu vực sông Cả. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *695*, 17–28.
9. Lành, N.V.; Dũng, N.V.; Dương, T.H.; Tâm, T.T. Sử dụng lượng mưa vệ tinh đánh giá khả năng hạn hán khí tượng dựa trên chỉ số SPI cho khu vực tỉnh Thanh Hóa. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, *696*, 1–9.
10. Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A.T.C.; Stocker, E.; Adler, R.F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. *J. Appl. Meteorol*. **2000**, *39(12)*, 1965–1982. https://doi.org/10.1175/15200450(2001)040<1965:TSOTTR>-2.0.CO;2.
11. Jaxa. Theo dõi lượng mưa toàn cầu Jaxa. Trực tuyến: https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP.
12. CHC, USGS. Ước tính lượng mưa từ máy đo mưa và quan sát vệ tinh CHIRPS. Trực tuyến: https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps.
13. Duan, Z.; Tuo, Y.; Liu, J.; Gao, H.; Song, X.; Zhang, Z.; Yang, L.; Mekonnen, D.F. Hydrological evaluation of open-access precipitation and air temperature datasets using SWAT in a poorly gauged basin in Ethiopia. *J. Hydrol.* **2019**, *569*, 612–626. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.026.
14. Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data.* **2015**, *2(1)*, 1–21. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66.
15. Duan, Z.; Liu, J.; Tuo, Y.; Chiogna, G.; Disse, M. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Sci. Total Environ*. **2016**, *573*, 1536–1553. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.213.
16. Macharia, J.M.; Ngetich, F.K.; Shisanya, C.A. Comparison of satellite remote sensing derived precipitation estimates and observed data in Kenya. *Agric. For. Meteorol.* **2020**, *284*, 107875. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.20-19.107875.
17. Rivera, J.A.; Marianetti, G.; Hinrichs, S. Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina. *Atmos. Res*. **2018**, *213*, 437–449. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.06.023.
18. Ullah, W.; Wang, G.; Ali, G.; Tawia Hagan, D.F.; Bhatti, A.S.; Lou, D. Comparing multiple precipitation products against in-situ observations over different climate regions of Pakistan. *Remote Sens.* **2019**, *11(6)*, 628. https://doi.org/10.33-90/rs11060628.

19. Bai, L.; Shi, C.; Li, L.; Yang, Y.; Wu, J. Accuracy of CHIRPS satellite-rainfall products over mainland China. *Remote Sens.* **2018**, *10(3)*, 362. https://doi.org/10.3390/rs10030362.
20. Guo, J.; Su, X. Parameter sensitivity analysis of SWAT model for streamflow simulation with multisource precipitation datasets. *Hydrol. Res*. **2019**, *50(3)*, 861–877. https://doi.org/10.2166/nh.2019.083.
21. Tuan, T.L.; Matsumoto, J.; Duc, N.T.; Nodzu, M.I.; Inoue, T. Evaluation of satellite precipitation products over the Central of Vietnam. *Prog. Earth Planet. Sci.* **2019**, *6*, 1–16.
22. Thảo, N.H.P. Đánh giá chất lượng dữ liệu mưa CHIRPS tại khu vực tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận. Tuyển tập Hội nghị KHTN trường Đại học Thủy Lợi, 2019, tr. 724–726.
23. Liên, N.T.; Hưng, N.Q.; Ngọc, T.M. Nghiên cứu đánh giá chất lượng dữ liệu mưa lưới một số trận mưa lớn trên khu vực thành phố Hà Tĩnh. *Tạp chí khoa học Biến đổi khí hậu* **2022**, *24*, 10–21.
24. Sơn, N.T.; Anh, N.Q. Khai thác sử dụng số liệu mưa vệ tinh trong dự báo lũ lưu vực sông Mê Kông (từ Chiang Saen đến Strung Streng). *Tạp chí Khoa học tự nhiên và Công nghệ* **2015**, *31*, 222–230.
25. Anh, N.Q. Khai thác sử dụng số liệu vệ tinh trong dự báo lũ lưu vực sông Mê Công (từ Chiang saen đến Stung Treng). Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. 2012.
26. Dinh, K.D.; Anh, T.N.; Nguyen, N.Y.; Bui, D.D.; Srinivasan, R. Evaluation of gridbased rainfall products and water balances over the Mekong river basin. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 1858. https://doi.org/10.3390/rs12111858.
27. Thom, V.T.; Khoi, D.N.; Linh, D.Q. Using gridded rainfall products in simulating streamflow in a tropical catchment - A case study of the Srepok River Catchment, Vietnam. *J. Hydrol. Hydromech.* **2017**, *65*, 18–25. https://doi.org/10.15-15/johh-2016-0047.
28. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Phê duyệt và công bố kết quả thống kê diện tích đất đai năm 2020. Hà Nội. 2022.
29. Tổng cục Thống kê. Niên giám Thống kê Việt Nam năm 2022. 2023, tr. 109.
30. Dốc, L.Q. Địa lí Hà Nội. Đại học Sư phạm, 2011.
31. Thịnh, N.V. Địa lý Hà Nội. Hà Nội, 2021.
32. Thành, N.Đ. Giáo trình đánh giá biến đổi khí hậu. Đại học Quốc gia Hà Nội, 2021.
33. Tân, P.V. Phương pháp thống kê trong khí hậu. Đại học Quốc gia Hà Nội, 2005.
34. Kumar, U; Singh, D.K; Panday, S.C; Bisht, J.K; Kant, L. Spatio-temporal trend and change detection of rainfall for Kosi River basin, Uttarakhand using long-term (115 years) gridded data. *Arabian J. Geosci*. **2023**, *16(3)*, 173. https://doi.org/10.1007/s12517-023-11244-0.
35. Kumar, A.; Kumar, S.; Rautela, K.S.; Shekhar, S.; Ray, T.; Thangavel, M. Assessing seasonal variation and trends in rainfall patterns of Madhya Pradesh, Central India. *J. Water Clim. Change* **2023**, *14(10)*, 3692–3712. https://doi.org/10.2166/wcc.2023.280.
36. Sen, P. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc.* **1968**, *63*, 1379–1389.
37. Sarkar, A.; Saha, S.; Sarkar, D.; Mondal, P. Variability and trend analysis of the rainfall of the past 119 (1901–2019) years using statistical techniques: A case study of Uttar Dinajpur, India. *J. Clim. Change* **2021**, *7(2)*, 49–61. https://doi.org/10.3233/JCC210011.
38. Asfaw, A.; Simane, B.; Hassen, A.; Bantider, A. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: a case study in Woleka

sub-basin. *Weather Clim. Extremes* **2018**, *19*, 29–41. https://doi.org/10.10-16/j.wace.2017.12.002.
39. Silva, A.T. Introduction to nonstationary analysis and modeling of hydrologic variables. *Int. Fundam. Stat. Hydrol*. **2017**, 537–577.
40. Tadese, M.T.; Kumar, L.; Koech, R.; Zemadim, B. Hydro-Climatic Variability: A Characterisation and Trend Study of the Awash River Basin, Ethiopia. *Hydrol*. **2019**, *6(2)*, 35.
41. Arrieta-Castro, M.; Donado-Rodríguez, A.; Acuña, G.J.; Canales, F.A.; Teegavarapu, R.S.V.; Ka´zmierczak, B. Analysis of streamflow variability and trends in the Meta River, Colombia. *Water* **2020**, *12(5)*, 1451. https://doi.org/10.3390/w12051451.
42. Tín, N.V. Đánh giá xu thế biến đổi của lượng mưa thời đoạn lớn nhất khu vực thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 1971-2016 bằng kiểm định phi tham số Mann-Kendall. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, *11*, 52–55.
43. Ren, P.; Li, J.; Feng, P.; Guo, Y.; Ma, Q. Evaluation of multiple satellite precipitation products and their use in hydrological modelling over the Luanhe River basin, China. *Water* **2018**, *10(6)*, 677. https://doi.org/10.3390/w10060677.
44. Morales-Acuña, E.; Linero-Cueto, J.R.; Canales, F.A. Assessment of precipitation variability and trends based on satellite estimations for a heterogeneous Colombian region. *Hydrol.* **2021**, *8*, 128. https://doi.org/10.3390/hydrology-8030128.
45. Cục Quản lý Tài nguyên nước. Báo cáo Quy hoạch tài nguyên nước thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050. Hà Nội, Bộ Tài nguyên và Môi trường. 2021.

Assessment of rainfall variability and trends in Hanoi city using chirps satellite rainfall estimations

Nguyen Thi Bich Ngoc[1], Tran Van Tinh[1]*

[1] Hanoi university of natural resources and environment, Hanoi, Vietnam; ntbngoc@hunre.edu.vn; tvtinh@hunre.edu.vn

Abstract: This study used statistical indicators such as rainfall detection thresholds, total rainfall, and correlation coefficients to compare and evaluate the quality of satellite rainfall data from the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) against daily, monthly, seasonal, and annual rainfall data from four meteorological stations in Hanoi for the period 1981-2023. The evaluation results showed that the correlation between satellite rainfall data and observed rainfall data was strong on a monthly period ($R > 0.8$), though it decreased for annual and seasonal periods (R ranging from 0.57 to 0.8), but remained at or above a moderate level. Although the correlation for daily rainfall was low ($R < 0.4$), satellite rainfall did reflect rainfall phenomena with a forecast accuracy (PC) ranging from 0.65 to 0.68. Additionally, the paper evaluated rainfall trends using the Mann-Kendall test and estimated Sen's slope. The research results indicated that annual and seasonal rainfall in Hanoi is quite stable, with slight increasing trends. Within the year, August and September show a significant increase in rainfall, particularly in August, where rainfall increased by up to 1.99 mm/year and reached statistical significance ($\alpha = 0.1$). The spatial variation trend of satellite rainfall in Hanoi is uniform, but the magnitude of variation differs by region.

Keywords: Hanoi; Satellite rainfall; CHIRPS; Mann-Kendall; Rainfall trends.