

Bài báo khoa học

Đánh giá chất lượng mưa vệ tinh CMORPH trên lưu vực sông Lam

Trịnh Minh Ngọc¹, Đặng Đình Khá¹, Ngô Chí Tuấn¹, Nguyễn Ý Như^{1*}

¹ Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; trịnhminhngoc@hus.edu.vn; dangdinhkha@hus.edu.vn; ngochituan@gmail.com; nguyennhu@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nguyennhu@hus.edu.vn; Tel.: +84-869110757

Ban Biên tập nhận bài: 15/2/2024; Ngày phản biện xong: 25/3/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Dữ liệu mưa vệ tinh đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu tài nguyên nước trên lưu vực sông, đặc biệt là các lưu vực sông liên quốc gia, khi độ phân giải và mức độ chính xác của mưa vệ tinh ngày càng được nâng cao. Nội dung bài báo sẽ phân tích đánh giá chất lượng dữ liệu mưa vệ tinh CMORPH trong thời gian 23 năm (2000 – 2022) trên lưu vực sông Lam. Nghiên cứu sử dụng chuỗi dữ liệu thực đo từ 17 trạm mưa để so sánh với các ô lưới mưa theo đánh giá theo thời đoạn mưa ngày, mưa tháng, mưa mùa và mưa năm. Các chỉ số thống kê định tính, định lượng, pha mưa để đánh giá theo phân bố thời gian, không gian của dữ liệu mưa CMORPH. Phân tích các kết quả nghiên cứu cho thấy sản phẩm mưa CMORPH có xu thế thiên thấp khoảng 20% so với mưa trạm, phân bố mưa theo không gian phản ánh tốt, tổng lượng mưa theo tháng tương quan khá tốt với mưa trạm ($CC=0,81$), tuy nhiên, dữ liệu mưa theo ngày thì chưa phản ánh tốt khi chỉ số tương quan chỉ khoảng 0,42 và các sự kiện mưa lớn.

Từ khoá: CMORPH; Lưu vực sông Lam; Chỉ số thống kê.

1. Đặt vấn đề

Nước đóng vai trò quan trọng trong sinh kế của con người và cả hệ sinh thái. Đây cũng là một nguồn tài nguyên cơ bản không thể thiếu cho sự phát triển kinh tế - xã hội bền vững. Tuy nhiên, các vấn đề liên quan đến tài nguyên nước đang ngày càng trở nên nghiêm trọng do sự tăng dân số và sự phát triển kinh tế diễn ra nhanh chóng. Lượng mưa là một trong những dữ liệu quan trọng trong các bài toán tài nguyên nước đặc biệt là nghiên cứu trữ lượng, phân bố nguồn nước, thiên tai lũ lụt [1] trong điều kiện biến đổi khí hậu diễn ra ngày càng phức tạp và nhanh chóng.

Các sản phẩm lượng mưa hiện có từ các nguồn phổ biến như; quan trắc tại các trạm đo mặt đất, vệ tinh/radar, sản phẩm của các mô hình số [2]. Những nguồn dữ liệu mưa có những đặc tính về ưu và nhược điểm khác nhau. Trong khi chất lượng dữ liệu quan trắc mang đặc điểm đáng tin cậy nhất tuy nhiên sự phân bố không gian của chúng thường thưa thớt và không đồng đều, nhất là ở những vùng địa hình bị hạn chế [3]. Các sản phẩm quan trắc từ vệ tinh với độ bao phủ rộng theo không gian có khả năng bổ khuyết cho các trạm đo mưa trên mặt đất. Mặc dù đã có sự tiến bộ nhảy vọt về các công nghệ quan trắc từ xa như radar, vệ tinh nhưng các nguồn dữ liệu thu nhận từ vệ tinh vẫn còn tiềm ẩn nhiều sai số [4, 5] hoặc do thiết bị thu nhận [6] hoặc do thuật toán ước tính lượng mưa [4, 7] hay do sự khác biệt điều kiện khí hậu, mặt đệm giữa các vùng [8] ... Do vậy, lựa chọn sản phẩm từ vệ tinh nào có đủ độ tin cậy để bổ khuyết cho các nguồn dữ liệu quan trắc mặt đất trong tính toán phân bổ tài nguyên nước vẫn còn là hướng nghiên cứu được quan tâm trong những năm gần đây.

Các sản phẩm mưa vệ tinh có sự khác biệt lớn giữa các vùng, do vậy, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu tiến hành đánh giá các sản phẩm mưa trên các quy mô khác nhau; như trên phạm vi toàn cầu [9], các châu lục [10, 11], khu vực khác nhau [5, 12], vùng liên quốc gia [5, 13–30], quốc gia [31, 32] hay trên các lưu vực sông [24, 33]. Sau khi thực hiện các nghiên cứu thường đưa ra kết luận khẳng định mức độ chính xác của các dữ liệu mưa vệ tinh biến đổi theo từng mùa, từng vùng khí hậu và địa hình. Như nghiên cứu tại Indonesia [34], và châu Âu [35], Malaysia [36], Bhutan [37] để chỉ ra rằng, dữ liệu mưa CMORPH thường thiên thấp so với mưa thực đo, trong khi đó tại khu vực Bắc Trung Quốc lại có xu thế thiên cao đáng kể [38].

Ở Việt Nam, các nhà khoa học đã nghiên cứu đánh giá các dữ liệu mưa vệ tinh như trên một số lưu vực sông như tại sông Srê Pôk [23] sông Mã [39], lưu vực sông Mê Công [40, 41], khu vực miền Trung [42]. Các nghiên cứu đều chứng minh rằng việc sử dụng các dữ liệu mưa vệ tinh hoàn toàn có thể bổ khuyết cho những khu vực thiếu/không có trạm quan trắc mặt đất và hơn thế nữa còn nâng cao hiệu quả tính toán dòng chảy khi kết hợp với số liệu quan trắc mặt đất [40]. Trên lưu vực sông Cả, nghiên cứu [7] đã đánh giá 4 dữ liệu mưa GPM, TRMM, CHIRPS, CMORPH nhưng còn một số hạn chế như; thời đoạn đánh giá chỉ 3 năm (2015-2017), số lượng trạm mặt đất sử dụng là 12 trạm, chưa đưa ra những thông tin về lượng mưa cực trị của dữ liệu mưa vệ tinh so với mưa quan trắc mặt đất, đánh giá số liệu mưa theo năm mới chỉ dùng số liệu của năm 2015. Do vậy, cần có thêm những phân tích với chuỗi số liệu dài hơn và đầy đủ hơn để có những góc nhìn toàn diện về dữ liệu mưa vệ tinh.

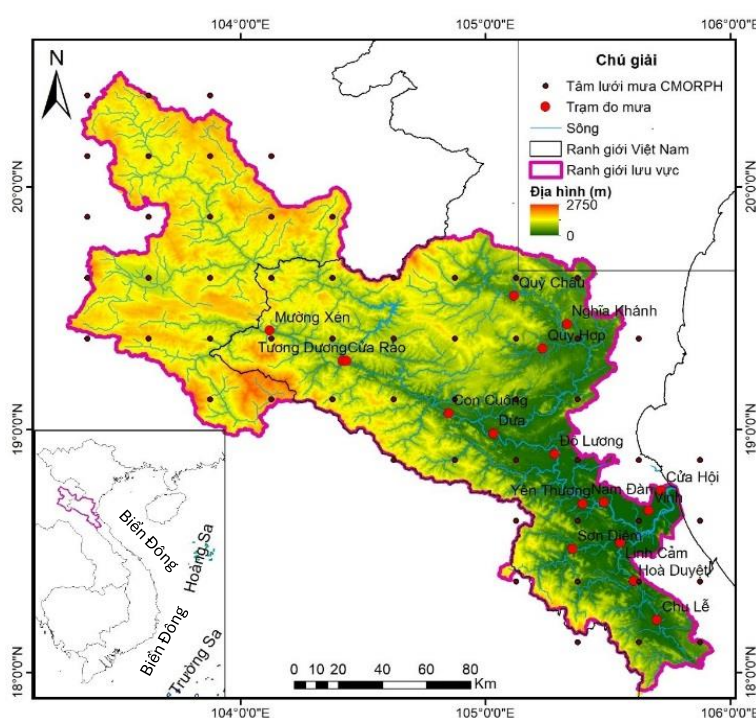
Bài báo này có mục đích chính là đánh giá số liệu mưa CMORPH cho sông Lam (hay còn gọi là sông Cả) nhằm phục vụ nghiên cứu đánh giá tài nguyên nước trên lưu vực sông Lam trong điều kiện nguồn dữ liệu quan trắc mặt đất còn hạn chế.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Lưu vực sông Lam (còn gọi là sông Cả) là lưu vực sông xuyên biên giới, khu vực thượng lưu thuộc CHDCND Lào (chiếm 35% diện tích lưu vực), vùng hạ lưu thuộc Việt Nam (65% diện tích lưu vực). Đây là một trong những sông lớn nhất vùng Bắc Trung Bộ với diện tích đất nông nghiệp chiếm hơn 75,8% diện tích lưu vực [43], do đó nguồn nước đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội trên lưu vực. Tuy nhiên, những nghiên cứu gần đây [44, 45] cho thấy những tác hại của hạn hán, lũ lụt, xâm nhập mặn,... càng trở nên trầm trọng trên lưu vực sông Lam.

Lưu vực sông Lam nằm ở vùng nhiệt đới gió mùa, với lượng mưa trung bình trên lưu vực trong khoảng 1100-2500 mm/năm, được chia làm 2 mùa; mùa mưa từ tháng V-X, mùa khô từ tháng XI-IV [43]. Sông Lam được hợp thành từ 2 nhánh chính là sông La (chảy trên



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông Lam.

địa phận tỉnh Hà Tĩnh) và sông Cả (chảy qua địa phận tỉnh Nghệ An). Sông Lam trở thành ranh giới giữa tỉnh Nghệ An và Hà Tĩnh trước khi đổ ra Biển Đông tại Cửa Hội.

Mạng lưới trạm quan trắc mưa trên lưu vực còn khá thưa thớt so với tiêu chuẩn của tổ chức Khí tượng thế giới WMO [7]. Ngoài ra, mật độ phân bố của các trạm đo mưa chủ yếu tập trung ở khu vực đồng bằng và thưa thớt vùng thượng lưu, miền núi (Hình 1). Do vậy, nguồn dữ liệu mưa từ vệ tinh có vai trò quan trọng trong bổ khuyết nguồn dữ liệu mưa trên lưu vực sông.

2.2. Dữ liệu mưa vệ tinh sử dụng trong nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, các tác giả phân tích, đánh giá dữ liệu mưa CMORPH (*Climate Prediction Center Morphing Technique*) [46], đây là dữ liệu mưa được phát triển bởi Trung tâm Dự báo Khí hậu (*Climate Prediction Center*) của Cơ quan Khí tượng Quốc gia Hoa Kỳ (*National Weather Service*) để ước tính mưa toàn cầu dựa trên dữ liệu vệ tinh. Mưa CMORPH sử dụng kỹ thuật “Morphing” để kết hợp và nâng cao chất lượng dữ liệu mưa từ các cảm biến vệ tinh chuyển động như MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) và TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). Dữ liệu mưa CMORPH có 3 sản phẩm mưa với độ phân giải theo không gian và thời gian khác nhau bao gồm; 30-phút/8 km, 3-giờ/0,25° và 1- ngày/0,25°, thời gian có dữ liệu từ năm 1998 đến nay. Dựa trên mật độ trạm quan trắc mặt đất và độ phân giải thời gian của dữ liệu hiện có trên lưu vực, nghiên cứu đã chọn dữ liệu mưa CMORPH có độ phân giải phù hợp là 1-ngày/0.25° để tiến hành đánh giá.

2.3. Dữ liệu mưa quan trắc tại mặt đất

Để đánh giá sản phẩm mưa vệ tinh CMORPH, nghiên cứu đã sử dụng số liệu mưa quan trắc tại các trạm khí tượng thủy văn trên lưu vực sông Lam. Số liệu mưa trạm bao gồm dữ liệu mưa theo ngày tại 17 trạm đo mưa được quan trắc trong giai đoạn 2000-2022 từ Tổng cục khí tượng thủy văn (Hình 1).

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Để phân tích hiệu quả của dữ liệu mưa CMORPH so với mưa trạm thường có 2 phương pháp bao gồm (1) nội suy mưa tại điểm trạm về mưa lưới có cùng độ phân giải theo không gian với sản phẩm mưa vệ tinh, (2) trích xuất dữ liệu mưa lưới về điểm quan trắc. Với cách tiếp cận (1) [42] sẽ cho kết quả các chỉ số thống kê trên từng ô lưới mưa bao phủ toàn bộ vùng nghiên cứu. Nhưng phương pháp này chỉ nên sử dụng ở những khu vực có mạng lưới trạm quan trắc đủ dày và thuật toán nội suy cũng cần được đánh giá, kiểm chứng để lượng mưa tại mỗi ô lưới sẽ đại diện cho số liệu mưa tại đó. Với cách tiếp cận (2) [26] có ưu điểm có thể được thực hiện tại những lưu vực sông có mật độ trạm thưa và khi so sánh trực tiếp các số liệu mưa lưới với các giá trị quan trắc tại trạm mặt đất sẽ đảm bảo không làm mất đi những đặc điểm mang tính cực trị của dữ liệu quan trắc. Trong nghiên cứu này đã sử dụng cách tiếp cận (2) để đánh giá mưa CMORPH được thực hiện theo phương pháp điểm trạm mưa nằm trong ô lưới của mưa vệ tinh sẽ sử dụng giá trị mưa tại ô lưới đó để so sánh với mưa thực đo. Các nội dung phân tích bao gồm:

Đánh giá lượng mưa theo mùa/năm dựa trên bản đồ phân bố mưa và tổng lượng mưa theo mùa/năm.

Đánh giá lượng mưa theo tháng dựa trên hệ số tương quan (CC), sai số độ lệch (PBIAS) sai số tuyệt đối trung bình (MAE).

Đánh giá lượng mưa theo ngày dựa trên hệ số CC, xác suất dự báo đúng (PC), tỷ lệ cảnh báo không (FAR) và chỉ số thành công (CSI).

Đánh giá lượng mưa theo các ngưỡng mưa và giá trị cực trị. Các chỉ số thống kê sử dụng trong đánh giá được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ số được sử dụng để đánh giá sản phẩm mưa vệ tinh CMORPH cho khu vực nghiên cứu.

Chỉ số đánh giá	Đơn vị	Công thức
Hệ số tương quan (CC)	-	$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$
Sai số tuyệt đối trung bình (MAE)	mm	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i - P_i $
Độ lệch phần trăm (PBIAS)	%	$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100$
Xác suất dự báo đúng (PC)	-	$PC = \frac{A + D}{A + B + C + D}$
Tỷ lệ cảnh báo không (FAR)	-	$FAR = \frac{B}{A + B}$
Chỉ số thành công (CSI)	-	$CSI = \frac{A}{A + B + C}$

Chú thích: n: số ngày quan trắc O_i , Giá trị mưa quan trắc tại trạm P_i , Giá trị mưa lưới hoặc giá trị lưu lượng tính toán; A: Tổng số lần phát hiện đúng mưa; B: Tổng số lần cảnh báo mưa sai (cảnh báo không). C: Tổng số lần không phát hiện được mưa (cảnh báo sót); A, B, C, D được xác định theo bảng 2.

Bảng 2. Xác định các chỉ số biến của pha mưa.

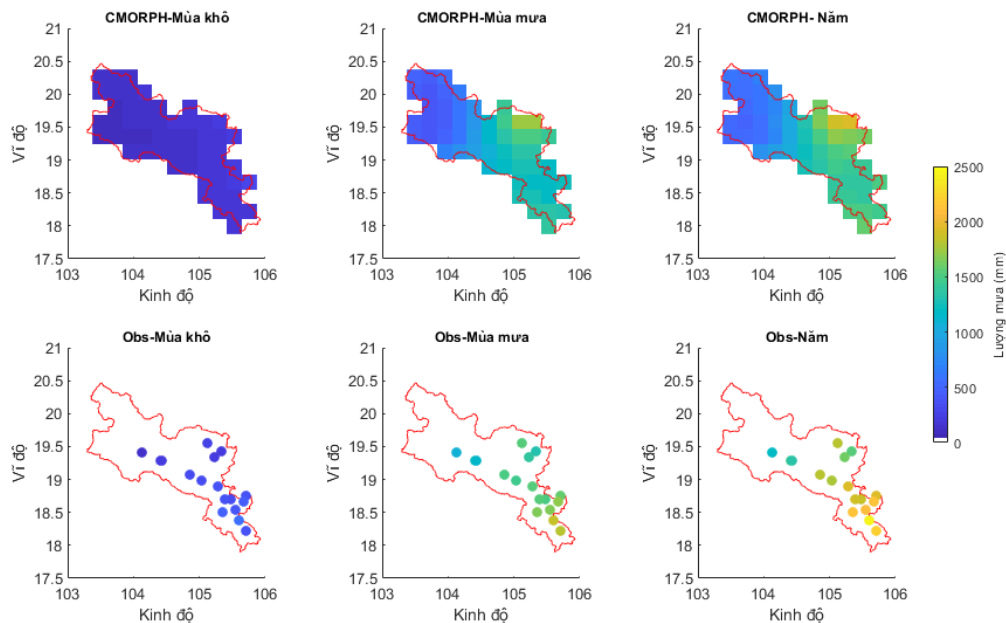
	Thực tế	Có	Không
Dự báo			
Có		A	B
Không		C	D

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá mưa CMORPH theo mùa/năm

Các kết quả từ việc phân tích sự biến đổi lượng mưa theo mùa và hàng năm của tất cả các vùng CMORPH và các trạm đo mưa ở quy mô lưới trong giai đoạn 2000-2022 được thể hiện trong Hình 2. Kết quả cho thấy, phân bố không gian dữ liệu mưa có xu hướng tăng dần từ vùng thượng lưu của lưu vực xuống vùng hạ lưu. Điều này thể hiện ở cả dữ liệu mưa mùa và năm của CMORPH và các trạm quan trắc mặt đất. Phân bố theo thời gian, mùa khô lượng mưa CMORPH nằm trong khoảng 95-292 mm, trong khi đó dữ liệu mưa quan trắc tại trạm nằm trong khoảng 153-566 mm.

Hình 2 cho thấy điểm khác biệt rõ rệt lượng mưa mùa khô của dữ liệu CMORPH và dữ liệu quan trắc mặt đất. Mùa mưa cũng thể hiện kết quả tương tự khi lượng mưa mùa mưa thu được từ dữ liệu CMORPH nằm trong khoảng 392-1734 mm so với dữ liệu quan trắc tại trạm dao động trong khoảng 1058-1857 mm. Cũng cần lưu ý rằng, dữ liệu mưa quan trắc mặt đất chỉ thu thập các trạm nằm ở lãnh thổ Việt Nam, trong khi phía thượng lưu (phần thuộc CHDCND Lào) không có trạm quan trắc mặt đất, đây cũng là khu vực có lượng mưa thấp hơn so với các vùng khác của lưu vực. Phân bố tổng lượng mưa trung bình nhiều năm cho thấy, lượng mưa CMORPH thiên thấp so với lượng mưa mặt đất. Cụ thể, khu vực hạ lưu là vùng có lượng mưa lớn nhất với giá trị quan trắc tại trạm mặt đất lên đến 2430 mm/năm, trong khu dữ liệu CMORPH chỉ khoảng 1930 mm/năm.



Hình 2. Phân bố lượng mưa theo mùa, năm của dữ liệu mưa CMORPH và tại trạm quan trắc(Obs) trên lưu vực sông Lam trong giai đoạn từ 2000-2022.

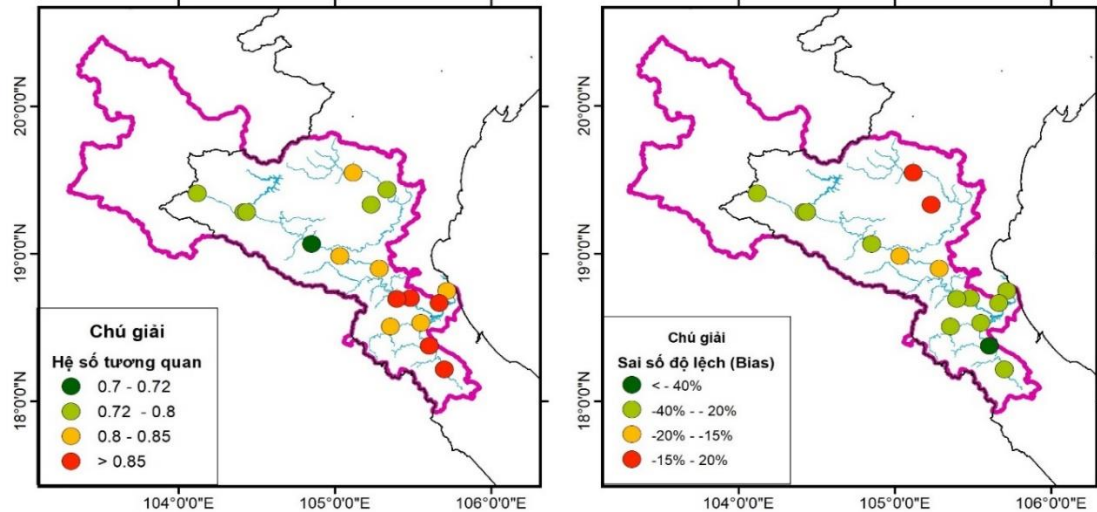
3.2. Đánh giá mưa CMORPH theo tổng lượng mưa tháng

Chuỗi thời gian lượng mưa trung bình Tháng trên lưu vực của CMORPH trong giai đoạn 2000-2023 được đánh giá dựa trên dữ liệu đo mưa quan trắc tại 17 trạm đo trên lưu vực sông Lam. Kết quả hệ số tương quan (CC) giữa mưa CMORPH và mưa tại các trạm quan trắc mặt đất nằm trong khoảng 0,72-0,88 thể hiện sự tương quan khá tốt giữa mưa CMORPH và mưa trạm (hình 3). Tuy nhiên, khi xét chỉ số độ lệch PBIAS cho thấy mưa CMORPH thiên thấp so với mưa trạm khoảng 20%. Vùng thiên thấp nhiều nhất thể hiện ở khu vực thượng lưu của các sông như tại trạm Hòa Duyệt (-42%), Mường Xén (-39%), Sơn Diệm (-31%) (bảng 3). Giá trị Sai số tuyệt đối trung bình (MAE) của các trạm nằm trong khoảng 51-97 mm/tháng. Do vậy, có thể sử dụng dữ liệu mưa CMORPH để tính toán tài nguyên nước (với số liệu mưa tháng), cần lưu ý về tổng lượng thiên thấp so với dữ liệu thực đo.

Bảng 3. Các chỉ số thống kê của số liệu quan trắc và lượng mưa CMORPH và theo thời gian Ngày/Tháng.

STT	Tên Trạm	Thời đoạn so sánh	CC	MAE	BIAs	PC	FAR	CSI	STT	Tên Trạm	Thời đoạn so sánh	CC	MAE	BIAs	PC	FAR	CSI
1	Cửa Hội	Tháng	0,84	79,69	0,22				10	Nghĩa Khánh	Tháng	0,79	75,05	-0,27			
		Ngày	0,49	5,92	0,22	0,67	0,55	0,35			Ngày	0,43	5,97	-0,27	0,69	0,52	0,39
2	Cửa Rào	Tháng	0,73	56,66	0,31				11	Quỳ Châu	Tháng	0,83	63,95	-0,11			
		Ngày	0,30	4,63	0,31	0,71	0,43	0,46			Ngày	0,43	6,19	-0,11	0,72	0,36	0,49
3	Đô Lương	Tháng	0,82	67,11	0,20				12	Quỳ Hợp	Tháng	0,79	69,60	-0,18			
		Ngày	0,46	5,80	0,20	0,69	0,42	0,41			Ngày	0,43	6,19	-0,11	0,69	0,43	0,44
4	Dừa	Tháng	0,84	59,17	0,15				13	Sơn Diệm	Tháng	0,83	78,56	0,31			
		Ngày	0,45	5,57	0,15	0,68	0,44	0,40			Ngày	0,45	6,17	0,31	0,66	0,42	0,41
5	Hoà Duyệt	Tháng	0,86	97,21	0,42				14	Yên Thượng	Tháng	0,85	64,62	0,25			
		Ngày	0,46	6,74	0,42	0,66	0,46	0,39			Ngày	0,39	6,10	0,25	0,65	0,51	0,36
6	Linh Cảm	Tháng	0,83	76,87	0,31				15	Con Cuông	Tháng	0,72	82,07	0,23			
		Ngày	0,46	5,91	0,31	0,67	0,43	0,43			Ngày	0,37	6,30	0,23	0,64	0,42	0,39
7	Mường Xén	Tháng	0,73	55,81	0,39				16	Chu Lễ	Tháng	0,86	91,71	0,37			
		Ngày	0,30	3,76	0,39	0,71	0,55	0,40			Ngày	0,41	6,62	0,37	0,65	0,51	0,37

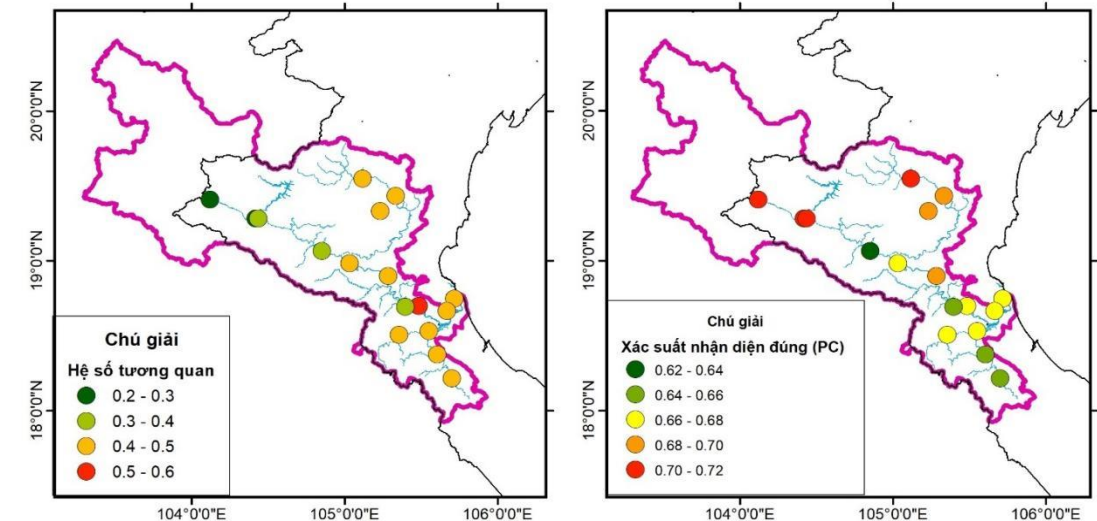
STT	Tên Trạm	Thời đoạn so sánh	CC	MAE	BIAs	PC	FAR	CSI	STT	Tên Trạm	Thời đoạn so sánh	CC	MAE	BIAs	PC	FAR	CSI
8	Nam Đàn	Tháng	0,88	59,70	0,23				17	Vinh	Tháng	0,88	78,27	0,33			
		Ngày	0,52	5,42	0,23	0,68	0,50	0,38			Ngày	0,50	6,02	0,33	0,67	0,44	0,41
9	Tương Dương	Tháng	0,75	51,32	0,27						Tháng						
		Ngày	0,31	4,42	0,27	0,72	0,42	0,47			Ngày						



Hình 3. Chỉ số tương quan và sai số độ lệch (%) tại các trạm của khu vực nghiên cứu.

3.3. Đánh giá mưa CMORPH theo lượng mưa ngày

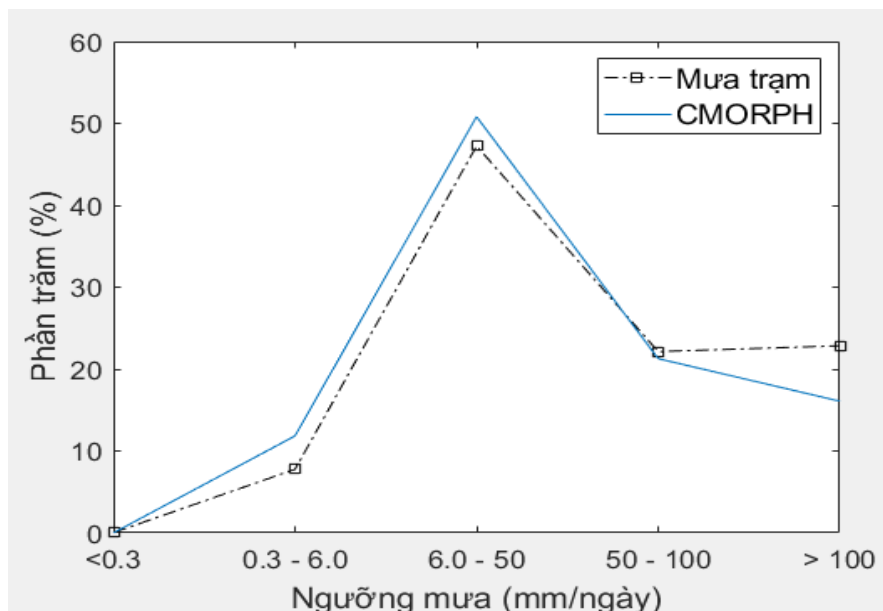
Kết quả đánh giá hệ số tương quan giữa số liệu mưa CMORPH và mưa trạm theo chuỗi số liệu mưa ngày được trình bày trong Bảng 3, với hệ số CC nằm trong khoảng 0,2-0,52, giá trị này thấp hơn nhiều so với hệ CC đánh giá theo chuỗi tháng. Khu vực thượng lưu vực có hệ số tương quan chỉ khoảng 0,2-0,4, khu vực hạ lưu giá trị CC phổ biến trong khoảng 0,4-0,5. Sự khác biệt giữa mưa CMORPH và mưa trạm còn thể hiện thông qua khả năng nhận diện mưa không (FAR) của dữ liệu CMORPH nằm trong khoảng 0,36-0,55. Khả năng phát hiện đúng sự kiện mưa được phản ánh qua chỉ số thành công (CSI) của dữ liệu CMORPH chỉ khoảng 0,41. Trong khi đó, xác suất nhận diện đúng (PC) cả hiện tượng không mưa và có mưa nằm trong khoảng 0,62-0,72, kết quả này tương được với nghiên cứu trước đó của [7]. Qua đó có thể thấy, chuỗi số liệu mưa ngày của CMORPH mới chỉ phản ánh phần nào các hiện tượng mưa và không mưa so với thực tế.



Hình 4. Chỉ số tương quan và xác suất nhận diện đúng hiện tượng của mưa CMORPH theo số liệu mưa ngày.

3.4. Đánh giá lượng mưa theo các ngưỡng mưa và giá trị cực trị

Hình 4 thể hiện tỷ lệ phần trăm tổng lượng mưa theo các ngưỡng mưa nhỏ (0,1-6.0 mm), mưa vừa (6-50 mm), mưa to (50-100 mm), mưa rất to (>100 mm). Kết quả cho thấy, trên lưu vực chủ yếu xảy ra hiện tượng mưa vừa, với lượng đóng góp chiếm khoảng 50% tổng lượng mưa trên lưu vực. Trong khi đó, lượng mưa nhỏ và mưa to chiếm khoảng 10-25%. Đặc biệt với lượng mưa rất to, thì dữ liệu mưa trạm cho lượng đóng góp khoảng 26% cao hơn so với mưa CMORPH (19%). Qua đó cho thấy, dữ liệu CMORPH luôn có xu thế thiên thấp với các trận mưa lớn, chưa phản ánh được các giá trị mưa cực trị.



Hình 5. Tỷ lệ lượng mưa theo các ngưỡng mưa.

4. Kết luận

Dựa trên những phân tích, đánh giá CMORPH trên các thời đoạn cho thấy rằng ở cả 3 thời đoạn mưa mùa, mưa tháng, mưa ngày, dữ liệu vệ tinh đều có xu hướng đánh giá mưa thấp hơn so với thực đo. Phân bố theo không gian, dữ liệu mưa CMORPH phản ánh khá tốt xu thế lượng mưa giảm dần từ thượng lưu về hạ lưu ven biển phù hợp với phân bố của dữ liệu mưa trạm. Phân bố theo thời gian, dữ liệu CMORPH phản ánh tốt với chuỗi số liệu theo tháng thể hiện qua hệ số tương quan trung bình tại 17 trạm là 0,81. Tuy nhiên, với số liệu mưa theo ngày cho thấy, mưa CMORPH chưa phản ánh tốt khả năng phát hiện sự kiện có mưa khi chỉ số CSI dao động trong khoảng 0,35-0,49. Hệ số tương quan trung bình tại cả trạm chỉ khoảng 0,42 các hiện tượng mưa rất to luôn có xu thế thiên thấp so với dữ liệu trạm. Các kết quả nghiên cứu cho thấy sự tương đồng với các nghiên cứu trước đó được thực hiện ở cùng vùng khí hậu như nghiên cứu ở Malaysia [36], lưu vực sông Mê Công [40]. Do đó, để nâng cao độ chính xác của dự liệu mưa vệ tinh cần tiến hành sử dụng các thuật toán hiệu chỉnh như; hiệu chỉnh phân vị phi tham số (*nonparametric Quantile Mapping*) [47], tỷ lệ tuyến tính (*linear scaling*) [47], ngưỡng cường độ mưa [48], hiệu chỉnh sai số tỷ lệ [49], phân tích hồi quy [50], mạng thần kinh nhân tạo [51]. Với kết quả đánh giá ở trên, có thể sử dụng dữ liệu mưa CMORPH cho bài toán tính toán tài nguyên nước hay phân tích biến đổi khí hậu ở bước thời gian tháng, mùa, năm ở những vùng thiếu số liệu quan trắc (như vùng thượng lưu).

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.M.N., N.Y.N., Đ.Đ.K.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.M.N., N.Y.N.; Thu thập và xử lý số liệu: Đ.Đ.K., N.C.T.; Viết bản thảo bài báo: T.M.N., N.Y.N., Đ.Đ.K., N.C.T.; Chỉnh sửa bài báo: T.M.N., N.Y.N., Đ.Đ.K.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tiến hành trong khuôn khổ đề tài QG.23.19 của ĐHQGHN

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

Tài liệu tham khảo

1. 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.* **2028**, *10*, <https://doi.org/10.3390/rs10060922>.
2. Sun, Q.; Miao, C.; Duan, Q.; Ashouri, H.; Sorooshian, S.; Hsu, K.L. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Rev. Geophys.* **2018**, *56*, 79–107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>.
3. Ebert, E.E.; Janowiak, J.E.; Kidd, C. Comparison of Near-Real-Time Precipitation Estimates from Satellite Observations and Numerical Models. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2007**, *88*, 47–64. <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-1-47>.
4. Mekonnen, G.; Menberu, M.B.; Feyera, A.H.; Gebrehiwot, N.T. Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile Basin: Lowland plain versus highland mountain. *Water Resour. Res. AGU Publ.* **2014**, 8775–8790. <https://doi.org/10.1002/2013WR014500>.
5. Guo, H.; Chen, S.; Bao, A.; Hu, J.; Gebregiorgis, A.S.; Xue, X.; et al. Inter-comparison of high-resolution satellite precipitation products over Central Asia. *Remote Sens.* **2015**, *7*, 7181–7211. <https://doi.org/10.3390/rs70607181>.
6. Wu, H.; Chen, B. Evaluating uncertainty estimates in distributed hydrological modeling for the Wenjing River watershed in China by GLUE, SUFI-2, and ParaSol methods. *Ecol. Eng.* **2014**, *76*, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.05.014>.
7. Hải, B.T.; Tuấn, N.V. Nghiên cứu đánh giá và 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.
8. Sorooshian, S.; AghaKouchak, A.; Arkin, P.; Eylander, J.; Foufoula-Georgiou, E.; Harmon, R.; et al. Advanced Concepts on Remote Sensing of Precipitation at Multiple Scales. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2011**, *92*, 1353–1357. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3158.1>.
9. Yong, B.; Liu, D.; Gourley, J.J.; Tian, Y.; Huffman, G.J.; Ren, L.; et al. Global View Of Real-Time Trmm Multisatellite Precipitation Analysis: Implications For Its Successor Global Precipitation Measurement Mission. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2015**, *96*, 283–296. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00017.1>.
10. Negrón Juárez, R.I.; Li, W.; Fu, R.; Fernandes, K. de Oliveira, C.A. Comparison of Precipitation Datasets over the Tropical South American and African Continents. *J. Hydrometeorol.* **2009**, *10*, 289–299. <https://doi.org/10.1175/2008JHM1023.1>.
11. Awange, J.L.; Ferreira, V.G.; Forootan, E.; Khandu.; Andam-Akorful, S.A.; Agutu, N.O.; et al. Uncertainties in remotely sensed precipitation data over Africa. *Int. J. Climatol.* **2016**, *36*, 303–323. <https://doi.org/10.1002/joc.4346>.
12. Prakash, S.; Mitra, A.K.; Rajagopal, E.N.; Pai, D.S. Assessment of TRMM-based TMPA-3B42 and GSMaP precipitation products over India for the peak southwest monsoon season. *Int. J. Climatol.* **2016**, *36*, 1614–1631. <https://doi.org/10.1002/joc.4446>.
13. Xue, X.; Hong, Y.; Limaye, A.S.; Gourley, J.J.; Huffman, G.J.; Khan, S.I.; et al. Statistical and hydrological evaluation of TRMM-based Multi-satellite Precipitation Analysis over the Wangchu Basin of Bhutan: Are the latest satellite precipitation products 3B42V7 ready for use in ungauged basins. *J. Hydrol.* **2013**, *499*, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.042>.
14. Ebert, E.E.; Janowiak, J.E.; Kidd, C. Comparison of near-real-time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2007**, *88*(1), 47–64. <https://doi.org/10.1175/BAMS-88-I-47>.
15. Tian, Y.; Peters-Lidard, D. C., Adler, R.F.; Kubota, T.; Ushio T. Evaluation of GSMaP

- precipitation estimates over the contiguous United States. *J. Hydrometeorol.* **2010**, 11, 566–574. <https://doi.org/10.1175/2009JHM1190.1>.
16. Gebremichael, M.; Bitew, M.M.; Hirpa, F.A.; Hirpa, F.A. Accuracy of satellite rainfall estimates in the Blue Nile Basin: Lowland plain versus highland mountain. *Water Resour. Res.* **2014**, 5329–5333. <https://doi.org/10.1002/2013WR014910>.
17. Gosset, M.; Viarre, J.; Quantin, G.; Alcoba, M. Evaluation of several rainfall products used for hydrological applications over West Africa using two high-resolution gauge networks. *Q. J. R. Meteorolog. Soc.* **2013**, 139, 923–940. <https://doi.org/10.1002/qj.2130>
18. Tian, Y.; Peters-Lidard, C.D.; Eylander, J.B. Real-Time Bias Reduction for Satellite-Based Precipitation Estimates. *J. Hydrometeorol.* **2010**, 11, 1275–1285. <https://doi.org/10.1175/2010JHM1246.1>.
19. Sorooshian, S.; Aghakouchak, A.; Arkin, P.; Eylander, J.; Foufoula-Georgiou, E.; Harmon, R.; et al. Advanced concepts on remote sensing of precipitation at multiple scales. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2011**, 92, 1353–1357. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3158.1>.
20. Dandridge, C.; Lakshmi, V.; Bolten, J.; Srinivasan, R. Evaluation of satellite-based rainfall estimates in the Lower Mekong River Basin (Southeast Asia). *Remote Sens.* **2019**, 11, 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs11222709>.
21. Luo, X.; Wu, W.; He, D.; Li, Y.; Ji, X. Hydrological simulation using TRMM and CHIRPS precipitation estimates in the lower Lancang-Mekong river basin. *Chin. Geogr. Sci.* **2019**, 29, 13–25. <https://doi.org/10.1007/s11769-019-1014-6>
22. Nguyen, T.H.; Masih, I.; Mohamed, Y.A.; van der Zaag, P. Validating rainfall-runoff modelling using satellite-based and reanalysis precipitation products in the sre pok catchment, the mekong river basin. *Geosci.* **2018**, 8, 164. <https://doi.org/10.3390/geosciences8050164>.
23. 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/10.1515/johh-2016-0047>.
24. Wang, W.; Lu, H.; Yang, D.; Sothea, K.; Jiao, Y.; Gao, B.; et al. Modelling hydrologic processes in the Mekong River basin using a distributed model driven by satellite precipitation and rain gauge observations. *PLoS ONE.* **2016**, 11, 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152229>.
25. Wang, W.; Lu, H.; Zhao, T.; Jiang, L.; Shi, J. Evaluation and comparison of daily rainfall from latest GPM and TRMM products over the Mekong River Basin. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2017**, 10, 2540–2549. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2672786>.
26. Li, Y.; Wang, W.; Lu, H.; Khem, S.; Yang, K.; Huang, X. Evaluation of three satellite-based precipitation products over the lower mekong river basin using rain gauge observations and hydrological modeling. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* **2019**, 12, 2357–2373. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2019.2915840>.
27. Chen, A.; Chen, D.; Azorin-Molina, C. Assessing reliability of precipitation data over the Mekong river basin: A comparison of ground-based, satellite, and reanalysis datasets. *Int. J. Climatol.* **2018**, 38, 4314–4334. <https://doi.org/10.1002/joc.5670>.
28. Try, S.; Tanaka, S.; Tanaka, K.; Sayama, T.; Oeurng, C.; Uk, S.; et al. Comparison of gridded precipitation datasets for rainfall-runoff and inundation modeling in the Mekong River Basin. *PLoS ONE* **2020**, 15, 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226814>.
29. Kiên, N.T.; Thành, L.Đ.; Sơn, L.H. Nghiên cứu ứng dụng tính toán dự báo lũ sông Mê Công từ mưa vệ tinh SRE và TRMM. Tuyển Tập Hội Nghị Khoa Học Thường Niên Năm 2014, Đại học Thủy lợi, Hà Nội. 2014, tr. 471–474.
30. 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: Khoa học tự nhiên và Công nghệ* **2015**, 31, 222–230.
31. 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>.
32. Krakauer, N.Y.; Pradhanang, S.M.; Lakhankar, T.; Jha, A.K. Evaluating satellite products for precipitation estimation in mountain regions: A case study for Nepal. *Remote Sens.* **2013**, 5, 4107–4123. <https://doi.org/10.3390/rs5084107>
33. 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, 677–700. <https://doi.org/10.3390/w10060677>.
34. Vernimmen, R.R.E.; Hooijer, A.; Mamenun.; Aldrian, E.; Van Dijk, A.I.J.M. Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2012**, 16, 133–146. <https://doi.org/10.5194/hess-16-133-2012>.
35. Stampoulis, D.; Anagnostou, E. Evaluation of global satellite rainfall products over Continental Europe. *J. Hydrometeorol.* **2012**, 13, 588–603. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-086.1>.
36. Tan, M.; Ibrahim, A.; Duan, Z.; Cracknell, A.; Chaplot, V. Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia. *Remote Sens.* **2015**, 7, 1504–1528. <https://doi.org/10.3390/rs70201504>.
37. Khandu, L.; Awange, J.; Forootan, E. Interannual variability of temperature in the UTLS region over Ganges-Brahmaputra-Meghna river basin based on COSMIC GNSS RO data. *Atmos. Meas. Tech.* **2016**, 9, 1685–1699. <https://doi.org/10.5194/amt-9-1685-2016>.
38. Yang, Y.; Luo, Y. Evaluating the performance of remote sensing precipitation products CMORPH, PERSIANN, and TMPA, in the arid region of northwest China. *Theor. Appl. Climatol.* **2014**, 118, 429–445. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1072-0>
39. 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.
40. Dinh, K.D.; Anh, T.N.; Nguyen, N.Y.; Bui, D.D.; Srinivasan, R. Evaluation of grid-based rainfall products and water balances over the Mekong river basin. *Remote Sens.* **2020**, 12, 1858. <https://doi.org/10.3390/rs12111858>.
41. 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.
42. Trinh-Tuan, L.; Matsumoto, J.; Ngo-Duc, T.; Nodzu, M.I.; Inoue, T. Evaluation of satellite precipitation products over the Central of Vietnam. *Prog. Earth Planet. Sci.* **2019**, 6, 54.
43. Phuong, H.T.; Thanh, H.T.K.; Huu, L.T.; Saito, M. Spatial and temporal variabilities of suspended sediment and dissolved nutrients in the Ca River basin, North Central Vietnam. *Water Pract. Technol.* **2023**, 18, 408–418. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.016>.
44. Giang, P.Q.; Toshiki, K.; Sakata, M.; Kunikane, S.; Vinh, T.Q. Modelling climate change impacts on the seasonality of water resources in the upper Ca river watershed in Southeast Asia. *Sci. World J.* **2014**, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2014/279135>.
45. Tuyen, H.M. Impact of climate change on water resources in Ca River basin. *VNU J. Sci. Earth Sci.* **2010**, 26, 224–231. <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000049142.95583.98>.
46. Joyce, R.J.; JANOWIAK, J.E.; Climate.; ARKIN, P.A.; Earth.; XIE P.; et al. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeorol.* **2004**, 5, 487–503. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2004\)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2004)005<0487:CAMTPG>2.0.CO;2).
47. Yang, Z.; Hsu, K.; Sorooshian, S.; Xu, X.; Braithwaite, D.; Verbist, K.M.J. Bias adjustment of satellite-based precipitation estimation using gauge observations: A case study in Chile. *J. Geophys. Res.: Atmos.* **2016**, 121, 3790–3806. <https://doi.org/10.1002/2015JD024540>.
48. Saber, M.; Yilmaz, K. Evaluation and Bias correction of satellite-based rainfall estimates

- for modelling flash floods over the mediterranean region: Application to Karpuz river basin, Turkey. *Water* **2018**, 10, 657. <https://doi.org/10.3390/w10050657>.
49. Gumindoga, W.; Rientjes, T.H.M.; Haile, A.T.; Makurira, H.; Reggiani, P. Performance of bias-correction schemes for CMORPH rainfall estimates in the Zambezi River basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2019**, 23, 2915–2938. <https://doi.org/10.5194/hess-23-2915-2019>
 50. Chen, S.; Xiong, L.; Ma, Q.; Kim, J.S.; Chen, J.; Xu, C.Y. Improving daily spatial precipitation estimates by merging gauge observation with multiple satellite-based precipitation products based on the geographically weighted ridge regression method. *J. Hydrol.* **2020**, 589, 125156. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125156>.
 51. Yang, X.; Yang, S.; Tan, M.L.; Pan, H.; Zhang, H.; Wang, G.; et al. Correcting the bias of daily satellite precipitation estimates in tropical regions using deep neural network. *J. Hydrol.* **2022**, 608, 127656. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127656>.

Assessing the precision of CMORPH satellite-derived precipitation in the Lam river basin

Trinh Minh Ngoc¹, Dang Dinh Kha¹, Ngo Chi Tuan¹, Nguyen Y Nhu^{1*}

¹ Faculty of Hydrology, Meteorology, and Oceanography, University of Science, Hanoi, Vietnam National University; trinhminhngoc@hus.edu.vn; dangdinhkha@hus.edu.vn; ngochituan@gmail.com; nguyenynhu@hus.edu.vn

Abstract: Satellite-derived precipitation data has become increasingly pivotal in water resources research, particularly within transboundary river basins, owing to advancements in resolution and accuracy. This study delves into an extensive evaluation spanning 23 years (2000-2022) of the CMORPH satellite precipitation product within the Lam River basin. Employing data collected from 17 rain gauge stations, the study meticulously assesses precipitation patterns across various temporal scales, including daily, monthly, seasonal, and annual periods. Utilizing a diverse array of statistical metrics, both quantitative and qualitative, along with rain phase assessment, this study scrutinizes the spatial and temporal distribution characteristics of CMORPH precipitation data. Results reveal that CMORPH precipitation products exhibit approximately 20% lower estimates compared to station records. While spatial distribution aligns well with observed patterns, monthly totals display a strong correlation with station data (CC = 0.81). However, daily precipitation data exhibits weaker correlation (approximately 0.42), particularly during heavy rain events.

Keywords: CMORPH; Lam river basin; Statistical metrics.