TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Đánh giá ảnh hưởng của thay đổi sử dụng đất và đập chuyển nước đến thay đổi dòng chảy trên lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga

Đoàn Văn Bình[1]*, Hồ Ngọc Như Ý[1]

[1] Chương trình thạc sĩ Công nghệ, Tái sử dụng và Quản lý nước, Khoa Kỹ thuật, Trường Đại học Việt Đức; binh.dv@vgu.edu.vn; hongocnhuy0401@gmail.com

*Tác giả liên hệ: binh.dv@vgu.edu.vn; Tel.: +84–989697736

Ban Biên tập nhận bài: 15/6/2024; Ngày phản biện xong: 1/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu đã phân tích tác động của thay đổi sử dụng đất (TĐSDĐ) và đập chuyển nước đến sự biến đổi dài hạn của dòng chảy trên ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga, thuộc hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai (SGĐN) trong giai đoạn 1981-2021 bằng các công cụ thống kê khác nhau. Lưu lượng trung bình năm, tháng, mùa lũ và mùa cạn tại Thanh Bình và Đắk Nông đều tăng, đa số có ý nghĩa thống kê. Ngược lại, các lưu lượng tương ứng tại trạm Đại Nga đều giảm, đa số có ý nghĩa thống kê. Nhưng xu thế thay đổi lượng mưa (thường không có ý nghĩa thống kê) không hoàn toàn khớp với xu thế thay đổi lưu lượng trên ba tiểu lưu vực này. TĐSDĐ làm gia tăng lưu lượng dòng chảy ở Thanh Bình (đến 25,2% trong tháng 2) và Đắk Nông (đến 50,9% trong tháng 5), trong khi các đập chuyển nước liên lưu vực làm giảm lưu lượng ở Đại Nga (đến 55,7% trong tháng 1) vào năm 2021 so với giai đoạn trước khi thay đổi xu thế dòng chảy (năm thay đổi được xác định bằng phương pháp Pettitt). Đóng góp của các nhân tố tác động đến lưu lượng dòng chảy năm cho kết quả khá nhỏ (6,2% tại trạm Thanh Bình) do có sự bù trừ giữa mùa lũ và mùa cạn. Nhưng các tính toán trên lưu lượng dòng chảy tháng cho kết quả ảnh hưởng cao, rõ ràng hơn (từ giảm 45,8% vào tháng 12 đến tăng 25,2% vào tháng 2 tại trạm Thanh Bình vào năm 2021 so với giai đoạn trước năm 2005). Các phân tích định lượng nên được tiến hành trên lưu lượng tháng. Có thể thấy, mặc dù mưa là nguồn gốc của dòng chảy trong sông, TĐSDĐ và đập chuyển nước mới là tác nhân chính làm thay đổi chế độ dòng chảy trong vùng nghiên cứu từ 1981 đến 2021. Do đó, quản lý tổng hợp nguồn nước trên quy mô lưu vực sông để đảm bảo phát triển bền vững là rất cần thiết, trong đó ngăn chặn phá rừng và thúc đẩy tái trồng rừng cần được ưu tiên.

Từ khóa: Thay đổi sử dụng đất; Đập; Sài Gòn - Đồng Nai; Lưu lượng; Thay đổi dòng chảy.

1. Giới thiệu

Chế độ dòng chảy giúp duy trì hệ sinh thái sông [1]. Khí hậu và chu kỳ ENSO (*El Nino Southern Oscillation*) làm cho dòng chảy biến đổi theo tháng, theo mùa và theo năm [2–3]. Dòng chảy của nhiều sông trên thế giới đã và đang biến đổi do biến đổi khí hậu (BĐKH) vì sự nóng lên toàn cầu. Bên cạnh đó, TĐSDĐ và xây dựng đập trên lưu vực cũng có ảnh hưởng rất lớn đến thay đổi chế độ dòng chảy trên sông [4–5]. Nghiên cứu [4] cho thấy việc phá rừng chuyển sang đất phi nông nghiệp và mặt nước đã làm tăng dòng chảy mùa lũ và giảm dòng chảy mùa cạn trong khu vực trung và hạ lưu lưu vực sông Sê San. Trong khi đó, việc xây dựng nhiều hồ thủy điện lớn trên lưu vực sông Mê Kông đã làm giảm đáng kể dòng chảy mùa lũ ở ĐBSCL sau năm 2009 [5].

Lũ rất quan trọng đối với hệ sinh thái sông [6]. Lũ kết nối dòng sông chính với các vùng đất ven sông, tạo điều kiện cho thủy sản di cư, sinh sản và giúp mang nước, phù sa, dưỡng chất đến làm tăng độ màu mỡ cho đất canh tác nông nghiệp [5]. Ngoài những lợi ích, lũ lụt cũng mang đến thiệt hại cho hàng triệu người dân trên toàn cầu [7]. Do dòng chảy được hình thành từ lượng mưa trên lưu vực [2] nên lũ lụt bị tác động mạnh mẽ từ BĐKH. Những thiệt hại do lũ gây ra sẽ trở nên nguy hiểm hơn do bão và các tác nhân nhân tạo như TĐSDĐ [2]. Tuy nhiên, lũ lụt có thể được giảm nhẹ bởi các công trình đập dâng thông qua việc điều tiết hồ chứa: trữ nước vào mùa lũ và xả ra trong mùa khô [8, 9].

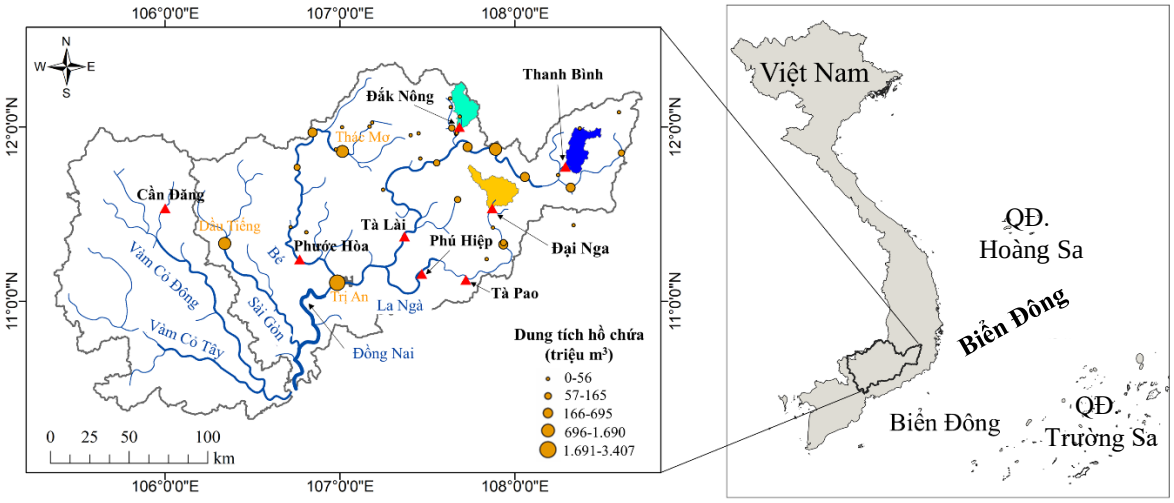
Bên cạnh đó, dòng chảy trong mùa cạn cũng rất quan trọng. Dao động dòng chảy mùa cạn (chu kỳ ngập và khô của các bãi bồi ven sông) là rất cần thiết trong hệ sinh thái ven sông. Cụ thể, nó cung cấp môi trường sống cho hệ động, thực vật ven sông. Do đó, bất kỳ sự thay đổi trái với quy luật tự nhiên nào của dòng chảy kiệt cũng có tác động tiêu cực lên hệ sinh thái. Chẳng hạn, nếu dòng chảy kiệt quá cao thì thời gian bị ngập của các bãi bồi ven sông sẽ tăng lên, từ đó làm gián đoạn chu kỳ sống và chu trình sinh sản của nhiều loài cá, sinh vật thủy sinh và thảm thực vật ngập nước [10]. Hơn thế nữa, nhiều người dân sẽ không thể tiếp tục canh tác trên các bãi bồi do bị ngập nước trong mùa cạn. Ngược lại, nếu dòng chảy kiệt quá thấp thì sẽ thiếu nước sinh hoạt, thiếu nước tưới và tăng nguy cơ xâm nhập mặn [5]. Hệ quả là, đời sống và canh tác nông nghiệp của người dân sẽ bị tác động tiêu cực. Nhiều công trình trước đây cho thấy, dòng chảy kiệt nhiều sông trên thế giới đã và đang biến đổi nhanh chóng dưới ảnh hưởng của con người và BĐKH [5].

Mạng sông Sài Gòn - Đồng Nai (SGĐN) rất quan trọng cho sự phát triển của Tp. Hồ Chí Minh, Đồng Nai và Bình Dương. Nó cung cấp nước cho khoảng 20 triệu người dân. Với tổng lưu lượng hàng năm là 32,5 tỷ m^3 [11]. SGĐN là hệ thống sông quốc nội (chỉ chảy trong nội địa) lớn nhất cả nước. Lũ lụt là một hiện tượng thường niên trên hệ thống sông SGĐN, gây ra những ảnh hưởng to lớn và làm gián đoạn giao thông ở Tp. Hồ Chí Minh. Nghiên cứu [12] đã phân tích tác động của mưa cực đoan và triều cường đến nguy cơ lũ lụt ở Tp. Hồ Chí Minh. Nghiên cứu phát hiện rằng, hiện tượng ENSO và PDO (*Pacific Decadal Oscillation*) đã tác động đến tần suất và quy mô của mưa cực đoan, làm tăng thêm nguy cơ lũ lụt trong khu vực. Nghiên cứu [13] đã phân tích xu thế thay đổi mực nước dài hạn dọc theo sông Đồng Nai, từ đó liên hệ đến quá trình đô thị hóa, xây dựng đê và đập trên lưu vực. Nghiên cứu [14] đã phân tích tác động của BĐKH và TĐSDĐ đến sự thay đổi cân bằng nước ở đầu nguồn sông Đồng Nai, trong khi [15] đã phân tích ảnh hưởng của TĐSDĐ đến xu thế biến đổi chế độ dòng chảy ở thượng nguồn sông Đồng Nai. Nghiên cứu [16] đã phân tích ảnh hưởng của TĐSDĐ đến dòng chảy và trầm tích trên lưu vực sông Bé.

Nhìn chung, đã có nhiều công trình nghiên cứu tác động của BĐKH và TĐSDĐ đến biến đổi chế độ dòng chảy trên hệ thống sông SGĐN. Nhưng vẫn còn một vài khoảng trống học thuật (*Research gaps*) cần được nghiên cứu thêm. Thứ nhất, nhiều nghiên cứu tập trung vào khu vực hạ nguồn (xung quanh Tp. Hồ Chí Minh, Đồng Nai và Bình Dương vì đây là ba đầu tàu kinh tế ở phía Nam) và ven biển, trong khi các nghiên cứu ở khu vực thượng nguồn còn hạn chế. Nghiên cứu [16] tập trung cho thượng nguồn lưu vực sông Bé, trong khi các tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga trên sông Đồng Nai và La Ngà ít được quan tâm. Thứ hai, mức độ hiểu biết (lượng hóa) hiện nay về tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến thay đổi dòng chảy trong quá khứ ở lưu vực SGĐN vẫn còn tương đối hạn chế.

Chúng ta biết rằng, để có những định hướng phát triển và sử dụng nguồn nước hiệu quả từ ngắn đến dài hạn trong tương lai thì hiểu biết tường tận những thay đổi dòng chảy và tác nhân đã và đang diễn ra là rất quan trọng. Do đó, nghiên cứu này định lượng tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến sự biến đổi xu thế dòng chảy theo năm, mùa và tháng trên ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga, thượng nguồn lưu vực sông SGĐN. Cụ thể, nghiên cứu dùng các công cụ thống kê để đánh giá định tính xu thế biến đổi của dòng chảy cùng với các tác nhân để tìm ra các tác nhân chính. Sau đó, nghiên cứu định lượng ảnh hưởng của các tác nhân chính bằng các công cụ thống kê phức tạp hơn. Sau cùng, bài báo đề

xuất các kế hoạch quản lý chiến lược để hạn chế tác động của các nhân tố lên chế độ dòng chảy trong khu vực, góp phần điều hòa dòng chảy xuống hạ lưu. Cách tiếp cận và các đề xuất trong bài báo này có thể dễ dàng được áp dụng cho các mạng sông khác ở Việt Nam.



Hình 1. Bản đồ thể hiện vị trí địa lý của mạng sông Sài Gòn - Đồng Nai với ba tiểu lưu vực nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Hai sông chính (sông Đồng Nai và Sài Gòn) cùng với hai phụ lưu chính (sông Bé và La Ngà) đã hình thành hệ thống sông SGĐN (Hình 1). Dòng chảy được chia thành 02 mùa chính: mùa lũ trong tháng 6 - tháng 11 và mùa cạn trong tháng 12 - tháng 5. Lũ lớn thường xảy ra trong tháng 8 - tháng 9. Lũ lụt là một trong các loại hình thiên tai nguy hiểm nhất trên hệ thống sông SGĐN, làm gián đoạn nền kinh tế và làm hư hỏng nhiều công trình trên lưu vực. Có 7 trạm thủy văn, bao gồm Thanh Bình, Đắk Nông, Tà Lài, Phước Hòa, Đại Nga, Tà Pao và Phú Hiệp, có số liệu lưu lượng ngày từ những năm 1970s. Trên lưu vực, có 36 đập lớn phục vụ cho việc tưới tiêu, cấp nước và thủy điện đang hoạt động với tổng dung tích hồ chứa đến 10,6 tỷ m^3, bao gồm một số hệ thống đập bậc thang, tất cả chiếm hơn 32,6% tổng lượng nước của hệ thống sông SGĐN.

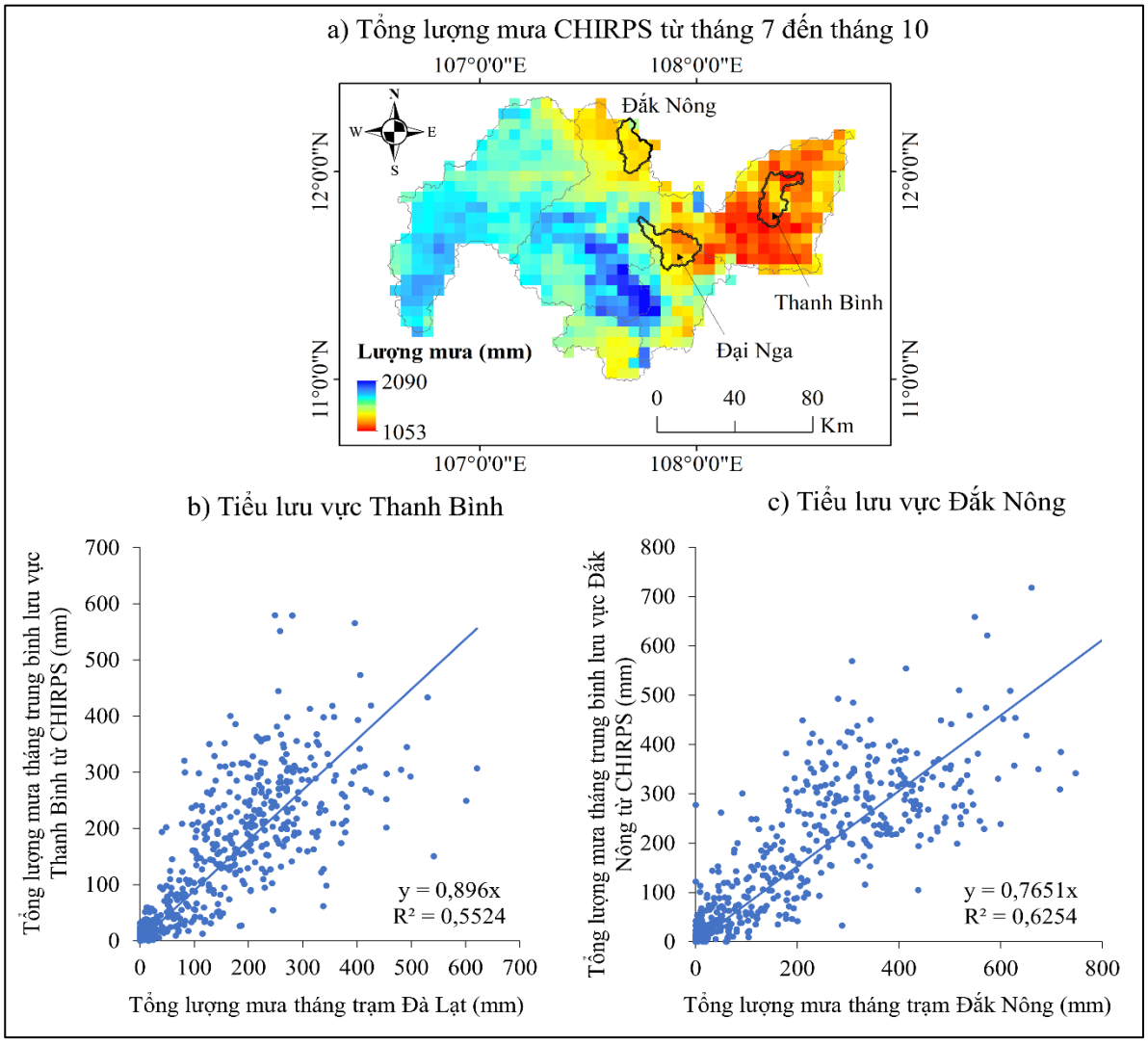
Khí hậu (dựa trên lượng mưa) và mục đích sử dụng đất đã thay đổi tương đối đáng kể trên lưu vực SGĐN [16, 17]. Hai nhân tố này có thể đã làm biến đổi chế độ dòng chảy trên hệ thống. Để định lượng tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến chế độ dòng chảy, nghiên cứu đã chọn 03 tiểu lưu vực là Thanh Bình, Đắk Nông (trên sông Đồng Nai) và Đại Nga (trên nhánh La Ngà). Diện tích toàn lưu vực lần lượt là 326, 279 và 377 km^2, với lượng mưa trung bình lưu vực là 1.851, 2.148 và 2.060 mm/năm. Ba tiểu lưu vực nghiên cứu được chọn vì chúng ít bị ảnh hưởng của đập và hồ chứa lớn (so với lưu lượng dòng chảy trên lưu vực), ngoại trừ tiểu lưu vực Đại Nga có các đập chuyển nước sang các lưu vực khác. Ví dụ, hồ Đại Nga (dung tích hồ ứng với mực nước dâng bình thường là 1,74 triệu m^3) chuyển nước sang lưu vực sông Tà Pao thông qua nhà máy thủy điện (cửa xả của nhà máy thủy điện nằm ở hạ lưu mà không chảy qua trạm thủy văn Đại Nga) với lưu lượng lớn nhất 24,7 m^3/s.

2.2. Số liệu

Bài báo sử dụng bản đồ cao độ số (DEM) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (https://dwtkns.com/srtm30m/) để tách ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga từ ba trạm thủy văn tương ứng. SRTM DEM có độ phân giải pixel 30 m. Nghiên cứu này dùng công cụ "*hydrology*" thuộc phần mềm *ArcGIS®10* để tách ba tiểu lưu vực cần nghiên cứu.

Nghiên cứu thu thập liệt số liệu lưu lượng dòng chảy ngày từ 1981-2021 tại 03 trạm thủy văn Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga từ Trung tâm Thông tin và Dữ liệu Khí thượng Thủy văn thuộc Tổng cục Khí tượng Thủy văn. Lưu lượng trung bình trên liệt tài liệu thu thập tại trạm Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga lần lượt là 299 triệu m^3/năm (hệ số phân tán C_V = 0,21), 493 triệu m^3/năm (C_V = 0,33) và 512 triệu m^3/năm (C_V = 0,37).

Các trạm đo mưa khá thưa thớt trên các tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga. Theo số liệu nghiên cứu thu thập được, chỉ có trạm Đà Lạt là gần tiểu lưu vực Thanh Bình và trạm Đắk Nông thuộc tiểu lưu vực Đắk Nông. Trong khi đó, dòng chảy trong sông được hình thành do sự tập trung lượng mưa của toàn lưu vực. Vì vậy, lượng mưa tại các trạm mưa khó đại diện cho khu vực không gian rộng. Vì thế, nghiên cứu sử dụng mưa lưới để tính lượng mưa bình quân trong các tiểu lưu vực, từ đó phân tích mối liên hệ giữa mưa lưu vực và lưu lượng tại trạm thủy văn. Cụ thể, bài báo dùng dữ liệu mưa CHIRPS (tên đầy đủ là *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*, V20) với độ phân giải 0,05° (5km×5km) (https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps) thời kỳ từ năm 1981 đến 2021. Đây là một sản phẩm dữ liệu mưa lưới, được tính toán bằng cách kết hợp mưa vệ tinh và hệ thống trạm mưa mặt đất [18]. Dữ liệu mưa CHIRPS đã được kiểm định cho nhiều lưu vực trên thế giới [19] và là bộ dữ liệu mưa lưới có chất lượng tốt, đáng tin cậy ở Việt Nam [20]. Trước khi sử dụng, nghiên cứu đã so sánh mưa CHIRPS với mưa thực đo tại trạm Đà Lạt và Đắk Nông. Hệ số xác định (*Coefficient of determination*) giữa mưa CHIRPS và thực đo trong lưu vực Thanh Bình là 0,55 và Đắk Nông là 0,62 (Hình 2). Tuy hệ số xác định không quá cao



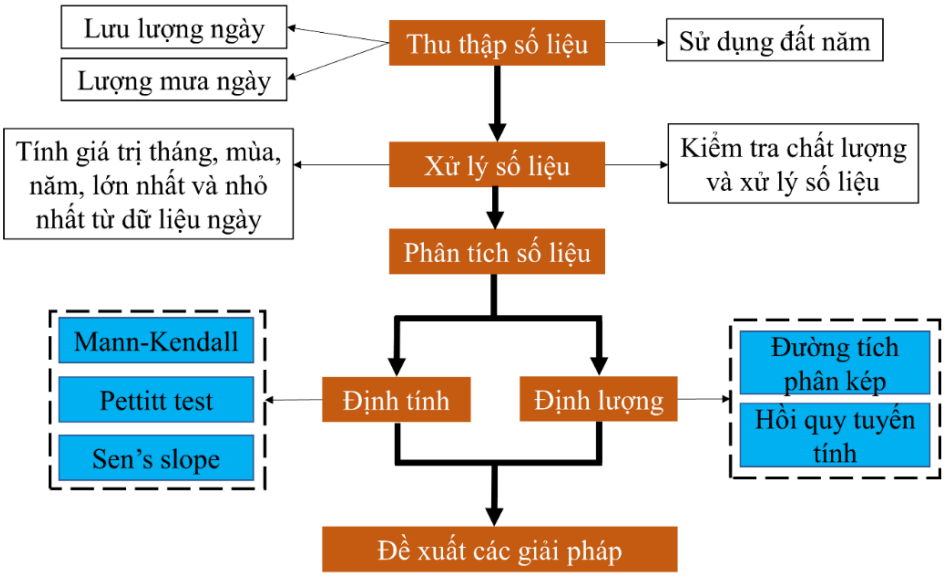
Hình 2. Tổng lượng mưa CHIRPS từ tháng 7 đến tháng 10 năm 2021 trên lưu vực (a) và so sánh mưa lưới CHIPRS với mưa trạm trên tiểu lưu vực Thanh Bình (b) và Đắk Nông (c).

nhưng dữ liệu mưa CHIRPS có thể được coi là tin cậy ($R^2 > 0,5$) trong nghiên cứu này. Từ mưa lưới CHIRPS, nghiên cứu tính toán lượng mưa trung bình của ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga bằng cách tính lượng mưa bình quân của tất cả các ô lưới trong mỗi tiểu lưu vực. Nghiên cứu tính toán tổng lượng mưa tháng, năm, 30-ngày lớn nhất (30-ngày max), 30-ngày nhỏ nhất (30-ngày min), mùa mưa và mùa khô từ liệt dữ liệt mưa ngày.

Nghiên cứu phân tích TĐSDĐ trong giai đoạn 1990-2020 từ bộ dữ liệu sử dụng đất hàng năm [21]. Nghiên cứu [21] đã kết hợp viễn thám với thuật toán rừng ngẫu nhiên (*Random Forest*) để thiết lập bản đồ sử dụng đất qua các năm từ dữ liệu vệ tinh. Có 10 loại hình sử dụng đất (dữ liệu cấp 1) ở độ phân giải không gian là 250m×250m từ các dữ liệu sử dụng đất sơ cấp [21]. Sau đó, nghiên cứu đã tái phân loại 10 loại dữ liệu sử dụng đất này thành bốn loại chủ đạo trong vùng nghiên cứu, gồm: đất rừng, đất nông nghiệp, đất đô thị và mặt nước. Dữ liệu sử dụng đất dạng lưới được tính trung bình cho ba tiểu lưu vực nghiên cứu giống như cách tính đối với mưa.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Hình 3 thể hiện phương pháp nghiên cứu tổng thể. Trước tiên, nghiên cứu thu thập lưu lượng ngày, mưa ngày và bản đồ sử dụng đất theo năm. Các dữ liệu này được kiểm tra và chỉnh biên để được bộ số liệu phù hợp cho các phân tích. Cuối cùng, bài báo tính toán định tính và định lượng các tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến dòng chảy trên vùng nghiên cứu.



Hình 3. Sơ đồ cấu trúc thể hiện các bước nghiên cứu.

Về mặt định tính, bài báo dùng phương pháp phi tham số Mann-Kendall [22, 23] để đánh giá xu thế thay đổi trong dài hạn của lưu lượng (1981-2021), lượng mưa (1981-2021) và sử dụng đất (1990-2020). Phương pháp Pettitt [24] được dùng để tìm năm thay đổi xu thế trong các chuỗi dữ liệu, từ đó chuỗi số liệu được tách thành giai đoạn trước và sau thay đổi. Sau đó, phương pháp Sen's slope [25] được dùng để tính toán tốc độ thay đổi (độ dốc) của các liệt số liệu. Các công cụ này được thực hiện trên ngôn ngữ R (https://www.r-project.org/), trong gói (*Package*) "*Kendall*". Những cộng cụ thống kê này được tiến hành ở mức ý nghĩa 10%. Các phân tích trên được tính toán trên số liệu trung bình năm và tháng, 30-ngày max, 30-ngày min và trung bình mùa lũ và mùa cạn.

Về mặt định lượng, bài báo dùng phương pháp đường tích phân kép (*Double mass curve*) và hồi quy tuyến tính để tính toán tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến sự biến đổi của dòng chảy theo năm, mùa và tháng. Trước tiên, đường quan hệ giữa lưu lượng năm lũy tích (trục tung) và lượng mưa năm lũy tích (trục hoành) được thiết lập. Tiếp theo, đường hồi

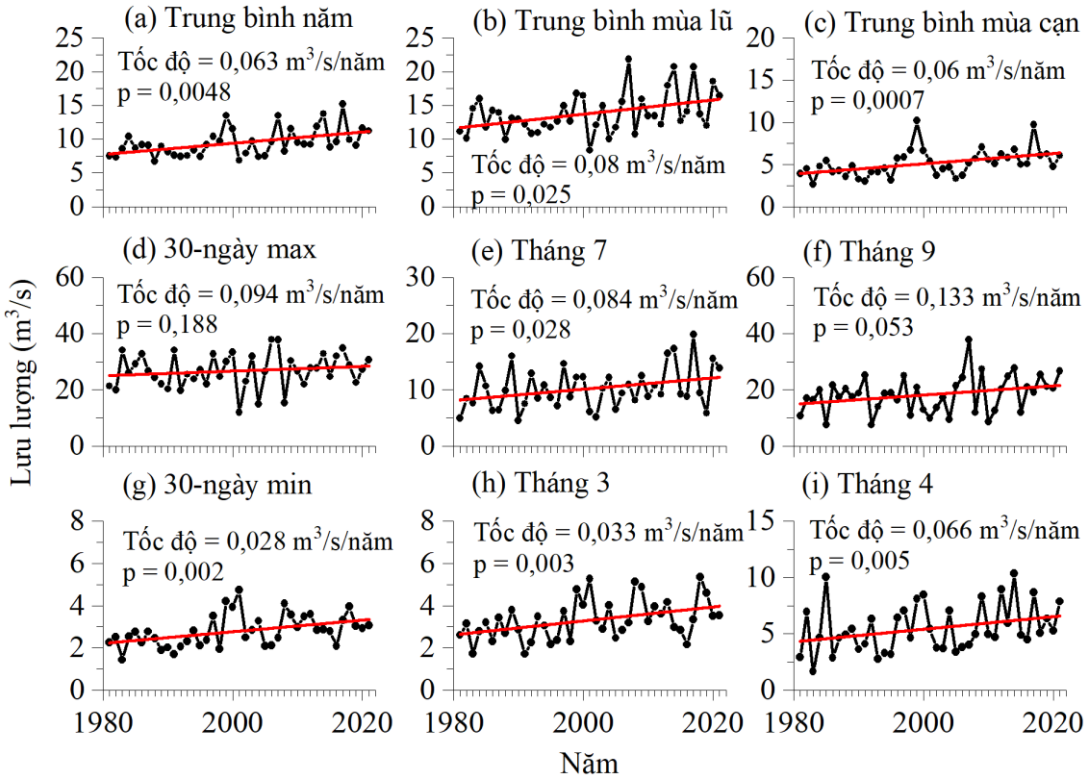
quy tuyến tính được thiết lập cho giai đoạn trước thay đổi (năm thay đổi có được từ phương pháp Pettitt). Nếu như trên hệ thống không có ảnh hưởng của con người thì đường quan hệ tuyến tính này sẽ được giữ nguyên cho giai đoạn sau thay đổi. Do đó, đường hồi quy tuyến tính cho giai đoạn trước thay đổi được dùng để tính lưu lượng năm cho giai đoạn sau thay đổi. Nói cách khác, các lưu lượng năm trong giai đoạn sau thay đổi được tính toán từ đường hồi quy tuyến tính chính là lưu lượng được tái xây dựng lại trong điều kiện tự nhiên (con người không có ảnh hưởng). Cuối cùng, sự khác nhau giữa lưu lượng năm được tính toán so với lưu lượng năm thực đo phản ánh ảnh hưởng của con người. Trong trường hợp ở 02 tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông thì ảnh hưởng của con người chính là TĐSDĐ do không có các đập và hồ chứa lớn. Trong khi đó, các đập chuyển nước ra khỏi tiểu lưu vực Đại Nga sang các lưu vực khác có thể có tác động lớn tới dòng chảy tại trạm thủy văn Đại Nga.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Sự thay đổi của lưu lượng

3.1.1. Tiểu lưu vực Thanh Bình

Trong giai đoạn 1981-2021, lưu lượng dòng chảy năm, tháng, 30-ngày max, 30-ngày min, mùa lũ và mùa cạn tại trạm thủy văn Thanh Bình đều có xu thế tăng, đa số là có ý nghĩa thống kê (Hình 4, Bảng 1). Dòng chảy năm tăng 0,063 m^3/s/năm ($p = 0,0048$). Năm thay đổi xu thế của lưu lượng năm là 2005. Vào mùa lũ (tháng 6 - tháng 11), tháng 9 tăng nhiều nhất, bởi 0,133 m^3/s/năm ($p = 0,053$), kế tiếp là tháng 8 bởi 0,126 m^3/s/năm ($p = 0,092$) và tháng 7 bởi 0,084 m^3/s/năm ($p = 0,028$). Các tháng 6, 10 và 11 tăng, nhưng $p > 0,1$. Lưu lượng 30-ngày max tăng 0,094 m^3/s/năm ($p = 0,188$). Lưu lượng của tất cả các tháng mùa khô (tháng 12 - tháng 5) và lưu lượng 30-ngày min đều tăng với $p < 0,1$. Tháng 5 tăng cao nhất, bởi 0,122 m^3/s/năm ($p = 0,011$), theo sau là tháng 4 bởi 0,066 m^3/s/năm ($p = 0,005$) và tháng 1 bởi 0,05 m^3/s/năm ($p = 0,001$). Lưu lượng 30-ngày min tăng 0,028 m^3/s/năm ($p < 0,01$). Tương tự, lưu lượng trung bình mùa lũ và mùa cạn đều tăng, lần lượt bởi 0,08 m^3/s/năm ($p = 0,025$) và 0,06 m^3/s/năm ($p = 0,0007$).



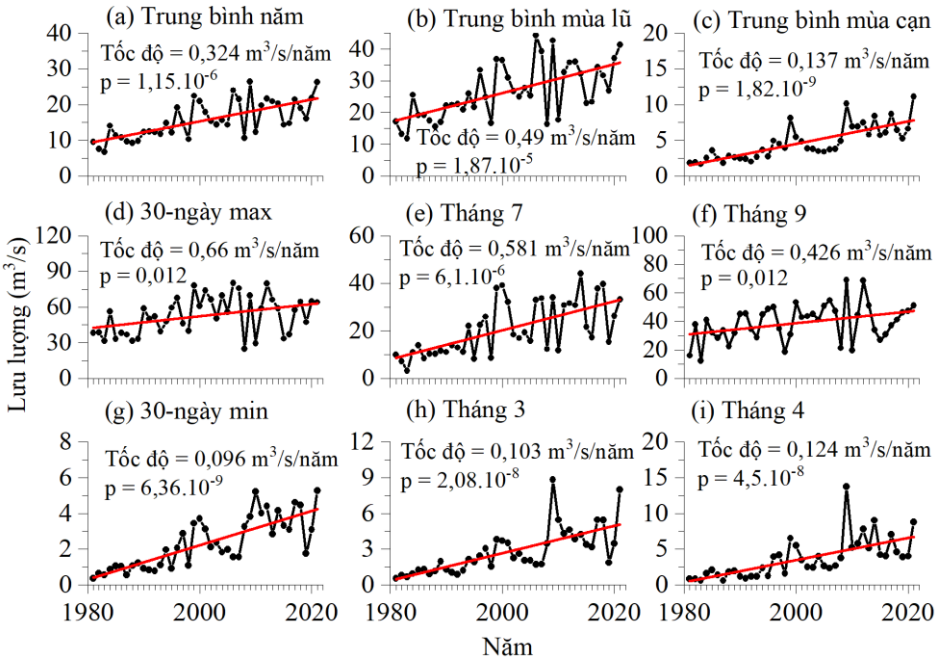
Hình 4. Thay đổi lưu lượng từ 1981 đến 2021 tại trạm thủy văn Thanh Bình.

Bảng 1. Kết quả phân tích xu thế thay đổi lưu lượng dòng chảy tại trạm Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga (1981-2021). Dấu "+" thể hiện xu thế tăng, dấu "-" thể hiện xu thế giảm.

Chỉ số	Thanh Bình			Đắk Nông			Đại Nga		
	Tốc độ (m^3/s/năm)	p	Xu thế	Tốc độ (m^3/s/năm)	p	Xu thế	Tốc độ (m^3/s/năm)	p	Xu thế
Tháng 1	0,05	0,001	+	0,127	$6,5.10^{-7}$	+	-0,05	0,050	-
Tháng 2	0,026	0,01	+	0,091	$2,1.10^{-7}$	+	-0,06	0,0007	-
Tháng 3	0,033	0,003	+	0,103	$2,08.10^{-8}$	+	-0,03	0,154	-
Tháng 4	0,066	0,005	+	0,124	$4,5.10^{-8}$	+	-0,04	0,438	-
Tháng 5	0,112	0,011	+	0,231	$5,14.10^{-7}$	+	-0,06	0,506	-
Tháng 6	0,062	0,172	+	0,288	$6,68.10^{-5}$	+	-0,32	0,044	-
Tháng 7	0,084	0,028	+	0,581	$5,1.10^{-6}$	+	-0,14	0,522	-
Tháng 8	0,126	0,092	+	0,643	0,01	+	-0,61	0,044	-
Tháng 9	0,133	0,053	+	0,426	0,012	+	-0,61	0,005	-
Tháng 10	0,016	0,794	+	0,386	0,016	+	-0,35	0,071	-
Tháng 11	0,041	0,345	+	0,261	$6,07.10^{-5}$	+	-0,3	0,004	-
Tháng 12	0,061	0,020	+	0,171	$1,38.10^{-5}$	+	-0,15	0,014	-
Năm	0,063	0,0048	+	0,324	$1,15.10^{-6}$	+	-0,17	0,061	-
30-ngày max	0,094	0,188	+	0,66	0,012	+	-0,63	0,005	-
Mùa lũ	0,08	0,025	+	0,49	$1,87.10^{-5}$	+	-0,29	0,02	-
30-ngày min	0,028	0,002	+	0,096	$6,36.10^{-9}$	+	-0,04	0,004	-
Mùa cạn	0,06	0,0007	+	0,137	$1,82.10^{-9}$	+	-0,04	0,318	-

3.1.2. Tiểu lưu vực Đắk Nông

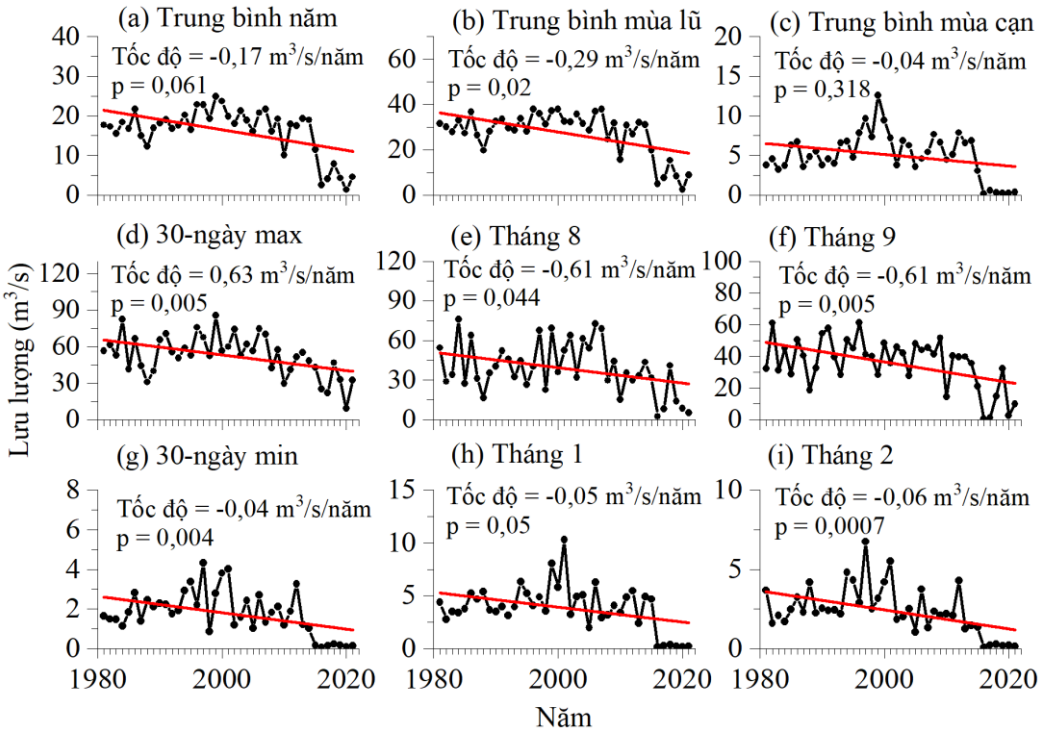
Biến đổi lưu lượng tại trạm Đắk Nông vào cả mùa lũ và mùa khô đều tăng với mức ý nghĩa thống kê rất cao (Hình 5, Bảng 1). Lưu lượng trung bình năm tăng 0,324 m^3/s/năm ($p = 1,15.10^{-6}$). Năm thay đổi dòng chảy năm là 1998. Các tháng mùa lũ (tháng 6 - tháng 11) có lưu lượng tăng lần lượt là: tháng 6 tăng 0,288 m^3/s/năm ($p = 6,68.10^{-5}$), tháng 7 tăng 0,581 m^3/s/năm ($p = 5,1\times10^{-6}$), tháng 8 tăng 0,643 m^3/s/năm ($p = 0,01$), tháng 9 tăng 0,426 m^3/s/năm ($p = 0,012$), tháng 10 tăng 0,386 m^3/s/năm ($p = 0,016$), và tháng 11 tăng 0,261 m^3/s/năm ($p = 6,07\times10^{-5}$). Lưu lượng 30-ngày max tăng với tốc độ 0,66 m^3/s/năm ($p = 0,012$). Trong mùa cạn (tháng 12 đến tháng 5), lưu lượng tháng 12 tăng 0,171 m^3/s/năm ($p = 1,38\times10^{-5}$), tháng 1 tăng 0,127 m^3/s/năm ($p = 6,5\times10^{-7}$), tháng 2 tăng 0,091 m^3/s/năm ($p = 2,1\times10^{-7}$), tháng 3 tăng 0,103 m^3/s/năm ($p = 2,08\times10^{-8}$), tháng 4 tăng 0,124m^3/s/năm ($p = 4,5\times10^{-8}$), và tháng 5 tăng 0,231m^3/s/năm ($p = 5,14\times10^{-7}$). Lưu lượng 30-ngày min tăng với tốc độ 0,096 m^3/s/năm ($p = 6,39\times10^{-9}$). Cả lưu lượng trung bình mùa lũ và mùa cạn đều tăng, lần lượt là 0,49 m^3/s/năm ($p = 1,87\times10^{-5}$) và 0,137 m^3/s/năm ($p = 1,82\times10^{-9}$).



Hình 5. Xu thế thay đổi lưu lượng giai đoạn 1981-2021 tại trạm Đắk Nông.

3.1.3. Tiểu lưu vực Đại Nga

Khác với Thanh Bình và Đắk Nông, lưu lượng tháng, năm, lớn nhất, nhỏ nhất, mùa lũ và mùa cạn tại trạm thủy văn Đại Nga đều có xu thế giảm từ 1981 đến 2021 (Hình 6, Bảng 1). Lưu lượng trung bình hàng năm giảm với tốc độ -0,17 m^3/s/năm (p = 0,061). Năm thay đổi xu thế là 2014. Lưu lượng trung bình năm giảm từ 18,5 m^3/s trong giai đoạn 1981-2013 xuống còn 6,9 m^3/s trong giai đoạn 2014-2021, tức là giảm đến 63% do ảnh hưởng của đập. Xu thế giảm của các tháng mùa lũ đều có ý nghĩa thống kê (trừ tháng 7). Cụ thể, tháng 6 giảm -0,32 m^2/s/năm (p = 0,044), tháng 8 giảm -0,61 m^3/s/năm (p = 0,044), tháng 9 giảm -0,61 m^3/s/năm (p = 0,005), tháng 10 giảm -0,35 m^3/s/năm (p = 0,071), và tháng 11 giảm -0,3 m^3/s/năm (p = 0,004). Lưu lượng 30-ngày max giảm với tốc độ -0,63 m^3/s/năm (p = 0,005). Trong mùa cạn, chỉ có lưu lượng 30-ngày min, tháng 12 và tháng 2 là có xu thế giảm có ý nghĩa thống kê. Những tháng khác mặc dù có xu thế giảm nhưng lại không có ý nghĩa thống kê. Cụ thể, lưu lượng tháng 12 giảm -0,15 m^3/s/năm (p = 0,014), tháng 2 giảm -0,06 m^3/s/năm (p = 0,0007) và 30-ngày min giảm
-0,04 m^3/s/năm (p = 0,004). Lưu lượng trung bình mùa lũ (p = 0,02) và mùa cạn (p = 0,318) đều giảm. Như vậy, bên cạnh lưu lượng 30-ngày max, tháng 8 và 9 có tốc độ giảm lưu lượng lớn nhất trong giai đoạn 1981-2021.

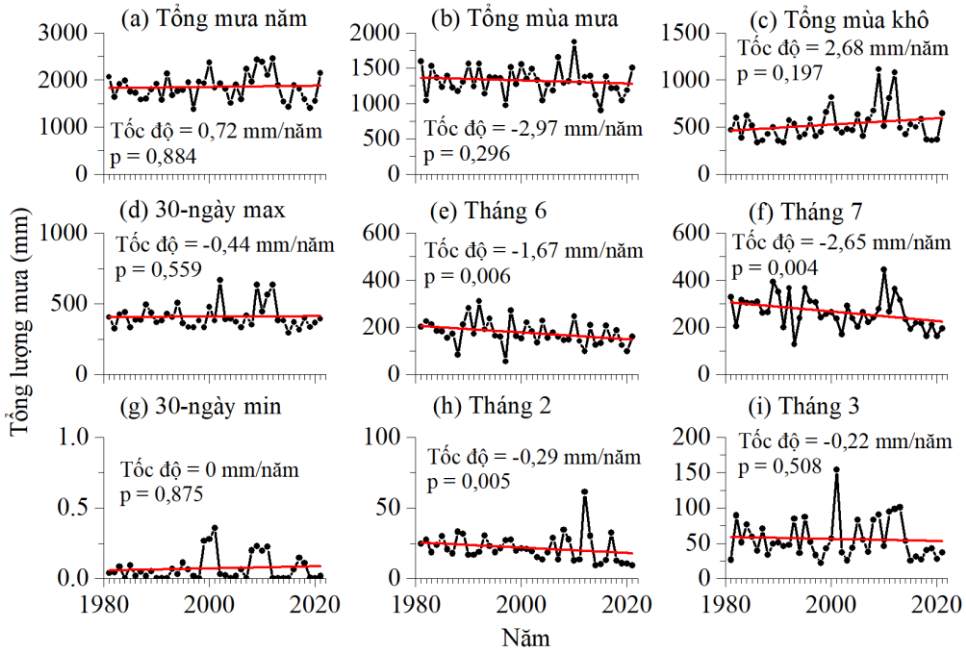


Hình 6. Xu thế thay đổi lưu lượng giai đoạn 1981-2021 tại trạm Đại Nga.

3.2. Thay đổi lượng mưa

Trong tiểu lưu vực Thanh Bình, tổng lượng mưa hàng năm tăng 0,72 mm/năm trong giai đoạn 1981-2021 (p = 0,884) (Hình 7, Bảng 2). Vào mùa mưa (tháng 6 - tháng 11), mưa có xu thế giảm (trừ tháng 11 với xu thế tăng). Trong đó, tháng 6, 7 giảm lần lượt là -1,67 mm/năm (p=0,006) và -2,65 mm/năm (p = 0,004). Tháng giảm nhiều nhất trong mùa mưa là tháng 7. Mưa 30-ngày max cũng có xu thế giảm, nhưng p > 0,1. Trong khi đó, tháng 11 có xu thế tăng, bởi 1,47 mm/năm (p = 0,03). Trong mùa khô, các tháng 1, 4, 5 và 12 là các tháng trong năm có lượng mưa tăng trong giai đoạn 1981-2021, nhưng chỉ có tháng 12 có p < 0,1 (p = 0,076). Trong khi đó, tháng 2 và tháng 3 đều có lượng mưa giảm, trong đó tháng 2 giảm bởi -0,29 mm/năm (p = 0,005). Mưa 30-ngày min không có xu hướng rõ ràng. Mùa mưa có lượng mưa trung bình giảm trong khi mùa khô có lượng mưa trung bình tăng, nhưng cả hai đều có p > 0,1.

Trong tiểu lưu vực Đắk Nông, tổng lượng mưa trong năm có xu hướng tăng từ 1981 đến 2021, với p = 0,582 (Hình 8, Bảng 2). Trong mùa mưa, các tháng 6, 7, 10và 30-ngày max có xu thế giảm, nhưng chỉ có tháng 7 (p = 0,004) là có ý nghĩa thống kê, với tốc độ -2,87 mm/năm. Các tháng 8, 9 và 11 có lượng mưa tăng, trong đó chỉ có tháng 11 là có p < 0,1 (p = 0,055). Mức độ tăng lượng mưa của tháng 11 là 1,4 mm/năm. Trong mùa khô, tháng 2, tháng 3 và 30-ngày min có xu thế lượng mưa giảm, với tháng 2 có p < 0,1 (p = 0,05) với tốc độ -0,17 mm/năm. Các tháng 1, 4, 5 và 12 có lượng mưa tăng, với tháng 1 và 12 có p < 0,1. Mức độ tăng của tháng 1 và 12 là 0,25 mm/năm (p = 0,078) và 0,46 mm/năm (p = 0,062). Lượng mưa trung bình mùa mưa giảm (p = 0,452) và mùa khô tăng (p = 0,052 với tốc độ 4,09 mm/năm). Trong tiểu lưu vực Đại Nga, nhìn chung tính biến đổi của lượng mưa tại đây cũng giống như hai tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông; biến đổi lượng mưa trong các tháng có sự khác nhau và không tuân theo một xu hướng nào (có tháng tăng, có tháng giảm) (Hình 9, Bảng 2). Tuy nhiên, những tháng (cả mùa mưa và mùa khô) mà có biến đổi mang ý nghĩa thống kê thì đều có lượng mưa giảm (trừ mưa trung bình mùa khô tăng).

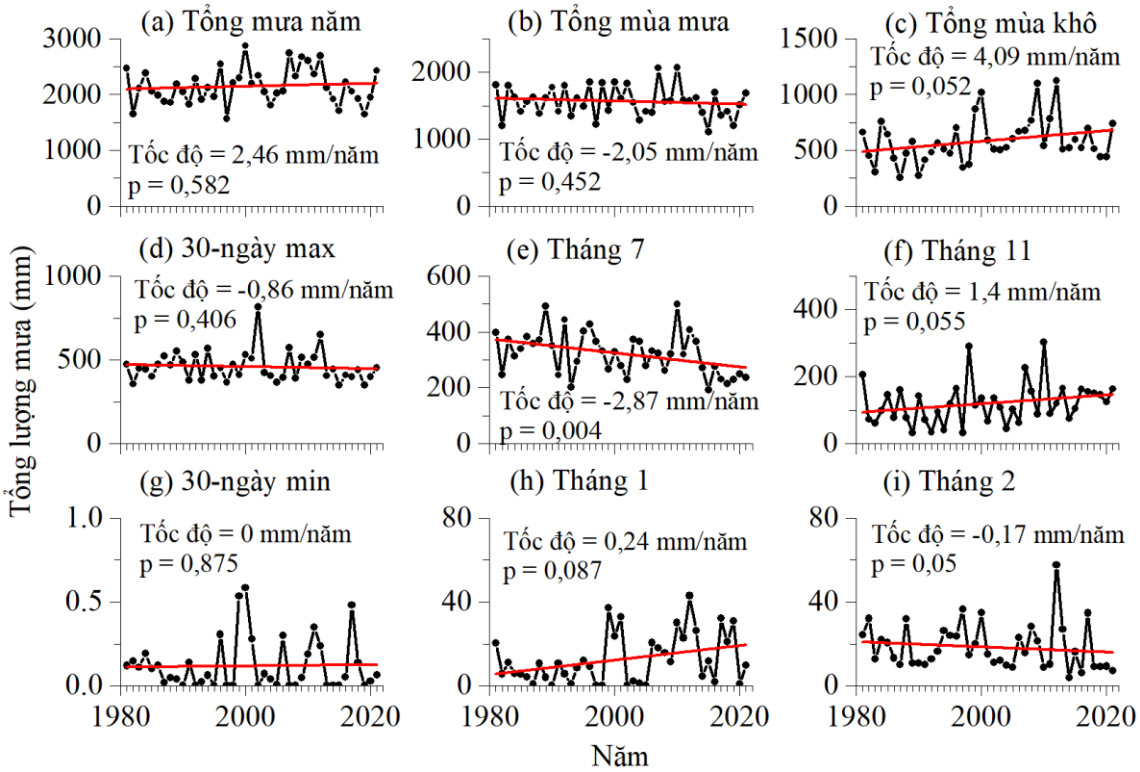


Hình 7. Xu hướng thay đổi tổng lượng mưa trong giai đoạn 1981-2021 ở trạm Thanh Bình.

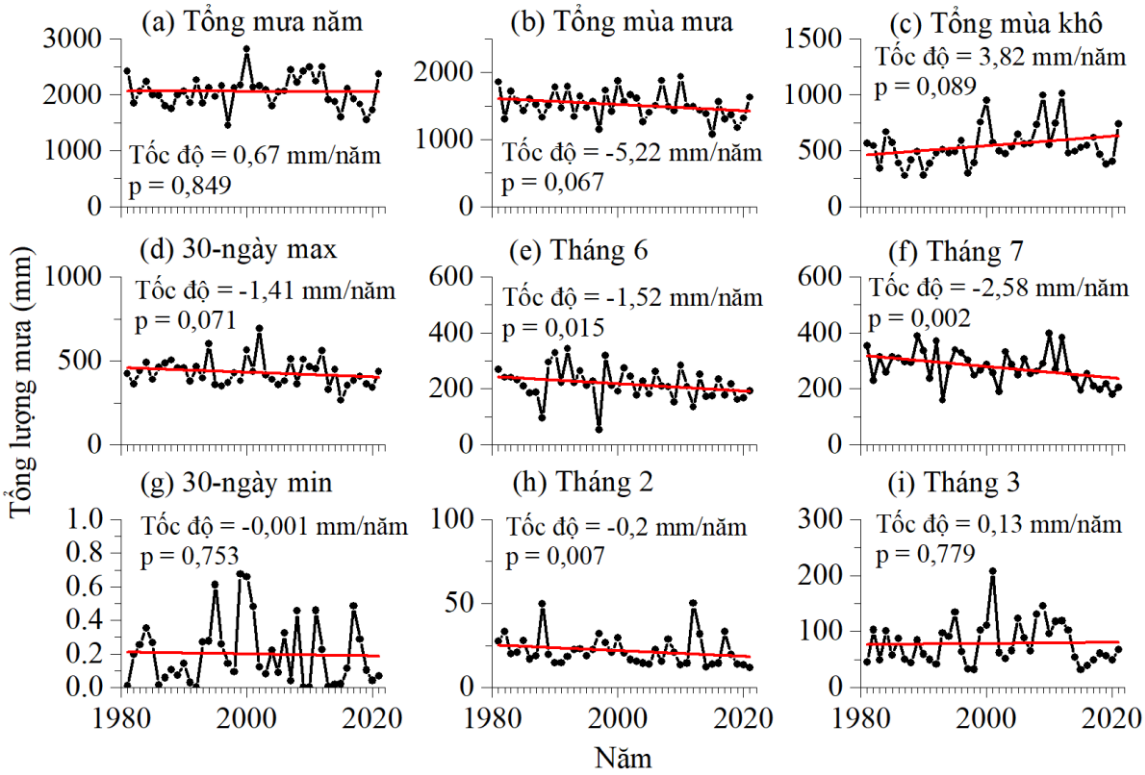
Bảng 2. Kết quả phân tích xu hướng lượng mưa của tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga (1981-2021). Dấu "+" thể hiện xu thế tăng, dấu "-" thể hiện xu thế giảm.

Chỉ số	Thanh Bình			Đắk Nông			Đại Nga		
	Tốc độ (mm/năm)	p	Xu thế	Tốc độ (mm/năm)	p	Xu thế	Tốc độ (mm/năm)	p	Xu thế
Tháng 1	0,11	0,167	+	0,24	0,078	+	0,14	0,529	+
Tháng 2	-0,29	0,005	-	-0,17	0,05	-	-0,20	0.007	-
Tháng 3	-0,22	0,508	-	-0,17	0,645	-	0,13	0,779	+
Tháng 4	0,15	0,762	+	1,19	0,204	+	0,67	0,329	+
Tháng 5	1,06	0,329	+	1,41	0,167	+	1,36	0,174	+
Tháng 6	-1,67	0,006	-	-0,89	0,160	-	-1,52	0,015	-
Tháng 7	-2,65	0,004	-	-2,87	0,004	-	-2,58	0,002	-
Tháng 8	-0,16	0,919	-	0,32	0,779	+	-1,16	0,286	-
Tháng 9	-0,36	0,661	-	0,32	0,605	+	-0,43	0,567	-
Tháng 10	-0,82	0,582	-	-1,77	0,16	-	-2,19	0,204	-
Tháng 11	1,47	0,032	+	1,4	0,055	+	0,73	0,257	+
Tháng 12	0,44	0,076	+	0,46	0,062	+	0,60	0,160	+
Năm	0,72	0,884	+	2,46	0,582	+	0,67	0,849	+
30-ngày max	-0,44	0,559	-	-0,86	0,406	-	-1,41	0,071	-
Mùa mưa	-2,97	0,296	-	-2,05	0,452	-	-5,22	0,067	-
30-ngày min	0	0,875	--	-0,0003	0,483	-	-0,001	0,753	-
Mùa khô	2.68	0,197	+	4,09	0,052	+	3,82	0,089	+

Tổng lượng mưa năm có xu hướng tăng, nhưng p > 0,1 (p = 0,849). Trong mùa mưa, tháng 6 giảm -1,52 mm/năm (p = 0,015), tháng 7 giảm -2,58 mm/năm (p = 0,002)và 30-ngày max giảm -1,41 mm/năm (p = 0,071). Những tháng còn lại trong mùa mưa có lượng mưa giảm (trừ tháng 11 tăng), với p > 0,1. Mưa trong mùa khô có xu hướng tăng, trừ tháng 2 giảm -0,20 mm/năm (p = 0,007). Mùa mưa có lượng mưa trung bình giảm -5,22 mm/năm (p = 0,067) nhưng mùa khô có lượng mưa trung bình tăng 3,82 mm/năm (p = 0,089).



Hình 8. Xu hướng thay đổi của lượng mưa từ 1981 đến 2021 ở trạm Đắk Nông.

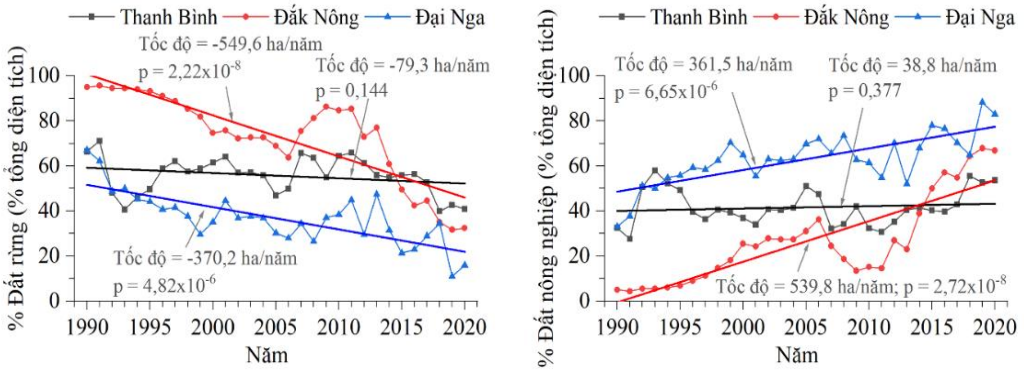


Hình 9. Xu hướng thay đổi của lượng mưa từ 1981 đến 2021 ở trạm Đại Nga.

3.3. Thay đổi sử dụng đất

Đất rừng và đất nông nghiệp chiếm đa số trong các loại hình sử dụng đất trong ba tiểu lưu vực nghiên cứu. Tuy nghiên, tỷ trọng đất rừng và nông nghiệp trong từng tiểu lưu vực biến đổi mạnh từ 1990 đến 2020. Trong tiểu lưu vực Thanh Bình, trung bình đất rừng chiếm 57,2% trong giai đoạn 1990-2017, theo sau là đất nông nghiệp (trung bình 40,3%). Tuy nhiên, đất nông nghiệp chiếm 53,9% trong giai đoạn 2018-2020 so với 41,1% của đất rừng. Trong tiểu lưu vực Đắk Nông, đất rừng chiếm đa số trong giai đoạn 1990-2015 (trung bình 80,3%), kế tiếp là đất nông nghiệp (trung bình 19,6%). Tuy nhiên, trong đất nông nghiệp chiếm đa số trong giai đoạn 2016-2020 (trung bình 62,1%) so với 37,2% đất rừng. Trong tiểu lưu vực Đại Nga, quá trình chuyển đổi sang đất nông nghiệp từ đất rừng xảy ra sớm hơn, từ năm 1992. Nếu như đất rừng chiếm khoảng 64,6% trong giai đoạn 1990-1991 thì nó chỉ còn chiếm khoảng 34,8% trong giai đoạn 1992-2020. Ngược lại, đất nông nghiệp tăng từ 35,4% trong giai đoạn 1990-1991 lên 64,9% trong giai đoạn 1992-2020.

Phân tích thống kê cho thấy tiểu lưu vực Đắk Nông có tốc độ TĐSDĐ nhanh nhất so với hai tiểu lưu vực còn lại. Đắk Nông cũng là lưu vực mất đất rừng nhiều nhất, kèm theo sự mở rộng diện tích của khu vực xây dựng và nông nghiệp ở đây. Thanh Bình là lưu vực có diện tích rừng bị thu hẹp ít nhất và dữ liệu này cũng chưa mang ý nghĩa thống kê; tại lưu vực này chỉ có dữ liệu diện tích đất xây dựng được mở rộng là mang ý nghĩa thống kê. TĐSDĐ trong tiểu lưu vực Thanh Bình nhìn chung nằm ở mức thấp so với những lưu vực còn lại. Trong giai đoạn 1990-2020, diện tích đất rừng ở Thanh Bình giảm -79,3 ha/năm ($p = 0,144$) (Hình 10). Đất rừng chủ yếu bị thay đổi thành đất nông nghiệp, mặt nước (chủ yếu là phát triển thủy điện) và đất ở. Diện tích đất của cả khu vực xây dựng và nông nghiệp tăng 79 ha/năm. Trong đó, đất xây dựng tăng 38,1 ha/năm ($p = 2,82\times10^{-12}$), đất nông nghiệp tăng 38,8 ha/năm ($p = 0,377$). Diện tích các vùng thủy vực tăng 0,83 ha/năm ($p = 0,022$).



Hình 10. Thay đổi diện tích đất rừng và đất nông nghiệp trong ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga từ 1990 đến 2020.

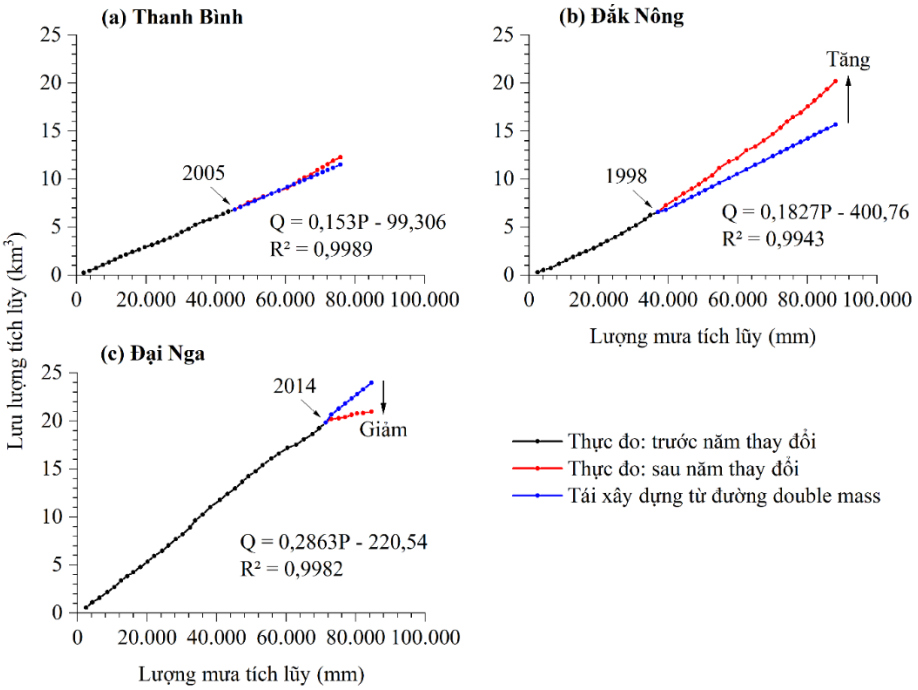
Tiểu lưu vực Đắk Nông là khu vực có TĐSDĐ rõ rệt và mạnh mẽ nhất trong ba tiểu lưu vực nghiên cứu và là lưu vực có đất rừng/thảm thực vật bị giảm nhiều nhất. Có đến 549,6 ha/năm đất rừng bị thu hẹp ($p = 2,22\times10^{-8}$) trong giai đoạn 1990-2020 (Hình 10). Tương ứng, có 543 ha/năm diện tích đất cho khu xây dựng và nông nghiệp được mở rộng ($p = 2,46\times10^{-8}$). Trong đó, 539,8 ha/năm tăng dành cho khu vực nông nghiệp ($p = 2,72\times10^{-8}$) và 2,5 ha/năm tăng dành cho khu vực xây dựng ($p = 1,85\times10^{-9}$). Cùng với đó, diện tích của các vùng thủy vực cũng tăng 0,57 ha/năm ($p = 5,6\times10^{-8}$). Đối với tiểu lưu vực Đại Nga, đất rừng cũng bị thu hẹp đáng kể, giảm đến 370,2 ha/năm ($p = 4,82\times10^{-6}$) (Hình 10). Cùng với đó, đất nông nghiệp tăng 361,5 ha/năm ($p = 6,65\times10^{-6}$) và 2,3 ha/năm đất xây dựng cũng được mở rộng ($p = 7,22\times10^{-8}$). Diện tích các vùng thủy vực tăng 6,25 ha/năm ($p = 7,64\times10^{-7}$).

3.4. Định lượng ảnh hưởng của thay đổi sử dụng đất và đập chuyển nước đến thay đổi lưu lượng

Phân tích Pettitt cho thấy rằng lưu lượng trung bình năm trong giai đoạn 1981-2021 thay đổi xu thế vào năm 2005 tại trạm Thanh Bình ($p = 0,0048$), 1998 tại trạm Đắk Nông (p =

$1,15\times10^{-6}$) và 2014 tại trạm Đại Nga (p = 0,061) (Bảng 1). Do đó, đường hồi quy tuyến tính lần lượt được thiết lập cho giai đoạn 1981-2004, 1981-1997 và 1981-2013 tại trạm Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga từ đường tích phân kép (double mass curve) giữa lượng mưa và lưu lượng năm tích lũy (Hình 11). Lưu lượng sau năm thay đổi tại từng trạm được tính toán tái xây dựng lại dựa vào phương trình tương quan từ lượng mưa tương ứng. Cuối cùng, sự khác nhau giữa lưu lượng thực đo (màu đỏ trong Hình 11) và lưu lượng tái xây dựng lại từ lượng mưa (màu xanh trong Hình 11) là sự đóng góp của con người, đa phần là từ TĐSDĐ trên tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông và đập chuyển nước trên tiểu lưu vực Đại Nga.

Tính toán định lượng cho kết quả TĐSDĐ đóng góp 6,2% lượng tăng lưu lượng năm tại trạm Thanh Bình và 22,3% lượng tăng lưu lượng năm tại trạm Đắk Nông vào năm 2021. Mặc dù TĐSDĐ trong tiểu lưu vực Đại Nga (đất rừng giảm nhưng đất nông nghiệp và đất ở tăng) về mặt nguyên lý có thể làm tăng lưu lượng tại trạm Đại Nga, nhưng lưu lượng trạm Đại Nga thực tế có xu thế giảm (Bảng 1). Chứng tỏ, các hồ chuyển nước từ tiểu lưu vực Đại Nga sang các lưu vực khác là tác nhân chính làm giảm lưu lượng trong giai đoạn 1981-2021. Tổng hợp lại, đập chuyển nước (có thể có các yếu tốc con người khác) đóng góp 14,2% lượng giảm lưu lượng năm tại trạm Đại Nga vào năm 2021.

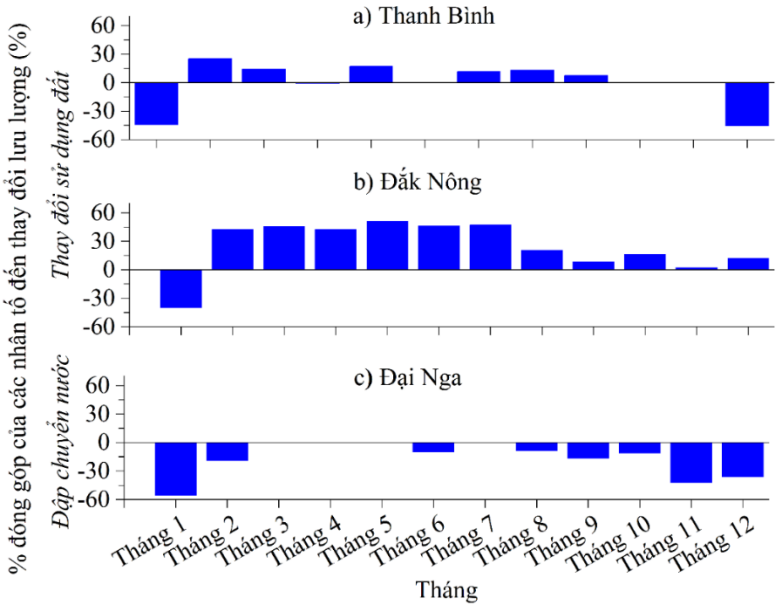


Hình 11. Định lượng tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến thay đổi lưu lượng dòng chảy năm bằng phương pháp đường tích phân kép double mass curve và hồi quy tuyến tính. Các năm 2005, 1998 và 2014 trong các hình là các năm thay đổi xu thế lưu lượng từ phương pháp Pettitt. Q: lưu lượng, P: lượng mưa.

Bằng phương pháp tương tự, nghiên cứu đã tính toán tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến thay đổi lưu lượng theo tháng và mùa vào năm 2021 tại ba tiểu lưu vực nghiên cứu (Hình 12). Nghiên cứu chỉ tính toán cho những tháng có giá trị p < 0,1 từ phương pháp Mann-Kendall. Trên tiểu lưu vực Thanh Bình, TĐSDĐ làm tăng lưu lượng của tháng 2-tháng 9 trong khoảng 7,3%-25,2% (ngoại trừ tháng 4 giảm 0,7%, mức giảm khá nhỏ). Bên cạnh đó, việc mở rộng đất nông nghiệp (tăng nhu cầu tưới trong mùa cạn) có thể là tác nhân chính đóng góp vào sự sụt giảm -44,1% và -45,8% lưu lượng tháng 1 và tháng 12 tại trạm Thanh Bình. Bình quân, TĐSDĐ làm giảm -5,7% lưu lượng trong mùa cạn và tăng 10,7% lưu lượng trong mùa lũ tại trạm Thanh Bình.

Trên tiểu lưu vực Đắk Nông, TĐSDĐ đóng góp 2,5%-50,9% lượng tăng lưu lượng của tháng 2-tháng 12 (Hình 12). Trong khi đó, việc tăng nhu cầu nước do đất nông nghiệp tăng có thể đã đóng góp 40,1% lượng giảm lưu lượng tháng 1. TĐSDĐ chiếm đa số trong sự gia

tăng lưu lượng trong tháng 5 (50,9%), theo sau là tháng 7 (47,2%) và tháng 6 (46,2%). Trung bình, TĐSDĐ làm tăng 25,6% lưu lượng mùa cạn và tăng 23,6% lưu lượng mùa lũ tại trạm Đắk Nông. Trên tiểu lưu vực Đại Nga, đập chuyển nước là tác nhân chủ chốt trong sự sụt giảm lưu lượng của tất cả các tháng tính toán, dao động từ -8,9% (tháng 8) đến -55,7% (tháng 1) (Hình 12). Trung bình, đập chuyển nước đóng góp 37,1% lượng giảm lưu lượng mùa cạn và 17,7% lượng giảm lưu lượng mùa lũ tại trạm Đại Nga.



Hình 12. Định lượng tác động của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến thay đổi lưu lượng theo tháng bằng đường tích phân kép double mass curve và hồi quy tuyến tính.

3.5. Thảo luận

Phân tích xu thế cho thấy sự thay đổi của mưa và lưu lượng không luôn luôn giống nhau ở tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông. Nghĩa là, ngoài mưa thì TĐSDĐ là tác nhân quan trọng của việc tăng xu thế lưu lượng tại trạm Thanh Bình và Đắk Nông. Về nguyên lý, việc chuyển đổi đất rừng thành đất ở và đất nông nghiệp sẽ làm giảm hệ số thấm và tăng hệ số dòng chảy mặt. Vì vậy, thời gian tập trung dòng chảy mặt giảm xuống và lưu lượng dòng chảy mặt tăng lên. Hệ quả là, khi mưa xuất hiện trên lưu vực thì dòng chảy trong sông được hình thành sớm với lưu lượng cao. Tính toán định lượng cho thấy TĐSDĐ đóng góp 6,2% và 22,3% lượng tăng lưu lượng trung bình năm tại trạm Thanh Bình và Đắk Nông. Tuy nhiên, TĐSDĐ có đóng góp rất đáng kể đến thay đổi lưu lượng theo tháng, chẳng hạn đến 50,9% lượng tăng lưu lượng vào tháng 5 tại trạm Đắk Nông. Điều đó cho thấy, để hiểu tường tận hơn các tác động của con người thì các tính toán dòng chảy năm là chưa đủ do có sự bù trừ giữa mùa lũ và mùa cạn. Thay vào đó, các tính toán cần được thực hiện với dòng chảy tháng. Những kết quả này hàm ý rằng mặc dù mưa là nguồn gốc của dòng chảy trong sông nhưng TĐSDĐ mới là tác nhân chính tác động đến thay đổi xu hướng của dòng chảy trên tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông trong giai đoạn 1990 đến 2020. Các nhận định này phù hợp với kết quả [13] khi nghiên cứu này cho rằng TĐSDĐ, thông qua đô thị hóa, là nguyên nhân chính của việc tăng mực nước trên sông Đồng Nai, mà Thanh Bình và Đắk Nông nằm ở đầu nguồn sông Đồng Nai.

Khác với lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông, lưu lượng trong cả mùa lũ và mùa cạn ở Đại Nga giảm, đa số có ý nghĩa thống kê (Bảng 1). Nhưng xu thế lượng mưa không hoàn toàn giống với thay đổi lưu lượng: có tháng mưa tăng nhưng có tháng mưa giảm (Bảng 2). Đất rừng trong Đại Nga bị thay đổi sang sang đất nông nghiệp và khu vực xây dựng. Việc TĐSDĐ như vậy về nguyên lý có thể làm tăng lưu lượng dòng chảy do tăng hệ số chảy mặt và giảm hệ số thấm trên lưu vực. Tuy nhiên, lưu lượng thực tế có xu thế giảm. Nghĩa là,

TĐSDĐ trên Đại Nga không thể là nguyên nhân của xu thế giảm lưu lượng trên lưu vực này. Thay vào đó, các hồ chuyển nước từ Đại Nga sang các lưu vực khác là tác nhân chính của việc lưu lượng dòng chảy giảm. Tiếp theo, việc gia tăng sử dụng nước tưới do tăng diện tích đất canh tác có thể là nguyên nhân chính tiếp theo. Hiện tại, các tính toán trong bài báo này chưa phát hiện ảnh hưởng của BĐKH đến thay đổi dòng chảy trên tiểu lưu vực Đại Nga. Nghiên cứu dự đoán rằng các hoạt động nhân sinh (có thể một phần do BĐKH trong tương lai) có thể sẽ có tác động tiêu cực hơn đến lượng nước trong mùa khô trên tiểu lưu vực Đại Nga, giống như khu vực Mê Kông [5] và Hoàng Hà ở Trung Quốc [26]. Điều này có thể sẽ làm tăng thêm gánh nặng cho người dân địa phương trong tương lai.

Tính toán định lượng cho thấy các hoạt động nhân sinh lần lượt đóng góp lên tới 44,1%, 40,1% và 55,7% lượng giảm lưu lượng tháng 1 tại trạm Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga. Nguyên nhân có thể là do tăng nhu cầu dùng nước tưới do mở rộng đất nông nghiệp trên ba tiểu lưu vực, cùng với việc chuyển nước liên lưu vực ra khỏi Đại Nga. Việc giảm lưu lượng trong tháng mùa khô này làm tăng rủi ro khô hạn, từ đó có thể làm giảm năng suất và sản lượng cây trồng. Việc hạ thấp dòng chảy kiệt trong sông có thể làm hệ sinh thái ven sông bị ảnh hưởng tiêu cực.

Lưu lượng các tháng mùa lũ trong tiểu lưu vực Thanh Bình và Đắk Nông tăng đáng kể, có thể làm tăng rủi ro lũ lụt. Bên cạnh đó, chế độ thủy văn thay đổi có thể tác động đến lượng nước, độ ẩm đất và mức độ bổ cập nước ngầm, từ đó làm tăng nguy cơ và thiệt hại của hạn hán. Thay đổi hình thái mưa và xây dựng đập gây ra thay đổi chế độ dòng chảy sông ngòi [27]. Tuy nhiên, ảnh hưởng tương hỗ giữa BĐKH và các hoạt động nhân sinh đến chế độ dòng chảy rất phức tạp, không dễ để phân lập từng yếu tố [1]. Ví dụ, BĐKH được dự báo là tăng lũ trên Mê Kông [28] nhưng xây dựng đập lại giữ nước trong mùa lũ thông qua quá trình điều tiết hồ chứa [5]. Vì vậy, các nhà khoa học đã tăng cường nghiên cứu về ảnh hưởng kép của BĐKH và hoạt động nhân sinh đến thay đổi chế độ thủy văn, thủy lực trong sông. Những yếu tố này đặt ra nhiều khó khăn và sự không chắc chắn trong nghiên cứu, lập kế hoạch dùng nước và quản lý nguồn nước. Do đó, quản lý tổng hợp nguồn nước hay cao hơn là quản lý tổng hợp lưu vực sông thì rất cần thiết nhằm đảm bảo các kế hoạch phân phối tài nguyên nước một cách công bằng, khoa học và bền vững. Nó có thể bao gồm quản lý đập và hồ chứa, quản lý rủi ro thiên tai (lũ lụt và hạn hán), quản lý đô thị, quản lý nông nghiệp và quản lý đất đai. Trước mắt, giảm tỷ lệ thay đổi đất rừng qua đất nông nghiệp và đất ở là rất quan trọng nhằm giảm rũi ro lũ lụt và hạn hán.

Ngoài các kết quả khoa học đạt được, bài báo này vẫn còn một số hạn chế khách quan. Thứ nhất, các chuỗi dữ liệu mưa, lưu lượng và sử dụng đất có độ dài chưa đồng bộ, từ đó các phép so sánh chưa thật sự nhất quán. Tuy nhiên, các chuỗi dữ liệu đã được thu thập với độ tin cậy tốt, cập nhật, và đủ dài để tiến hành các phân tích xu thế. Thứ hai, mưa vệ tinh có sai số so với thực tế, từ đó ảnh hưởng đến các kết luận định lượng. Nhưng mưa vệ tinh vẫn có ý nghĩa khoa học cao và đã được dùng nhiều trên thế giới, đặc biệt là ở những nơi hiếm dữ liệu như Việt Nam và vùng nghiên cứu nói riêng. Ngoài ra, mưa vệ tinh cung cấp số liệu đầy đủ hơn về mặt không gian so với mưa trạm. Do đó, các kết quả tính toán có ý nghĩa khoa học, mang tính định hướng cao.

4. Kết luận

Bài báo đã phân tích, đánh giá tác động của của TĐSDĐ và đập chuyển nước đến những thay đổi tương đối dài hạn về lưu lượng dòng chảy của ba tiểu lưu vực Thanh Bình, Đắk Nông và Đại Nga trên thượng nguồn hệ thống sông SGĐN. Nghiên cứu thấy rằng thay đổi về lượng mưa không hoàn toàn giống với các biến đổi của lưu lượng. Thay vào đó, TĐSDĐ và đập chuyển nước là nguyên nhân chính của biến đổi dòng chảy trong vùng nghiên cứu. TĐSDĐ đóng góp 6,2% và 22,3% của lượng tăng lưu lượng dòng chảy năm nhưng đóng góp đến 25,2% và 50,9% lượng tăng lưu lượng tháng của trạm Thanh Bình và Đắk Nông. Ở tiểu lưu vực Đại Nga, các đập chuyển nước là tác nhân chủ yếu của việc giảm lưu lượng, đóng

góp 14,2% đối với lưu lượng năm nhưng đến 55,7% đối với lưu lượng tháng. Do đó, để đánh giá tác động của các tác nhân đến chế độ dòng chảy thì các tính toán nên được thực hiện đối với dòng chảy tháng để đạt được các kết quả rõ ràng. Mặc dù mưa là nguồn gốc của chế độ dòng chảy sông, TĐSDĐ và đập chuyển nước là tác nhân chính của sự biến đổi lưu lượng trong giai đoạn 1981-2021 trên ba tiểu lưu vực nghiên cứu.

Nghiên cứu này dùng các công cụ thống kê tương đối đơn giản nhưng lại rất hiệu quả để phân lập tác động của các yếu tố đến sự biến đổi dòng chảy. Các công cụ và phương pháp luận trong bài báo có thể dễ dàng được áp dụng cho các lưu vực sông khác của Việt Nam. Các công trình tiếp theo có thể dùng các mô hình số trị (chẳng hạn SWAT) để có thể đưa ra các kết quả chi tiết hơn, đặc biệt là có thể dự báo được mức độ tác động của BĐKH và các hoạt động nhân sinh đến chế độ dòng chảy trong tương lai cho ngắn, trung và dài hạn.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: D.V.B., H.N.N.Y.; Thu thập và phân tích số liệu: D.V.B.; Viết bản thảo bài báo: D.V.B., H.N.N.Y.; Chỉnh sửa bài báo: D.V.B.

Lời cảm ơn: Trường Đại học Việt Đức tài trợ nghiên cứu này trong đề tài cấp Cơ sở "Đánh giá tác động của đập đến dòng chảy, trầm tích và hình thái lưu vực sông Sài Gòn - Đồng Nai trong đề tài mã số DTCS2022-002". KS. Lục Anh Tuấn đã hỗ trợ thu thập số liệu nghiên cứu.

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 nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

1. Chalise, D.R.; Sankarasubramanian, A.; Ruhi, A. Dams and climate interact to alter river flow regimes across the United States. *Earth's Future* **2021**, *9*, e2020EF001816. https://doi. org/10.1029/2020EF001816.
2. Nguyen, B.Q.; Kantoush, S.; Binh, D.V.; Saber, M.; Vo, D.N.; Sumi, T. Understanding the anthropogenic development impacts on long-term flow regimes in a tropical basin, Central Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2023**, *37*, 3. https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2153298.
3. Nguyen, T.T.H.; Li, M.H.; Vu, T.M.; Chen, P.Y. Multiple drought indices and their teleconnections with ENSO in various spatiotemporal scales over the Mekong River Basin. *Sci. Total Environ.* **2022**, *854*, 158589.
4. Đại, N.V.; Tuyên, N.K; Huyền, P.T.D.; Hằng, N.T. Nghiên cứu, đánh giá tác động của thay đổi sử dụng đất đến tài nguyên nước mặt cho lưu vực sông Sê San. *Tạp chí Khoa học Biến đổi Khí hậu* **2018**, *7*, 60–70.
5. Binh, D.V.; Kantoush, S.A.; Saber, M.; Mai, N.P.; Maskey, S.; Phong, D.T.; Sumi, T. Long-term alterations of flow regimes of the Mekong River and adaptation strategies for the Vietnamese Mekong Delta. *J. Hydrol.: Reg. Stud.* ***2020***, *32*, 100742.
6. Rasanen, T.A.; Someth, P.; Lauri, H.; Koponen, J.; Sarkkula, J.; Kummu, M. Observed river discharge changes due to hydropower operations in the upper Mekong Basin. *J. Hydrol.* **2017**, *545*, 28–41. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.023.
7. Karamouz, M.; Ahmadvand, F.; Zahmatkesh, Z. Distributed Hydrologic Modeling of Coastal Flood Inundation and Damage: nonstationary Approach. *J. Irrig. Drain. Eng.* **2017**, *143*, 04017019. https://doi.org/10.1061/(ASCE) IR.1943-4774.0001173.
8. Binh, D.V.; Kantoush, S.A.; Sumi, T.; Mai, N.P.; Ngoc, T.A.; Trung, L.V.; An, T.D. Effects of riverbed incision on the hydrology of the Vietnamese Mekong Delta. *Hydrol. Process.* **2021**, *35*, e14030.
9. Li, D.; Long, D.; Zhao, J.; Lu, H.; Hong, Y. Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. *J. Hydrol.* **2017**, *551*, 217–232.
10. Ziv, G.; Baran, E.; Nam, S.; Rodríguez-Iturbe, I.; Levin, S.A. Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *PNAS* **2012**, *109(15)*, 5609–5614.

11. Anh, L.N.; Tran, D.D.; Thong, N.; Van, C.T.; Vinh, D.H.; Au, N.H.; Park, E. Drastic variations in estuarine morphodynamics in Southern Vietnam: Investigating riverbed sand mining impact through hydrodynamic modelling and field controls. *J. Hydrol.* **2022**, *608*, 127572.
12. Binh, L.T.H.; Umamahesh, N.V.; Rathnam, E.V. High-resolution flood hazard mapping based on nonstationary frequency analysis: case study of Ho Chi Minh City, Vietnam. *Hydrol. Sci. J.* **2019**, *64(3)*, 318–335.
13. Giang, N.N.H.; Quang, C.N.X.; Long, D.T.; Ky, P.D.; Vu, N.D.; Tran, D.D. Statistical and hydrological evaluation of water dynamics in the lower Sai Gon-Dong Nai River, Vietnam. *Water* **2022**, *14*, 130.
14. Hung, P.; Phu, V.L.; Trung, L.V.; Olivier, P.A. Water balance changes in the upper part of Dong Nai river basin. *J. Vietnamese Environ.* **2019**, *11(2)*, 74–82.
15. Truong, N.C.Q.; Nguyen, H.Q.; Kondoh, A. Land use and land cover changes and their effect on the flow regime in the upstream Dong Nai River basin, Vietnam. *Water* **2018**, *10*, 1206.
16. Khoi, D.N.; Loi, P.T.; Sam, T.T. Impact of future land-use/cover change on streamflow and sediment load in the Be River basin, Vietnam. *Water* **2021**, *13*, 1244.
17. Phuong, D.N.D.; Linh, V.T.; Nhat, T.T.; Dung, H.M.; Loi, N.K. Spatiotemporal variability of annual and seasonal rainfall time series in Ho Chi Minh city, Vietnam. *J. Water Clim. Change* **2019**, *10(3)*, 658–670.
18. Funk, C.; Peterson, P.; Landsfeld, M.; Pedreros, D.; Verdin, J.; Shukla, S.; Husak, G.; Rowland, J.; Harrison, L.; Hoell, A.; Michaelsen, J. The climate hazards infrared precipitation with stations—A new environmental record for monitoring extremes. *Sci. Data* **2015**, *2*, 150066. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66
19. Shen, Z.; Yong, B.; Gourley, J.J.; Qi, W.; Lu, D.; Liu, J.; Ren, L.; Hong Y.; Zhang, J. Recent global performance of the Climate Hazards group Infrared Precipitation (CHIRP) with Stations (CHIRPS). *J. Hydrol.* **2020**, *591*, 125284.
20. Le, M.H.; Lakshmi, V.; Bolten, J.; Bui, D. Adequacy of satellite-derived precipitation estimate for hydrological modeling in Vietnam basins. *J. Hydrol.* **2020**, *586*, 124820.
21. Phan, D.C.; Trung, T.H.; Truong, V.T.; Sasagawa, T.; Vu, T.P.T.; Bui, D.T.; Hayashi, M.; Tadono, T.; Nasahara, K.N. First comprehensive quantification of annual land use/cover from 1990 to 2020 across mainland Vietnam. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 9979.
22. Kendall, A.M.G. A new measure of rank correlation. *Oxford University Press* **1938**, *30*, 81–93.
23. Mann, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* **1945**, *13*, 245–259.
24. Pettitt, A.N. A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl. Stat.* **1979**, *28(2)*, 126–135.
25. Sen, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kandall's Tau. *J. Am. Stat. Assoc*. **1968**, *63*, 1379–1389.
26. Cui, T.; Tian, F.; Yang, T.; Wen, J.; Khan, M.Y.A. Development of a comprehensive framework for assessing the impacts of climate change and dam construction on flow regimes. *J. Hydrol*. **2020**, *590*, 125358.
27. Ahmed, Y.; Al-Faraj, F.; Scholz, M.; Soliman, A. Assessment of upstream human intervention coupled with climate change impact for a transboundary river flow regime: Nile River Basin. *Water Resour. Manage.* **2019**, *33*, 2485–2500.
28. Try, S.; Tanaka, S.; Tanaka, K.; Sayama, T.; Lee, G.; Oeurng, C. Assessing the effects of climate change on flood inundation in the lower Mekong Basin using high-resolution AGCM outputs. *Prog. Earth Planet. Sci.* **2020**, *7*, 34. https://doi.org/10.1186/s40645-020-00353-z.

Assessing the effects of land use changes and diversion dams on river flow in the Thanh Binh, Dak Nong, and Dai Nga basins

Doan Van Binh[1]*, Ho Ngoc Nhu Y[1]

[1] Master program in Water Technology, Reuse and Management, Faculty of Engineering, Vietnamese-German University; binh.dv@vgu.edu.vn; hongocnhuy0401@gmail.com

Abstract: This study assesses the effects of land use changes and diversion dams on the long-term flow alterations in three subbasins, namely Thanh Binh, Dak Nong, and Dai Nga, located upstream of the Sai Gon - Dong Nai (SGDN) River basin during 1981-2021 using statistical approaches. We found that the mean annual, flood-season, and dry-season discharges at Thanh Binh and Dak Nong hydrological stations have increased from 1981 to 2021, predominantly with statistical significance. On the contrary, the respective discharges at the Dai Nga hydrological station have decreased, largely with statistical significance. Meanwhile, the variations in the long-term rainfall (1981-2021) did not align perfectly with the alterations in the long-term discharges observed in the three studied subbasins. The findings suggest that land use changes, rather than climate change, were the main driver of the discharge increases in the Thanh Binh (up to 25.2% in February) and Dak Nong (up to 50.9% in May) subbasins, while diversion dams drove the discharge decreases in the Dai Nga subbasin (up to 55.7% in January). Quantitative analyses of human impacts on the mean annual discharge usually provided relatively low values (contributing 6.2% at Thanh Binh) because of the compensation between the flood and dry season. However, the analyses on the monthly discharge provided more obvious results (contributing from a 45.8% reduction to a 25.2% increase at Thanh Binh). Therefore, quantitative analyses should be conducted on the monthly discharge. Although rainfall still controlled river flow regimes, land use changes and diversion dams were the main driving factors of the significant discharge alterations in the studied areas over the period 1981-2021. Therefore, planning and implementing the river basin's integrated water resources management are necessary to facilitate sustainable development. In this regard, it is crucial to control deforestation strictly, and afforestation should be given higher priority.

Keywords: Land use changes; Dam; Sai Gon - Dong Nai; Discharge; Flow alterations.