

Bài báo khoa học

Ứng dụng công cụ ước tính độ sâu ngập lũ (FwDET) để xây dựng bản đồ ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh, tỉnh Bình Định

Trần Thanh Tùng^{1*}, Trần Đăng Hùng²

¹ Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi; t.t.tung@tlu.edu.vn

² Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; danghung2261991@gmail.com

*Tác giả liên hệ: t.t.tung@tlu.edu.vn; Tel.: +84–913229895

Ban Biên tập nhận bài: 3/7/2023; Ngày phản biện xong: 7/8/2023; Ngày đăng bài: 25/8/2023

Tóm tắt: Phân tích viễn thám thường được sử dụng để thành lập bản đồ ngập lũ cho những trận lũ lịch sử đã xảy ra trong quá khứ. Trong công tác quản lý và ứng phó với lũ lớn, lũ khẩn cấp, việc xây dựng bản đồ ngập lũ dựa trên tư liệu ảnh viễn thám rất có giá trị vì nó có thể cung cấp thông tin quan sát liên tục về mức độ ngập lũ trên các khu vực rộng lớn. Thông tin về độ sâu ngập trên toàn vùng rất quan trọng để đánh giá thiệt hại, cứu hộ và ưu tiên phân bổ nguồn lực cứu trợ. Công cụ ước tính độ sâu ngập do lũ (FwDET) đã được phát triển để có thể tính toán nhanh độ sâu nước dựa trên bản đồ vùng ngập lũ và mô hình số độ cao (DEM). Nghiên cứu đã thử nghiệm xây dựng bản đồ độ sâu ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh, tỉnh Bình Định trong trận lũ lịch sử năm 2016 từ ảnh Sentinel 1 với các nhóm số liệu DEM khác nhau. Kết quả cho thấy công cụ FwDET có thể mô phỏng khá chính xác độ sâu ngập lũ và kết quả mô phỏng phụ thuộc khá nhiều vào chất lượng của số liệu DEM. Dữ liệu DEM ALOS 12,5 m cho kết quả mô phỏng tốt nhất và sát với thực tế nhất với giá trị $R^2 = 0,66$ so với dữ liệu DEM MERIT ($R^2 = 0,5$) và DEM SRTM ($R^2 = 0,12$).

Từ khóa: Độ sâu ngập lũ; FwDET; DEM; Sentinel 1; Sông La Tinh.

1. Mở đầu

Lũ lụt là một trong những loại hình thiên tai nghiêm trọng, được quan tâm nghiên cứu khá nhiều trên thế giới. Trong các báo cáo đánh giá thảm họa toàn cầu, lũ lụt luôn được xếp hạng trong số các thảm họa thiên nhiên có sức tàn phá nặng nề nhất. Đặc biệt, tần suất và mức độ nghiêm trọng của lũ lụt dự kiến sẽ tăng lên đối với hầu hết các nơi trên thế giới do các tác động của biến đổi khí hậu [1], cùng với sự gia tăng dân số. Do đó, những đánh giá nhanh về mức độ và tác động của lũ bằng cách sử dụng các vệ tinh quan sát Trái đất là rất cần thiết.

Hiện nay công tác giám sát, phân tích và dự báo lũ lụt thường dựa trên các mô hình thủy văn, thủy động lực và phân tích viễn thám. Việc áp dụng các công cụ và kỹ thuật này cho các sự kiện lũ lụt ven biển thường gặp khó khăn do độ dốc địa hình thấp, cơ chế lũ lụt khác nhau và các tương tác ven sông - ven biển phức tạp. Các mô hình thủy động lực học thường dựa vào dữ liệu địa hình để mô phỏng động lực học chất lỏng (ví dụ: các mô hình GSSHA và LISFLOOD-FP) [2]. Độ biến thiên thấp của địa hình ven biển làm tăng yêu cầu về dữ liệu DEM có độ phân giải cao (ví dụ: DEM lidar), tuy nhiên điều đó có thể tăng thời gian chạy và tính toán của mô hình.

Phân tích lũ lụt dựa trên viễn thám có thể được sử dụng để nhanh chóng tạo ra các bản đồ phạm vi lũ lụt trong thời gian gần như thực. Viễn thám có những lợi thế đáng kể so với các phương pháp mô hình hóa, đặc biệt là đối với ứng phó khẩn cấp và phân tích quy mô lớn, đặc biệt là ở các vùng ven biển nơi mô phỏng mức độ lũ lụt chính xác có thể gặp khó khăn

[3]. Tuy nhiên, những nhược điểm của phương pháp viễn thám bao gồm các hạn chế về tính khả dụng của hình ảnh và thời gian thu nhận, độ phân giải thô, độ che phủ của mây (đối với cảm biến quang học), tính phi tuyến tính trong phản xạ tín hiệu (đặc biệt đối với cảm biến radar) và tầm nhìn bị che khuất bởi thảm thực vật, địa hình, tòa nhà và bóng của chúng. Viễn thám cũng không thể dễ dàng sử dụng để lập bản đồ độ sâu của nước.

Thông tin kịp thời về độ sâu của nước lũ rất quan trọng để chỉ đạo các nguồn lực cứu hộ và cứu trợ cũng như xác định khả năng tiếp cận. Khi có sẵn thông tin về độ sâu lũ lụt cũng có thể được sử dụng để phân tích thiệt hại tài sản và đánh giá rủi ro lũ lụt [4–6]. Một số phương pháp định lượng độ sâu nước lũ sử dụng bản đồ lũ lụt dựa trên viễn thám đã được đề xuất. Tác giả [6] kết hợp bản đồ phạm vi ngập lũ với mô phỏng thủy động lực học. Mặc dù đưa ra kết quả chính xác nhưng phương pháp này tốn nhiều dữ liệu và thời gian tính toán, do đó cản trở khả năng sử dụng của nó đối với các ứng dụng quy mô lớn, khan hiếm dữ liệu và gần thời gian thực. Tác giả [7] phát triển mô hình tính toán độ sâu nước lũ dựa trên phạm vi lũ lụt và các lớp DEM có độ phân giải cao. Tác giả [8] sử dụng một khái niệm tương tự nhưng thay vì các mặt cắt ngang, công cụ ước tính độ sâu nước lũ (*FwDET*) của họ xác định độ cao mực nước lũ cho mỗi ô trong miền ngập lũ dựa trên ranh giới ô lũ gần nhất của nó. Do đó, *FwDET* loại bỏ nhu cầu về dữ liệu thực địa trong khi vẫn duy trì khả năng sử dụng của nó với các bản đồ phạm vi lũ lụt phức tạp và phân mảnh từ bất kỳ nguồn và độ phân giải nào.

Tại Việt Nam, tác giả [9] đã xây dựng bản đồ ngập lũ hạ lưu các hệ thống sông Bến Hải và Thạch Hãn tỉnh Quảng Trị từ các kết quả mô phỏng bằng mô hình thủy lực kết nối 1-2 chiều MIKE FLOOD. Mô hình 1 chiều được xây dựng cho mạng lưới sông kênh Bến Hải và Thạch Hãn có tính đến trao đổi nước thông qua sông Cánh Hòm và sông Vĩnh Định ở khu vực hạ lưu. Miền tính của mô hình 2 chiều bao trùm toàn bộ các đồng bằng ngập lũ và vùng cát ven biển. Bộ mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định với các trận lũ lịch sử năm 2005 và 1999.

Năm 2012, tác giả [10] đã áp dụng thành công mô hình EFDC để tính toán, mô phỏng diện tích ngập, độ sâu ngập tại các vị trí thuộc vùng hạ lưu sông Ba để phục vụ công tác dự báo, cảnh báo và phòng chống lũ. Nghiên cứu đã xây dựng bộ bản đồ cảnh báo lũ ứng với trận lũ năm 2009 và ứng với các tần suất 1%, 2%, 5% và 10%. Tác giả [11] đã xây dựng bản đồ ngập lũ hạ du hồ chứa nước Ea Drăng với các kịch bản xả lũ. Nghiên cứu đã sử dụng bộ công cụ HEC-HMS, HEC-RAS và GIS để dự báo lũ, lụt và cung cấp được các thông tin rất quan trọng như phạm vi ngập, diện tích ngập, độ sâu ngập ứng với các cấp xả lưu lượng của hồ chứa và mưa trên lưu vực.

Tác giả [12] nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE 11 và MIKE FLOOD để mô phỏng nguy cơ ngập lũ, sau đó kết hợp với công nghệ bản đồ (ArcGIS) xác định giá trị thiệt hại do ngập tương ứng. Trong đó, mức độ thiệt hại được phân chia theo hộ dân, hộ kinh doanh và đơn vị sản xuất theo đơn vị hành chính của thành phố. Giá trị thiệt hại tương ứng với độ sâu ngập của từng vùng đã được chỉ ra trong nghiên cứu này và sẽ được ứng dụng để quản lý rủi ro do ngập lũ cho vùng nghiên cứu.

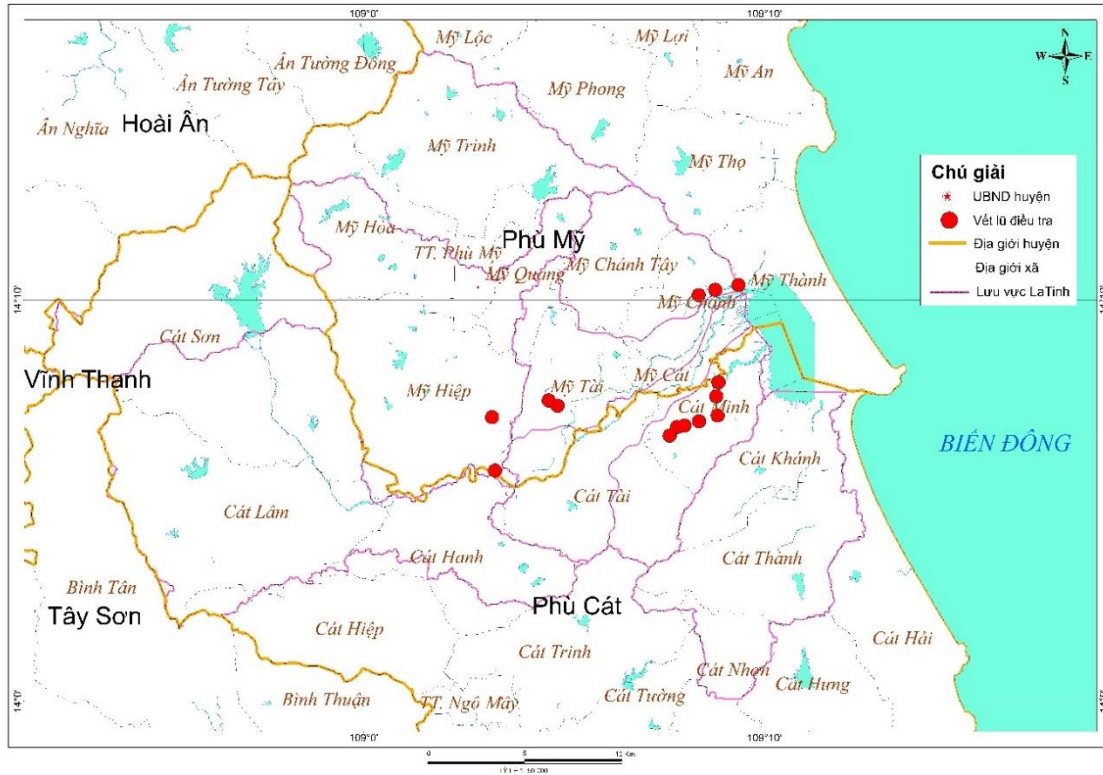
Tác giả [13] đã ứng dụng mô hình MIKE FLOOD mô phỏng và xây dựng bản đồ ngập lũ cho vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai. Mô hình đã được hiệu chỉnh và kiểm định với các năm lũ lớn năm 1999 và 2000. Bộ mô hình đã được sử dụng để mô phỏng và đánh giá mức độ ngập do lũ theo các kịch bản tổ hợp của các nguyên nhân gây ngập lũ như: xả lũ hồ chứa, lũ thượng nguồn, mưa lớn và triều cường. Những nghiên cứu trên cho thấy công tác giám sát, phân tích ngập lũ tại Việt Nam chủ yếu đang tiếp cận theo hướng sử dụng các mô hình thủy văn, thủy lực, chưa có phương pháp tiếp cận mới để rút ngắn thời gian tính toán, đáp ứng tốt hơn nhu cầu về thông tin cho các cấp quản lý thiên tai.

Với những ưu điểm về tốc độ tính toán và không yêu cầu về dữ liệu vết lũ, có thể phục vụ để đánh giá nhanh trên phạm vi rộng lớn cũng như gần thời gian thực. Bài báo thử nghiệm sử dụng mô hình *FwDET* để xây dựng bản đồ độ sâu ngập lũ lưu vực sông La Tinh cho trận lũ lịch sử năm 2016 với dữ liệu phạm vi ngập lũ được giải đoán từ ảnh vệ tinh Sentinel 1.

2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu thu thập

2.1. Phạm vi và không gian nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là lưu vực sông La Tinh với khu vực hạ du là một trọng điểm thường xuyên bị ngập lụt. Các sông đều có phần thượng lưu dốc, mạng lưới sông suối phát triển hình nan quạt, khả năng tập trung nước lũ nhanh. Mặt khác, vùng đồng bằng nhỏ hẹp và bị các dải cát ven biển che chắn ngăn cản việc thoát lũ và gây ra ngập lụt ở vùng đồng bằng.



Hình 1. Bản đồ lưu vực sông La Tinh.

2.2. Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

2.2.1. Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel 1

Trận lũ lịch sử từ ngày 11 tháng 12 đến ngày 20 tháng 12 năm 2016, bài báo thu thập 2 ảnh Sentinel 1 cho các thời điểm trước và trong trận lũ lịch sử [14].

Bảng 1. Dữ liệu ảnh thu thập phục vụ cho nghiên cứu.

TT	Ngày nhận ảnh	Loại ảnh	Độ phân giải	Tên ảnh
1	7/11/2016	Sentinel 1	10m	COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1S DV_20161107T223608_20161107T22363
2	13/12/2016	Sentinel 1	10m	COPERNICUS/S1_GRD/S1A_IW_GRDH_1S DV_20161213T223607_20161213T2

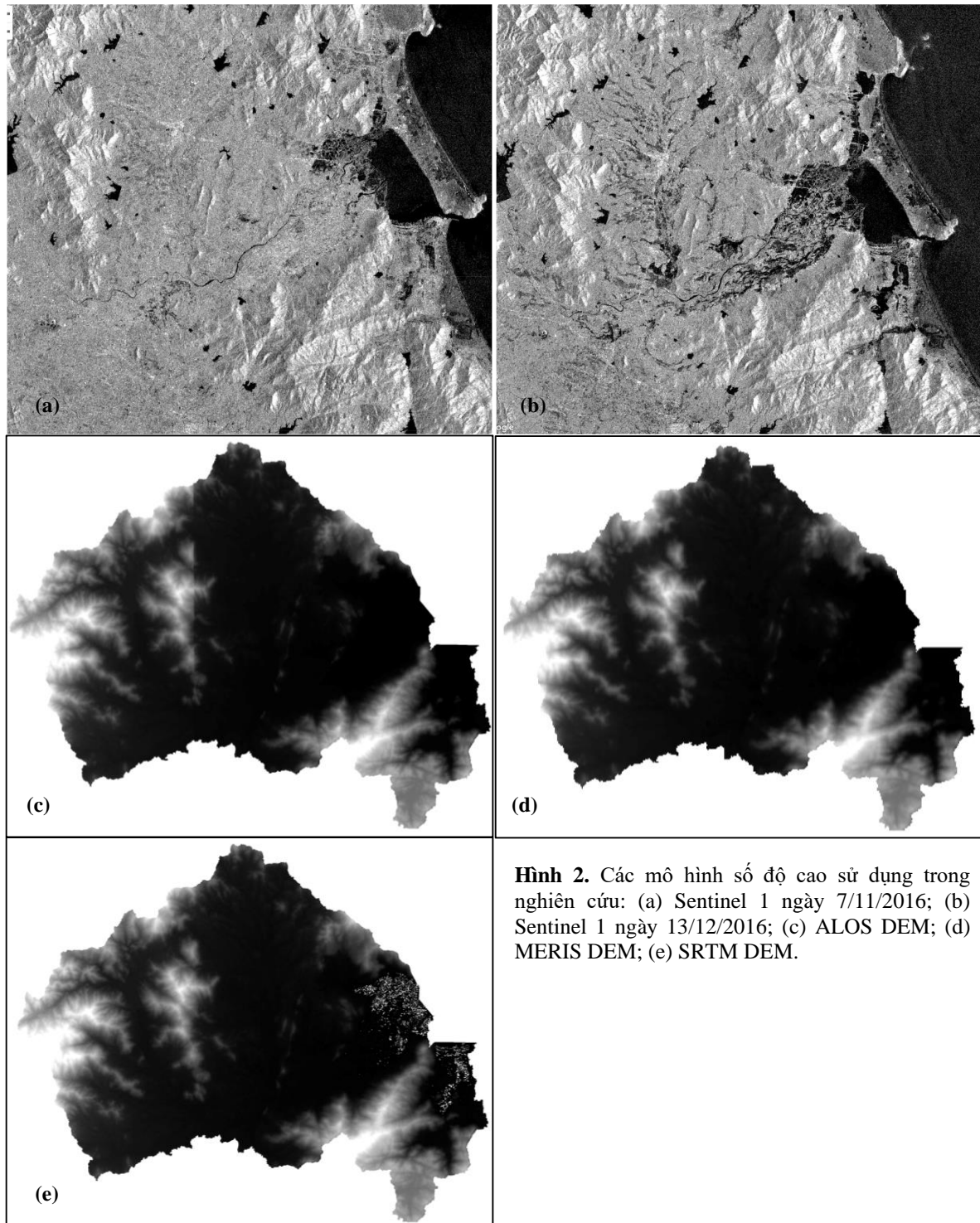
2.2.2. Số liệu mô hình số độ cao DEM

Để có thể đánh giá ảnh hưởng của dữ liệu DEM tới kết quả mô phỏng ngập lụt, bài báo đã tiến hành mô phỏng ngập lụt với 3 dữ liệu DEM khác nhau (Hình 2). Đây là 3 nguồn dữ liệu DEM toàn cầu, cung cấp miễn phí với độ phân giải tốt nhất hiện nay.

- SRTM DEM là mô hình số độ cao của Mỹ có độ phân giải không gian khoảng 30 m với độ phủ bao trùm gần hết thế giới và độ chính xác theo phương đứng là dưới 16 m [15].

- ALOS DEM là mô hình số độ cao có độ phân giải 12,5 mét được chụp bởi Cơ quan thám hiểm hàng không vũ trụ Nhật Bản (JAXA). Đây là bộ dữ liệu độ cao quy mô toàn cầu chính xác nhất hiện nay. Hệ thống sử dụng Vệ tinh quan sát Trái đất nâng cao DAICHI (ALOS) dựa trên cặp ảnh lập thể thu nhận từ cảm biến PRISM [16].

- MERIS DEM được phát triển bằng cách loại bỏ nhiễu thành phần lỗi (độ lệch tuyệt đối, nhiễu sọc, nhiễu đốm và độ lệch chiều cao cây) khỏi các DEM trong không gian hiện có (SRTM3 v2.1 và AW3D-30m v1). Nó thể hiện độ cao của địa hình ở độ phân giải 3 giây (~90m ở đường xích đạo) và bao phủ các vùng đất trong khoảng 90N-60S, được tham chiếu đến Geoid EGM96 [17].



Hình 2. Các mô hình số độ cao sử dụng trong nghiên cứu: (a) Sentinel 1 ngày 7/11/2016; (b) Sentinel 1 ngày 13/12/2016; (c) ALOS DEM; (d) MERIS DEM; (e) SRTM DEM.

2.2.3. Số liệu vết lũ

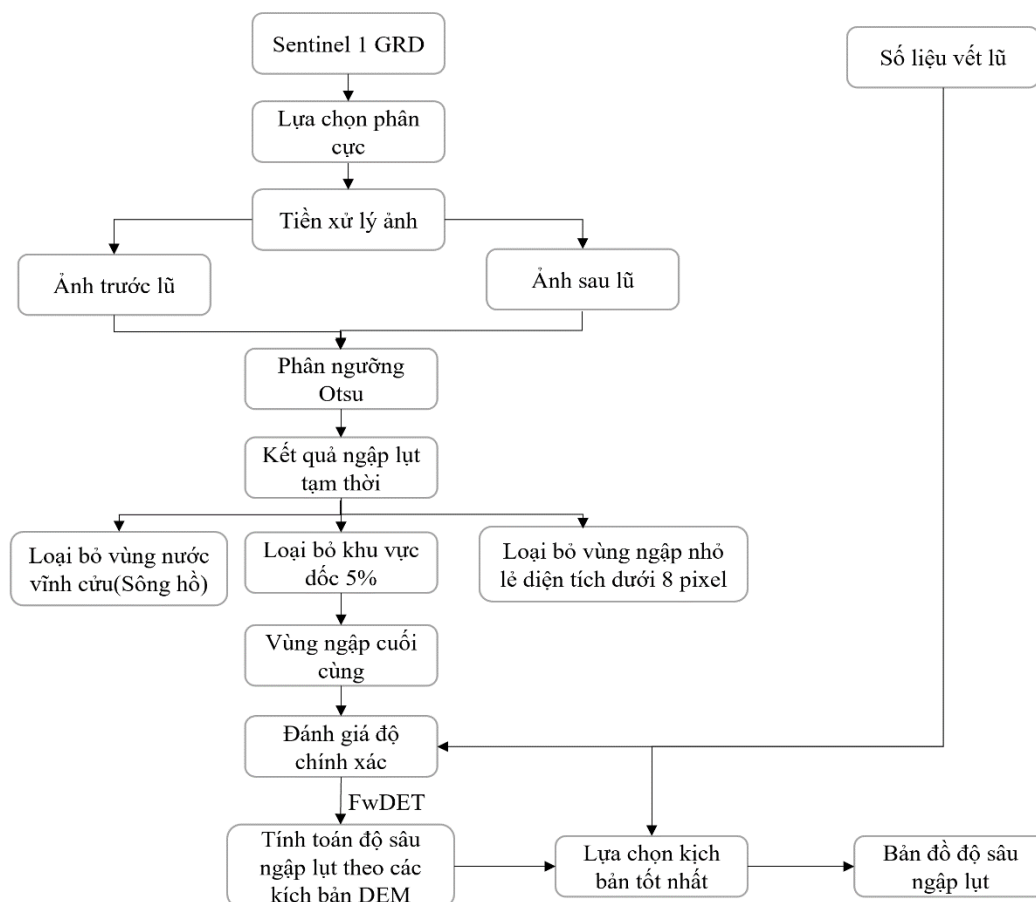
Để phục vụ đánh giá độ chính xác của kết quả giải đoán độ sâu ngập lũ, nghiên cứu đã sử dụng bộ số liệu điều tra vết lũ tháng 12/ 2016 trên lưu vực sông La Tinh do Chi cục Thủy lợi tỉnh Bình Định thực hiện [18]. Các số liệu khảo sát được trình bày tại Bảng 2.

Bảng 2. Số liệu vết lũ khảo sát năm 2016.

STT	X	Y	Cao trình vết lũ (m)	STT	X	Y	Cao trình vết lũ (m)
1	586746,4	1561395	15,15	8	596037,7	1561235	3,81
2	586889,6	1558939	14,12	9	596875,8	1561507	3,63
3	589288,7	1562172	9,12	10	596811,8	1562393	2,86
4	589685,5	1561929	9,01	11	596905,9	1563031	2,82
5	594723,3	1560573	4,90	12	596001,6	1567038	2,21
6	595053,6	1560970	4,26	13	596745,4	1567282	2,28
7	595381,7	1561036	4,19	14	597791,2	1567507	1,38

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Để có thể ước tính được độ sâu ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh trước tiên cần giải đoán được chính xác diện tích ngập lũ từ dữ liệu ảnh vệ tinh. Trong nghiên cứu giải đoán ngập lũ, việc sử dụng các cảm biến quang học thường không đáng tin cậy do sự tương đồng về không gian giữa các khu vực bị ngập, ảnh chụp thời điểm ngập lũ thường có mây và không có khả năng phát hiện nước ứ đọng trong thảm thực vật. Nhờ sử dụng sóng radio có bước sóng dài, ảnh radar độ mở tổng hợp (SAR) có thể thu được tín hiệu phản xạ từ bề mặt trong mọi điều kiện thời tiết như mây, mù, bụi khí quyển và cả những trận mưa nặng hạt. Do ở



Hình 3. Sơ đồ các bước thực hiện ước tính độ sâu ngập lũ từ ảnh viễn thám.

bước sóng dài ảnh SAR không còn bị ảnh hưởng bởi tán xạ khí quyển như ảnh quang học nên nó cho phép xác định được năng lượng bước sóng trong mọi điều kiện thời tiết và môi trường vì thế ảnh SAR có thể được thu tại bất kỳ thời điểm nào mà không phải quan tâm tới thời tiết. Bên cạnh đó, với đặc điểm là sử dụng nguồn năng lượng chủ động nên cơ chế tạo ảnh của SAR hoàn toàn không phụ thuộc vào nguồn bức xạ năng lượng mặt trời do đó ảnh Radar có thể thu được cả ngày lẫn đêm. Hơn nữa, do đặc điểm hấp thụ mạnh sóng radar của nước, vì vậy đối tượng nước thường có màu đen khi hiển thị trên ảnh SAR nên có thể nhận dạng và tách biệt được vùng ngập rõ ràng. Nhờ đặc điểm này ảnh SAR luôn được khuyến nghị ứng dụng để nghiên cứu ngập lũ.

Có nhiều loại ảnh radar trên thế giới hiện nay, tuy nhiên ảnh radar Sentinel 1 là loại ảnh có nhiều ưu điểm nổi bật. Ảnh có độ phân giải cao $10m \times 10m$. Bên cạnh đó nguồn ảnh có thể sử dụng miễn phí vậy nên bài báo lựa chọn ảnh Sentinel 1 để giải đoán trận ngập lũ lịch sử năm 2016 cho lưu vực sông La Tinh. Sau khi có được lớp phạm vi ngập lũ tiến hành tính toán độ sâu ngập lũ theo mô hình FwDET với các mô hình số độ cao khác nhau để lựa chọn kịch bản ngập tốt nhất. Quy trình nghiên cứu chi tiết được thể hiện Hình 3.

2.3.1. Phương pháp giải đoán vùng ngập lũ từ ảnh Sentinel 1

Ảnh Sentinel 1 sau khi thu thập sẽ được tiền xử lý bao gồm các bước gồm các bước:

- Gắn quỹ đạo vệ tinh cho ảnh, áp dụng tệp quỹ đạo chính xác để cải thiện mã hóa địa lý của sản phẩm.

- Cắt ảnh theo khu vực nghiên cứu để tiết kiệm thời gian xử lý và tính toán.

- Hiệu chỉnh bức xạ là quá trình chuyển đổi giá trị đo được tại bộ cảm biến thành giá trị địa vật lý (thường là hệ số tán xạ ngược σ_0).

- Tăng cường chất lượng ảnh - lọc ảnh để loại bỏ các nhiễu do cảm biến tạo ra trên hình ảnh radar tránh các lỗi tiềm ẩn trong phân tích. Sử dụng bộ lọc Lee và giữ nguyên kích thước bộ lọc như mặc định là 3×3 .

Hiệu chỉnh hình học, hiệu chỉnh biến dạng hình học của ảnh do quá trình chụp ảnh, do ảnh hưởng chênh cao địa hình và do việc chuyển đổi hệ tọa độ từ điểm ảnh từ tọa độ không gian ảnh sang tọa độ vuông góc - tọa độ Descartes.

Ảnh radar có các phân cực VV, HH, VH và HV. Phân cực HH tốt nhất để phát hiện vùng đất ngập nước vì nó ít bị ảnh hưởng bởi các cấu trúc thực vật theo chiều dọc. Phân cực VH nhạy cảm với điều kiện ẩm ướt và độ ẩm của đất. Các phân cực chéo như VV tốt cho việc phân biệt các kiểu thảm thực vật thân thảo với gỗ (nhạy cảm với sinh khối).

Phân cực VH có khả năng phát hiện vùng ngập tốt hơn phân cực VV vậy nên ảnh Sentinel 1 sau khi được tiền xử lý sẽ tách riêng phân cực VH ra để chiết tách thông tin mặt nước trước và sau ngập.

Một phương pháp đơn giản và phổ biến để lập bản đồ nước là phân ngưỡng. Ngưỡng sẽ được xác định bằng biểu đồ histogram. Xác định ngưỡng phân tách mặt nước tự động dựa trên thuật toán phân ngưỡng của Otsu. Phương pháp Otsu tập trung vào việc khai thác và tính toán từ thông tin Histogram của bức ảnh. Bằng việc tính toán trên tất cả các mức Threshold, ta có thể chọn mức thỏa mãn việc phân chia giữa giữa các lớp đối tượng là tốt nhất. Tán xạ ngược dưới ngưỡng được phân loại là thân nước hoặc đất ngập nước. Tán xạ ngược phía trên ngưỡng được phân loại là đất khô. Kết quả thu được là mặt nạ nhị phân, giá trị bằng 0 là đất, giá trị bằng 1 là nước.

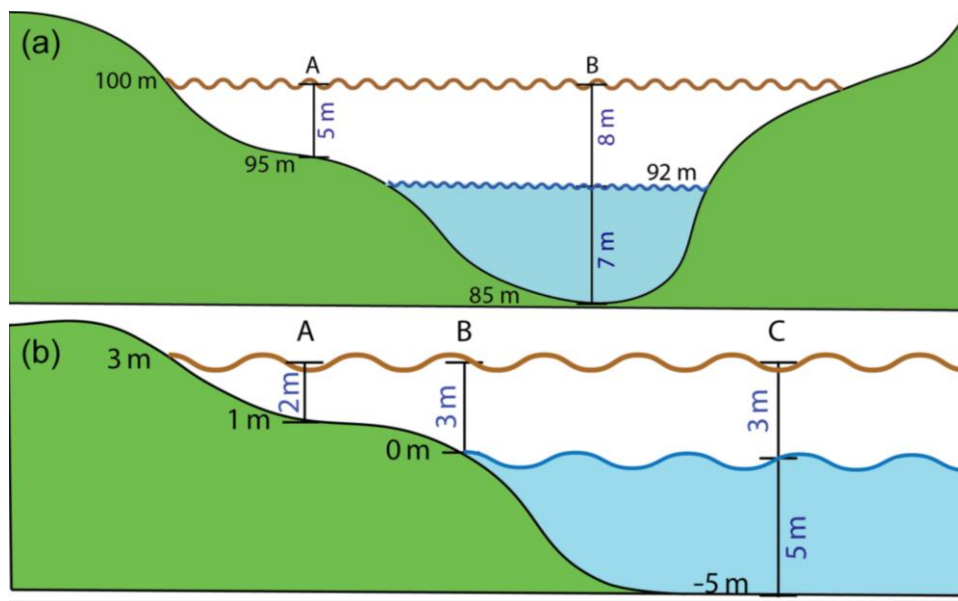
Sau khi phân ngưỡng và giải đoán vùng ngập lũ cho các thời điểm trước và trong ngập lũ. Tiến hành chồng chập kết quả giải đoán vùng ngập của 2 thời điểm để xác định vùng ngập lũ cuối cùng. Kết quả ngập cuối cùng sẽ được biên tập loại bỏ các khu vực thuộc độ dốc lớn hơn 5%, các khu vực thuộc vùng nước sông hồ cũng như các vùng ngập nhỏ lẻ diện tích dưới 8 pixel.

Kết quả ngập lũ sau khi phân loại sẽ được so sánh đối chiếu với số liệu vết lũ khảo sát để đánh giá độ chính xác.

2.3.2. Sử dụng FwDET ước tính độ sâu ngập lũ

Sau khi xác định được phạm vi vùng ngập tiến hành xác định độ sâu vùng ngập bằng cách sử dụng công cụ ước tính độ sâu nước lũ (*FwDET*) được phát triển bởi Phòng thí nghiệm mô hình hóa và động lực học bề mặt tại Đại học Alabama tính toán độ sâu ngập lũ bằng cách sử dụng lớp phạm vi lũ lụt và một mô hình độ cao kỹ thuật số (*DEM*) [19]. Công cụ này cho phép người dùng ước tính độ sâu mực nước lũ chỉ với lớp bề mặt lũ giải đoán.

Cốt lõi của thuật toán *FwDET* là xác định độ cao mực nước lũ cục bộ. Quá trình tính toán độ sâu của nước *FwDET* tuân theo quy trình: (1) chuyển đổi đa giác ngập lũ thành lớp đường; (2) Tạo lớp raster từ lớp đường có cùng kích thước ô lưới và căn chỉnh như *DEM*; (3) Trích xuất giá trị *DEM* (độ cao) cho các ô lưới này (được gọi là ô lưới biên); (4) Phân bổ cao độ nước lũ cục bộ cho mỗi ô lưới trong phạm vi miền bị ngập lũ từ ô lưới ranh giới gần nhất của nó và (5) Tính toán độ sâu của nước lũ bằng cách trừ độ cao của nước lũ cục bộ khỏi độ cao địa hình tại mỗi ô lưới trong miền bị ngập lũ [20]. Dữ liệu độ sâu nước lũ sau đó được xử lý trong phần mềm ArcGIS để thể hiện các mức độ ngập lũ trên khu vực nghiên cứu.



Hình 4. Quy trình thực hiện ước tính độ sâu ngập lũ từ ảnh viễn thám.

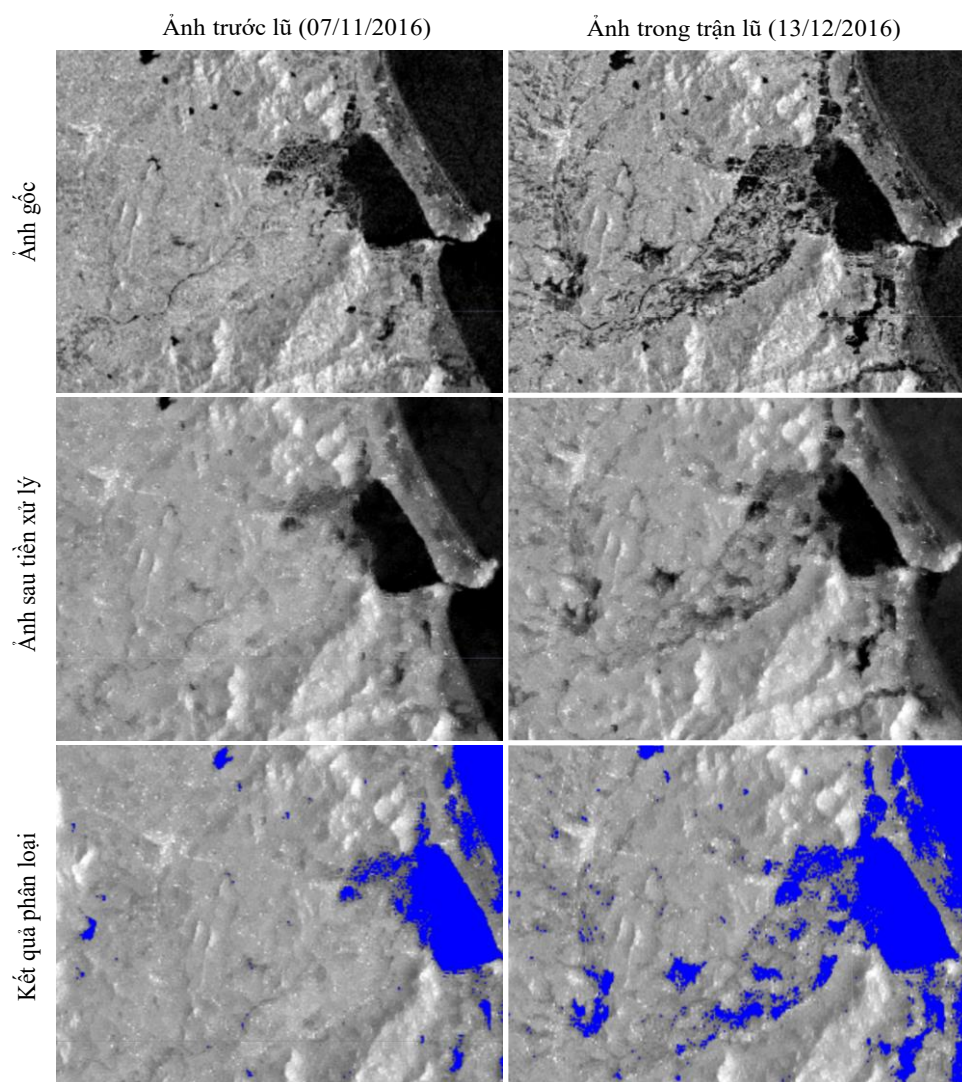
Hình 4 minh họa phương pháp tính toán độ sâu nước lũ *FwDET*. Độ cao (số màu đen) của phạm vi vùng ngập (100 m ở trên và 3 m ở dưới được sử dụng để tính toán độ sâu ngập lũ (số màu xanh) cho mỗi ô lưới trong miền ngập lũ (điểm A). Trong ngập lũ ven sông: (a) sẽ đánh giá độ sâu ngập trên sông (như điểm B) vì các *DEM* thường nằm bắt được độ cao của mặt nước. Trong ngập lũ ven biển (b), ranh giới lũ lụt hướng ra biển có thể ở bờ biển (điểm B) hoặc trên biển (điểm C) và không thể được sử dụng để ước tính độ sâu của nước lũ (độ cao ≤ 0) [10]. Kết quả sau khi tính toán độ sâu ngập lũ được so sánh với số liệu điều tra khảo sát vết lũ lịch sử năm 2016.

3. Kết quả và thảo luận

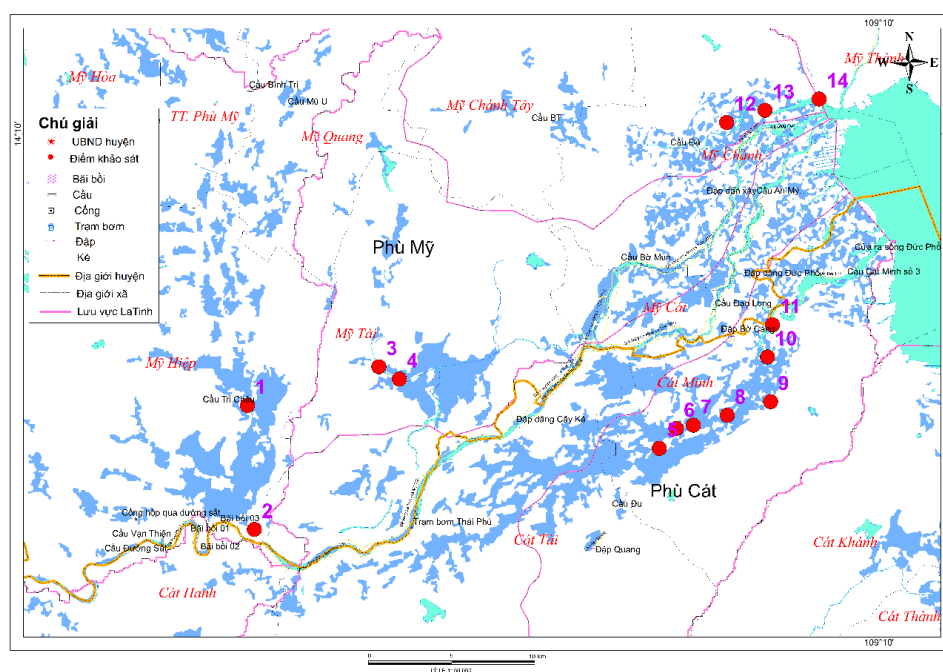
3.1. Kết quả giải đoán ngập lũ

Kết quả phân tích ngập lũ cho các thời điểm trước và sau khi ngập cho trận lũ lịch sử tháng 12/2016 lưu vực sông La Tinh được thống kê theo Hình 5.

Dữ liệu vết lũ 2016 trùng 13/14 điểm so với kết quả ngập giải đoán vết lũ năm 2016 (Hình 6), đạt độ chính xác 92% là độ tin cậy khá cao. Kết quả giải đoán ngập lũ cho trận lũ tháng 12 năm 2016 thể hiện trên hình 7.

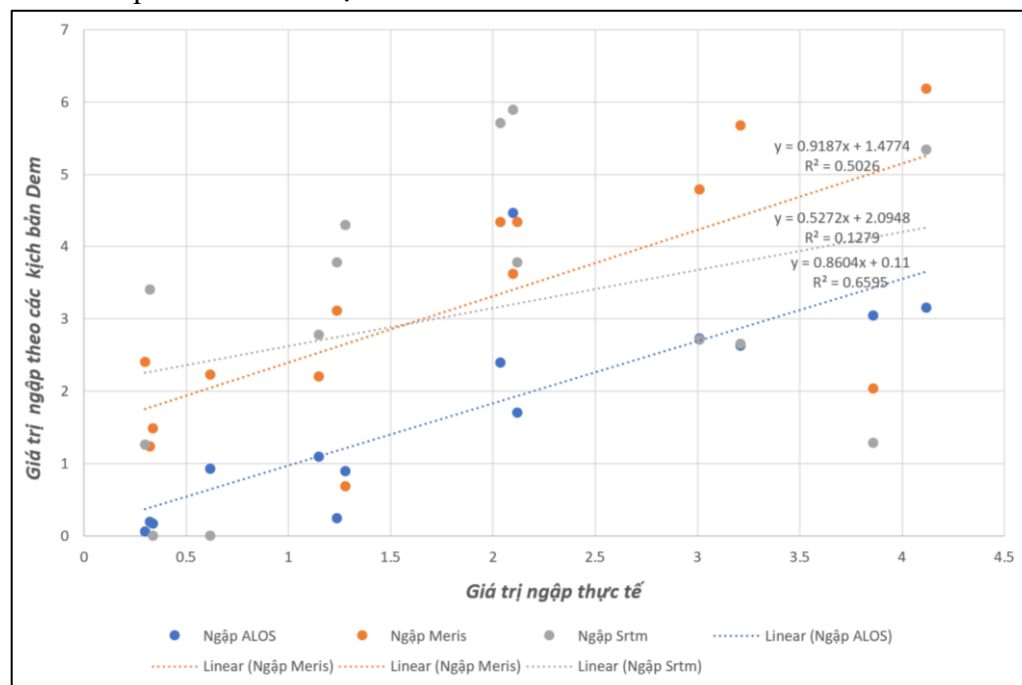


Hình 5. Số liệu vết lữ khảo sát năm 2016.



Hình 6. Vùng ngập giải đoán năm 2016 với vết lũ tương ứng.

đây DEM ALOS 12,5 m cho kết quả mô phỏng tốt nhất và sát với thực tế nhất với giá trị $R^2 = 0,66$. Một ngoại lệ đáng chú ý là DEM MERIT ($R^2 = 0,5$), ở độ phân giải 90 m, mang lại kết quả tốt hơn so với DEM SRTM có độ phân giải tốt hơn là 30m ($R^2 = 0,12$). Điều này có thể là do địa hình đã được loại bỏ nhiều thành phần lỗi của MERIT, kết quả của thuật toán loại bỏ nhiễu được sử dụng để tạo ra nó. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của chất lượng DEM đối với các phân tích về lũ lụt.



Hình 8. Tương quan ngập thực tế và ngập mô phỏng từ các nguồn dữ liệu DEM.

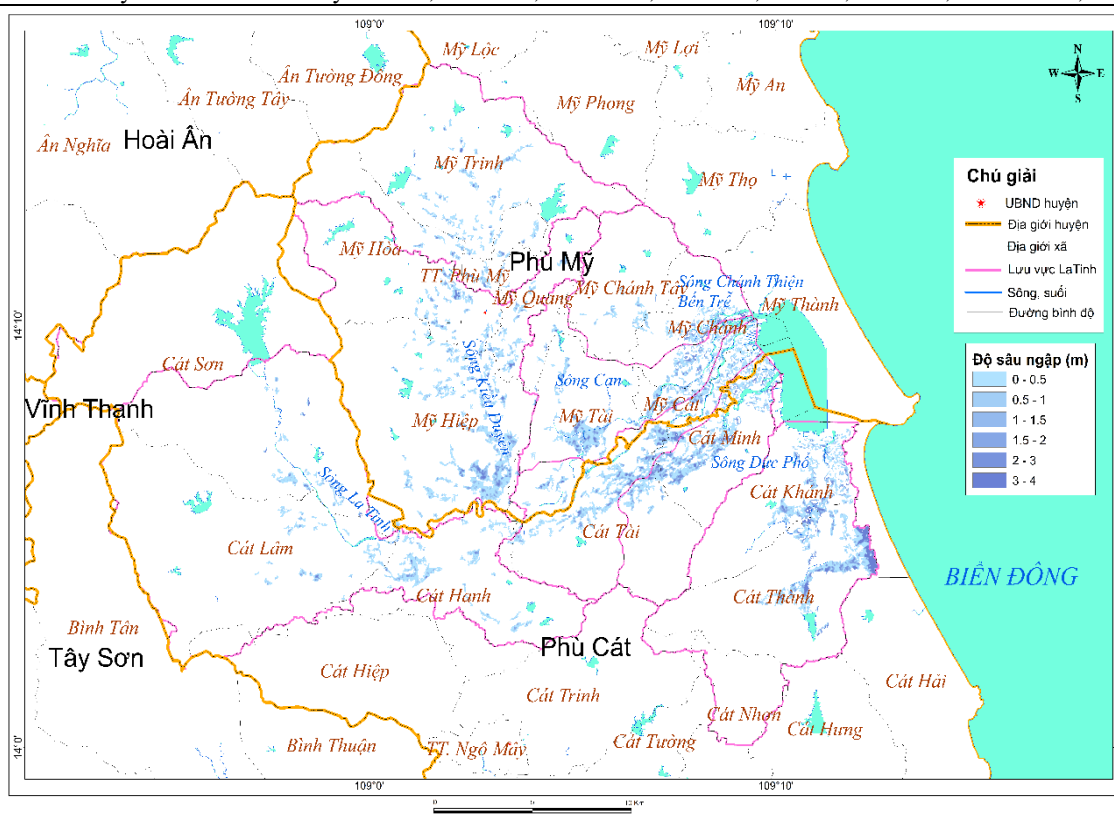
Bên cạnh đó dựa vào vị trí khảo sát vết lũ và kết quả mô phỏng ngập của DEM ALOS ta thấy: Vị trí khảo sát 1, 2 thuộc thượng nguồn sông La Tinh, hạ lưu của hồ Hội Sơn. Vị trí khảo sát 3, 4 thuộc nhánh sông Kiều Duyên, huyện Phù Mỹ. Vị trí khảo sát 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 thuộc sông Đức Phổ. Vị trí khảo sát 12, 13, 14 thuộc lưu vực sông Chánh Thiện, Bến Trê đều có kết quả tương quan, mô phỏng ngập lũ khá tốt, với mức độ chênh lệch thấp. Duy chỉ có vị trí khảo sát 5,6 thuộc xã Cát Tài, hạ lưu sông Đức Phổ là có sai số lớn, điều này có thể do chất lượng của DEM khu vực này không được tốt, có nhiều nhiễu.

Lựa chọn kịch bản ngập với DEM ALOS bài báo xây dựng bản đồ độ sâu ngập lũ cho lưu vực sông La Tinh trong trận lũ lịch sử tháng 12/2016 (Hình 9). Sử dụng các công cụ phân tích không gian tính toán mức độ ngập lũ theo từng cấp ngập cho từng xã lưu vực La Tinh. Kết quả thống kê được trình bày tại Bảng 4. Kết quả thống kê cho thấy, khu vực thượng nguồn sông La Tinh, hạ lưu của hồ Hội Sơn là khu vực ít bị ảnh hưởng bởi ngập lũ nhất với diện tích bị ngập lũ không cao, tập trung ở xã Cát Sơn, với diện tích ngập khoảng 105 ha và xã Cát Lâm với diện tích ngập khoảng 108 ha. Bên cạnh đó khu vực này độ sâu ngập lụt cũng khá thấp chủ yếu từ 0-0,5 m.

Bảng 4. Diện tích ngập lũ theo cấp ngập cho từng xã.

TT	Tên xã	Tên huyện	0 – 0,5m	0,5m – 1m	1m – 1,5m	1,5m – 2m	2m – 3m	3m – 4m	Tổng diện tích ngập
1	Cát Sơn	Phù Cát	75,6	15,3	5,7	2,8	2,5	3,7	105,6
2	Cát Lâm	Phù Cát	84,1	13,5	5,2	2,6	1,7	1,0	108,2
3	Mỹ Hiệp	Phù Mỹ	452,7	104,5	47,8	26,6	20,5	9,0	661,1
4	Mỹ Trinh	Phù Mỹ	131,4	27,8	11,1	5,1	4,3	2,9	182,6
5	Cát Hanh	Phù Cát	180,8	36,3	10,9	5,3	2,8	1,0	237,0

TT	Tên xã	Tên huyện	0 – 0,5m	0,5m – 1m	1m – 1,5m	1,5m – 2m	2m – 3m	3m – 4m	Tổng diện tích ngập
6	Mỹ Hòa	Phù Mỹ	77,5	19,1	10,0	5,6	4,2	3,8	120,2
7	Cát Thành	Phù Cát	249,8	68,0	43,3	28,8	36,9	75,6	502,4
8	Cát Tài	Phù Cát	308,4	78,0	40,2	25,8	23,6	8,6	484,6
9	Cát Khánh	Phù Cát	166,6	52,2	27,2	18,9	17,7	10,7	293,3
10	Mỹ Tài	Phù Mỹ	200,6	54,8	28,9	17,2	18,5	7,5	327,5
11	Cát Minh	Phù Cát	269,3	96,2	50,1	33,3	31,5	15,0	495,3
12	Mỹ Chánh	Phù Mỹ	258,1	66,4	30,1	20,2	21,4	8,5	404,7
13	Mỹ Chánh Tây	Phù Mỹ	36,6	7,1	2,1	0,7	0,3	0,2	46,9
14	Mỹ Quang	Phù Mỹ	84,5	19,9	9,2	4,9	4,7	2,8	126,0
15	TT. Phù Mỹ	Phù Mỹ	86,9	20,1	8,0	5,0	3,6	0,7	124,2
16	Mỹ Cát	Phù Mỹ	145,5	48,3	23,0	11,5	7,6	3,1	239,0



Hình 9. Bản đồ độ sâu ngập lũ lưu vực sông La Tinh cho trận lũ 12/2016.

Khu vực nhánh sông Kiều Duyên, huyện Phù Mỹ là khu vực bị ảnh hưởng bởi ngập lũ lớn với diện tích ngập lớn nhất tập trung ở khu vực suối Đăng Quang xã Mỹ Hiệp (661 ha ngập lũ) và khu vực suối Nhài xã Mỹ Tài (327 ha ngập lũ). Khu vực xã Mỹ Hiệp, Mỹ Tài cũng có các khu vực có độ sâu lớn lên tới 3÷4m.

Khu vực ngã 3 sông Kiều Duyên - La Tinh thuộc các xã Cát Hanh, Cát Tài. Khu vực xã Cát Hanh không bị ảnh hưởng lớn bởi ngập lũ với tổng diện tích bị ngập khoảng 237 ha với độ sâu ngập lụt chủ yếu trong khoảng 0-1 m. Xã Cát Tài là khu vực bị ảnh hưởng lớn bởi ngập lũ với diện tích ngập lũ khoảng 484.6ha với độ sâu ngập lũ trong khoảng 1-3 m cũng khá lớn khoảng gần 100 ha.

Khu vực hạ lưu, sông Đức Phổ và La Tinh là khu vực bị ảnh hưởng lớn nhất bởi ngập lũ do trận lũ lịch sử năm 2016 với hầu hết khu vực hạ lưu đều bị ảnh hưởng. Các xã bị ảnh hưởng nặng nề nhất bao gồm Mỹ Chánh 404.7 ha, Mỹ Cát 239 ha, Cát Minh 495 ha, Cát Khánh 293 ha và Cát Thành 502 ha. Xã Cát Thành còn là khu vực có độ sâu ngập lụt trung bình lớn nhất, khu vực có độ sâu ngập lụt từ 3-4 m lên tới 75 ha.

4. Kết luận và kiến nghị

Bài báo đã ứng dụng thành công ảnh Sentinel 1 để giải đoán cũng như ước tính độ sâu ngập lũ cho trận lũ tháng 12/2016 lưu vực sông La Tinh. Kết quả cho thấy xã Cát Thành có diện tích bị ảnh hưởng cùng với độ sâu ngập lũ là lớn nhất.

Công cụ ước tính độ sâu của nước lũ (FwDET) tính toán độ sâu của nước chỉ dựa trên vùng ngập lũ và DEM. Điều này cho phép ứng dụng nhanh chóng trên các phạm vi lớn, điều này rất thuận lợi cho việc ứng phó với thảm họa trên quy mô lớn hoặc thường xuyên.

So sánh kết quả mô phỏng theo các kịch bản DEM khác nhau cho thấy DEM có độ phân giải cao hơn thường mang lại kết quả chính xác hơn. Một ngoại lệ đáng chú ý là DEM 90 m MERIT hoạt động tốt hơn so với DEM 30 m SRTM. Điều này có thể là do địa hình đã được loại bỏ nhiều thành phần lỗi của MERIT với kết quả của thuật toán loại bỏ nhiễu được sử dụng để tạo ra nó.

Khái niệm, phương pháp tính của FwDET có khả năng cung cấp thông tin cho phân tích viễn thám, cung cấp một phương pháp tiếp cận mới cho việc lập bản đồ ngập lũ tuy nhiên một nhược điểm lớn của phương pháp là chưa sử dụng thông tin vết lũ trong tính toán vậy nên kết quả mô phỏng vẫn chưa có độ chính xác cao, cần thiết có những nghiên cứu chuyên sâu hơn trong tương lai để bổ sung hạn chế này của công cụ.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.T.T., T.D.H.; Xử lý số liệu: T.D.H.; Xây dựng bản đồ: T.D.H.; Phân tích kết quả: T.T.T., T.D.H.; Viết bản thảo bài báo: T.D.H., T.T.T.; Chỉnh sửa bài báo: T.T.T., T.D.H.

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. Higgins, S.A.; Overeem, I.; Steckler, M.S.; Syvitski, J.P.M.; Seeber, L.; Akhter, S.H. InSAR measurements of compaction and subsidence in the Ganges-Brahmaputra Delta, Bangladesh. *J. Geophys. Res. Earth.* **2014**, *119*, 1768–1781.
2. Cohen, S.; Raney, A.; Munasinghe, D.; Galantowicz, J.; Brakenridge, G.R. Estimating floodwater depths from flood inundation maps and topography. *Proceeding of the SPIE 10778. Remote. Sens. Open. Coastal. Ocean. Inland Waters.* **2018**, 107780M.
3. Tessler, Z.D.; Vörösmarty, C.J.; Grossberg, M.; Gladkova, I.; Aizenman, H.; Syvitski, J.P.M.; Foufoula-Georgiou, E. Profiling risk and sustainability in coastal deltas of the world. *Science* **2015**, *349*, 638–643.
4. Islam, M.M.; Sadu, K. Flood damage and modelling using satellite remote sensing data with gis: Case study of Bangladesh. *Remote. Sens. Hydrol.* (Eds.): Owe, M.; Brubaker, K.; Ritchie, J.; Rango, A. IAHS Publication, Oxford, UK, **2001**, pp. 455–458.
5. Nadal, N.C.; Zapata, R.E.; Pagan, I.; Lopez, R.; Agudelo, J. Building damage due to riverine and coastal floods. *J. Water Res.* **2009**, *136*, 327–336.
6. Nguyen, N.Y.; Ichikawa, Y.; Ishidaira, H. Estimation of inundation depth using flood extent information and hydrodynamic simulations. *Hydrol. Res. Lett.* **2016**, *10*, 39–44.
7. Schumann, G.; Hostache, R.; Puech, C.; Hoffmann, L.; Matgen, P.; Pappenberger, F.; Pfister, L. High-resolution 3-D flood information from radar imagery for flood hazard management, *IEEE T. Geosci. Remote.* **2007**, *45*, 1715–1725.
8. Cohen, S.; Brakenridge, G.R.; Kettner, A.; Bates, B.; Nelson, J.; McDonald, R.; Huang, Y.; Munasinghe, D.; Zhang, J. Estimating floodwater depths from flood inundation maps and topography. *J. Am. Water Resour. As.* **2018**, *54*, 847–858.

9. Anh, T.N. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu các sông Bến Hải và Thạch Hãn, tỉnh Quảng Trị. *Tạp chí khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2011**, 1S, 1–8.
10. Hòa, B.M.; Hương, H.T.L. Nghiên cứu xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu lưu vực sông Ba. *Tạp chí khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ* **2012**, 1S, 10–15.
11. Tuấn, H.N. Xây dựng bản đồ ngập lụt hạ du hồ chứa nước EADRĂNG tỉnh Đắk Lắk ứng với các kịch bản xả lũ và đánh giá thiệt hại do ngập lụt gây ra. *Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy lợi* **2017**, 39, 1–8.
12. Quảng, L.T.; Dũng, L.Đ.; Anh, T.N. Mô phỏng và xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 747, 9–20.
13. Hưng, N.V.; Cường, N.Q.; Hưng, B.V. Xây dựng bản đồ ngập lụt phục vụ công tác chống ngập, quy hoạch đô thị trên địa bàn thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 725, 29–38.
14. Trục tuyến: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1>.
15. Trục tuyến: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1>
16. Trục tuyến: <https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/>
17. Trục tuyến: https://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamada/MERIT_DEM/
18. Báo cáo kết quả điều tra vết lũ tháng 12/2016 trên lưu vực sông La Tinh. Chi cục Thủy lợi tỉnh Bình Định, 2016.
19. Cohen, S.; Raney, A. FwDET v2.0. Online available: <https://sdml.ua.edu/models/>. Last access: 9 September 2019.
20. Cohen, S.; Raney, A. FwDET v2.0. Online available: https://csdms.colorado.edu/wiki/Model_download_portal. Last access: 9 September 2019.

Application of Floodwater Depth Estimation Tool in estimating flooding map for the La Tinh river basin, Binh Dinh Province

Tran Thanh Tung^{1*}, Tran Dang Hung²

¹ ThuyLoi University; t.t.tung@tlu.edu.vn

² VietNam Institute of Meteorology, Hydrology & Climate Change; danghung2261991@gmail.com

Abstract: Remote sensing analysis is commonly utilised for creating flood inundation maps of historical flood events that have occurred in the past. In flood management and response to large-scale and emergency floods, constructing flood inundation maps based on remote sensing data holds significant value as they allow continuous observation of flood extent over large areas. Information about the flooding deep of the entire region is crucial for damage assessment, rescue operations, and prioritising the allocation of relief resources. The Floodwater Depth Estimation Tool (FwDET) has been applied to estimate flooding depths based on flood inundation maps and digital elevation models. This study was developed a flood inundation map for the La Tinh river basin, during the 2016 historical flood event using Sentinel 1 imagery and various DEM datasets. The results demonstrated that the FwDET tool can accurately simulate floodwater depths, and the quality of the DEM data significantly influences the simulation outcomes. DEM ALOS 12.5 m provides the best simulation results with $R^2 = 0,66$ in comparison with DEM MERIT ($R^2 = 0,5$) và DEM SRTM ($R^2 = 0,12$).

Keywords: Flood Depth; FwDET; DEM, Sentinel 1; La Tinh River.