

Bài báo khoa học

Phân tích độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt dựa trên phương pháp mô phỏng

Trần Thị Tuyết¹, Nguyễn Thanh Thủy^{2*}

¹ Viện Thủy điện và năng lượng tái tạo; trantuyettl96@gmail.com

² Trường Đại học Thủy Lợi; thanhthuy_rt@tlu.edu.vn

*Tác giả liên hệ: thanhthuy_rt@tlu.edu.vn; Tel.: +84-366171387

Ban Biên tập nhận bài: 12/5/2023; Ngày phản biện xong: 3/6/2023; Ngày đăng bài: 25/6/2023

Tóm tắt: Lũ lụt là loại hình thiên tai xảy ra phổ biến trên thế giới và ở Việt Nam với những thiệt hại đáng kể về người và tài sản. Bản đồ ngập lụt được coi là một công cụ hữu hiệu trong việc quản lý rủi ro ngập lụt và được xây dựng bằng nhiều phương pháp khác nhau. Trong đó, phương pháp mô phỏng bằng mô hình toán cho các trận mưa hay sự cố công trình với các tần suất khác nhau thường được sử dụng. Nghiên cứu đã tiến hành thu thập, tổng hợp và phân tích các nghiên cứu trong và ngoài nước về xây dựng bản đồ ngập lụt nói chung và có xét tới độ bất định nói riêng. Các nghiên cứu đều chỉ ra rằng việc đưa ra giải giá trị hay đánh giá độ bất định trong kết quả tính toán là rất cần thiết. Tuy nhiên, độ bất định trong xây dựng mô phỏng bản đồ ngập lụt chủ yếu được đề cập trong các nghiên cứu nước ngoài trong khi các nghiên cứu trong nước gần như không đề cập tới. Các nghiên cứu hiện nay chưa đánh giá ảnh hưởng của độ bất định trong thiết lập mô hình mưa thiết kế đến bản đồ ngập lụt.

Từ khóa: Bản đồ ngập lụt; Độ bất định; Mưa dòng chảy; Thủy lực; Mưa thiết kế.

1. Giới thiệu

Lũ lụt là một trong những loại hình thiên tai thường xuyên xảy ra, gây thiệt hại lớn đến người và tài sản. Lũ lụt được hình thành với nhiều nguyên nhân khác nhau như do mưa lớn, ảnh hưởng bão, áp thấp nhiệt đới hay vỡ đập. Đặc biệt, với tốc độ đô thị hóa nhanh chóng đã làm tăng diện tích bề mặt bê tông hóa, giảm lượng nước thấm và tăng thành phần dòng chảy mặt hình thành nên ngập lụt. Theo số liệu thống kê từ 1990 đến 2018, trung bình mỗi năm có khoảng từ 5-6 cơn bão đổ bộ Việt Nam, trong đó có 2-3 cơn bão mạnh từ cấp 12 trở lên [1]. Cũng theo báo cáo của Bộ Tài nguyên và môi trường, đến cuối thế kỷ số lượng các cơn bão và áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng đến Việt Nam có xu hướng giảm nhưng số lượng bão mạnh đến rất mạnh có xu hướng tăng rõ rệt. Mực nước biển khu vực ven biển và hải đảo Việt Nam có xu hướng tăng từ Bắc vào Nam với mực nước biển dâng từ 49-107 cm vào năm 2100 theo kịch bản RCP 8.5 [1]. Hàng nghìn hồ chứa lớn nhỏ trên cả nước đem lại nhiều lợi ích kinh tế và xã hội như phòng chống lũ, cấp nước nông nghiệp, sinh hoạt và phát điện thì vẫn tồn tại rủi ro vỡ đập gây ngập lụt cho khu vực hạ du nơi thường tập trung đông dân cư ở các khu vực đô thị. Việt Nam là một trong những quốc gia có tốc độ đô thị hóa nhanh ở khu vực Đông Á với tỉ lệ đô thị hóa toàn quốc đạt 41,5% tính đến tháng 9/2022. Điều này đồng nghĩa với việc rủi ro lũ lụt có xu hướng gia tăng trong tương lai. Một trong những giải pháp quan trọng trong quản lý và kiểm soát lũ là cung cấp những thông tin đáng tin cậy về hiểm họa ngập lụt bao gồm khả năng xảy ra, phạm vi và độ sâu ngập lụt tới cộng đồng và các bên liên quan.

Bản đồ ngập lụt là một loại bản đồ chuyên đề, trên đó thể hiện các vùng ngập lụt hạ du ở một thời điểm nhất định (Theo tiêu chuẩn kỹ thuật TCKT03:2015). Bản đồ ngập lụt là cơ sở khoa học cho việc xác định được diện tích ngập, mức ngập ở các khu vực khác nhau cũng như những đối tượng nằm trong khu vực ngập lụt như nhà cửa, các công trình công cộng, hệ thống đường giao thông, đất nông nghiệp,... Ngày 07 tháng 6 năm 2018, Thủ tướng chính phủ đã ban hành quyết định số 705/QĐ-TTg phê duyệt chương trình cập nhật bản đồ phân vùng rủi ro thiên tai, lập bản đồ cảnh báo thiên tai, đặc biệt là các thiên tai liên quan đến bão, nước dâng do bão, lũ, lũ quét, sạt lở đất, hạn hán, xâm nhập mặn. Trong cùng năm, ngày 04 tháng 9 Chính phủ đã ban hành nghị định số 114/2018/NĐ-CP về quản lý an toàn đập, hồ chứa nước trong đó có yêu cầu xây dựng bản đồ ngập lụt ứng với các tình huống khẩn cấp.

Với ý nghĩa vô cùng quan trọng đó, bản đồ ngập lụt đã được xây dựng cho nhiều khu vực, lưu vực trên thế giới và ở Việt Nam. Các phương pháp với yêu cầu về số liệu đầu vào, thời gian tính toán, mức độ chính xác và chi tiết khác nhau đã được ứng dụng trong xây dựng bản đồ ngập lụt. Ví dụ như [2] đã xây dựng bản đồ ngập lụt cho lưu vực sông Awash ở Ethiopia sử dụng công cụ GIS và mô hình HEC-GeoRAS/ HEC - RAS ứng với chu kỳ lũ lặp lại là 5, 10, 25, 50 và 100 năm, từ đó đánh giá ý nghĩa của quản lý sử dụng đất và trồng rừng trong việc giảm thiểu tác động tiêu cực của lũ lụt, đặc biệt là ở các vùng trũng thấp dễ xảy ra lũ lụt. Trong một nghiên cứu khác, [3] đã xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu hồ chứa Suối Mỡ, tỉnh Bắc Giang dựa trên kết hợp mô hình thủy lực 1-2 chiều MIKE 11, MIKE 21 trong MIKE FLOOD cùng với công cụ hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã được ứng dụng trong xây dựng các bản đồ ngập lụt ứng với các kịch bản vỡ đập và xả lũ khác nhau.

Các bản đồ ngập lụt nói chung và đặc biệt ở Việt Nam thường không xem xét đến ảnh hưởng của các yếu tố bất định (ví dụ như mưa, dòng chảy, tỉ lệ bản đồ địa hình, thông số và kỹ thuật mô hình, hệ thống công trình) được sử dụng để xây dựng chúng. Ảnh hưởng của từng yếu tố riêng lẻ và ảnh hưởng các yếu tố đến tổng thể bản đồ ngập lụt như thế nào cũng không được hiểu rõ. Do ảnh hưởng của các yếu tố này nên bản đồ ngập lụt sẽ được bao quanh bởi một vùng bất định (*uncertainty zone*). Khi tính bất định trong số liệu và kỹ thuật được sử dụng để xây dựng bản đồ ngập lụt càng tăng, thì vùng bất định càng rộng và ngược lại. Nói cách khác, phạm vi ngập lụt nằm trong khoảng không gian nào đó với mức độ tin cậy nhất định. Việc không xem xét tới độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt sẽ ảnh hưởng đến độ chính xác trong việc ra quyết định. Tuy nhiên, các nghiên cứu phân tích về độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt còn rất ít và ở Việt Nam thì chưa có. Vì vậy, nghiên cứu giới thiệu các phương pháp xây dựng bản đồ ngập lụt và đưa ra bức tranh tổng quan về các yếu tố cấu thành nên độ bất định trong bản đồ ngập lụt được xây dựng từ phương pháp mô phỏng bằng các mô hình toán.

2. Các phương pháp xây dựng bản đồ ngập lụt

Bản đồ ngập lụt được xây dựng dựa trên bốn phương pháp gồm: (i) phương pháp thống kê vết lũ lịch sử, (ii) phương pháp sử dụng ảnh chụp trên cao, (iii) phương pháp sử dụng bản đồ địa hình địa mạo, và (iv) phương pháp mô phỏng bằng các mô hình toán.

Với phương pháp thống kê, các bản đồ ngập lụt sẽ được xây dựng dựa trên cơ sở điều tra diện ngập, vết lũ của các trận lũ lớn đã xảy ra trong quá khứ còn để lại vết nước trên các công trình, nhà cửa hay từ thông tin do người dân vùng lũ cung cấp. Ưu điểm của phương pháp này là dễ thực hiện, thể hiện được vùng ngập và độ sâu ngập của các trận lũ trong quá khứ. Tuy nhiên phương pháp chỉ cho phép tái hiện lại các trận lũ đã xảy ra, không xây dựng được bản đồ ngập lụt ứng với các kịch bản lũ chưa xảy ra trong lịch sử. Đồng thời, tính chính xác của bản đồ ngập lụt phụ thuộc vào số lượng vết lũ thu thập được cũng như tính chủ quan của người cung cấp thông tin vết lũ.

Tương tự như phương pháp thống kê, bản đồ ngập lụt được xây dựng từ ảnh chụp trên cao (ảnh vệ tinh và không ảnh) cho các trận lũ lụt đã xảy ra trong quá khứ. Các ảnh viễn thám thường được sử dụng như LANDSAT, MSS, MODIS với độ phân giải và chu kỳ bay khác

n nhau. Cơ sở của phương pháp này là dựa trên đặc tính phản xạ của các đối tượng đối tượng trên bề mặt khu vực được chụp với ánh sáng ở các bước sóng khác nhau, từ đó xây dựng quy trình công nghệ để xác định ranh giới của vùng ngập và không ngập. Công nghệ viễn thám và GIS được ứng dụng rộng rãi trong thu thập dữ liệu, phân tích không gian và hiển thị đồ họa. Đã có nhiều nghiên cứu về ứng dụng của ảnh viễn thám để giám sát và xác định vùng ngập như: [4] đã lập bản đồ ngập lụt năm 2015 ở huyện Quảng Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế thông qua chỉ số mặt nước (*land surface water index - LSWI*) và chỉ số thực vật tăng cường (*enhanced vegetation index - EVI*) được tính toán từ ảnh Landsat-7/TM; [5] đã đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi tốc độ dòng chảy lũ đến thực vật vùng ngập bằng cách sử dụng ảnh vệ tinh có độ phân giải rất cao; [6] đã kết hợp dữ liệu thực đo và chuỗi thời gian của các chỉ số thực vật bao gồm NDVI (*normalized difference vegetation index*), EVI, MSAVI (*modified soil adjusted vegetation index*), và chỉ số mặt nước LSWI để xác định sự biến đổi của lớp phủ thực vật và cao độ bãi triều của một vùng đất ngập nước tại cửa sông; [7] đã dựa trên sự khác biệt giữa hai ảnh viễn thám được chụp trước và trong khi xảy ra ngập để xác định vùng ngập cho lưu vực sông Bùi trong trận lũ lịch sử vào tháng 7 năm 2018; [8] đã thiết lập bản đồ ngập lụt từ các dữ liệu cầu cảm biến viễn thám radar chủ động như Sentinel-1, Alos Palsar. Phương pháp thứ hai cho phép xác định vùng ngập trên một phạm vi rộng tuy nhiên độ chính độ chính xác và khả năng ứng dụng của phương pháp này phụ thuộc nhiều vào độ phân giải, chu kỳ bay và điều kiện thời tiết. Bên cạnh đó, độ sâu ngập lụt được xác định từ ảnh viễn thám hay không ảnh có độ chính xác không cao.

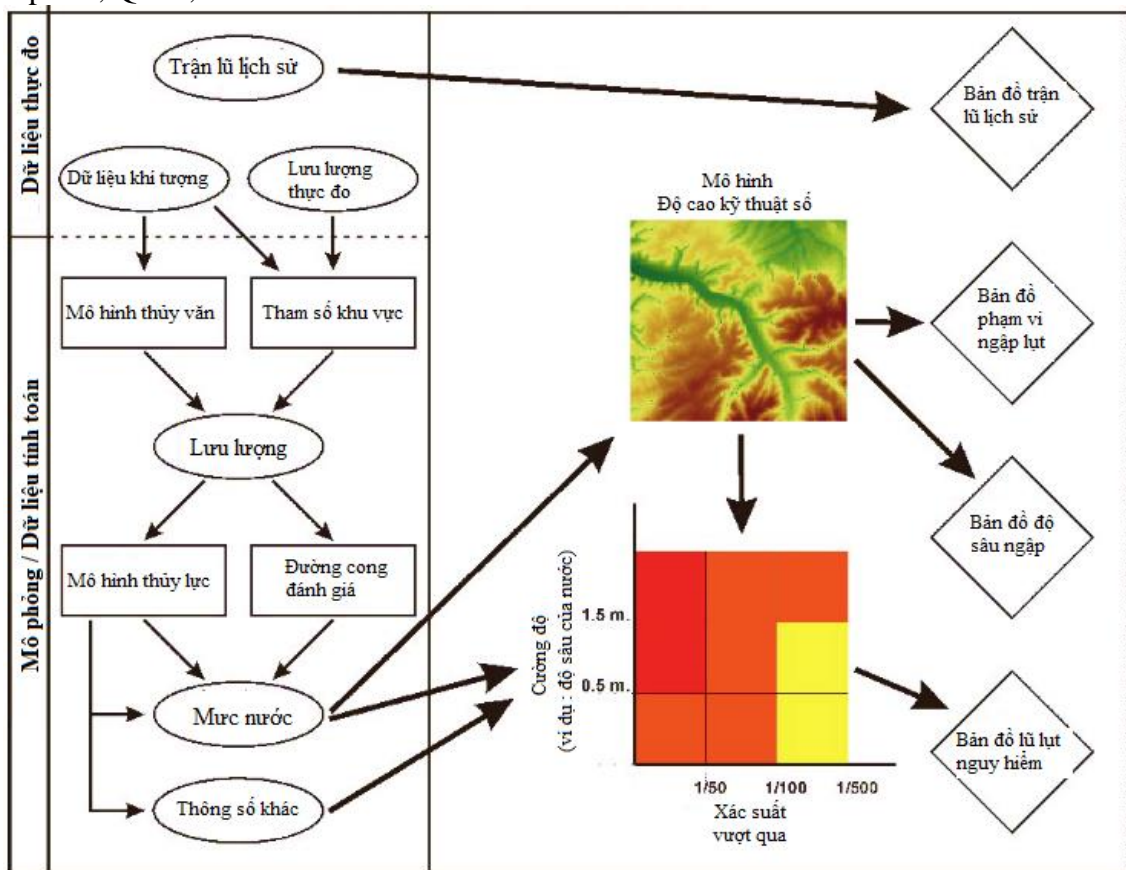
Trong phương pháp thứ ba, bản đồ ngập lụt được xây dựng từ các bản đồ địa hình, địa mạo với các đường đồng mức, các điểm cao độ. Các đặc trưng địa hình, địa mạo của các lưu vực sông được phân loại thành các dạng khác nhau. Dựa vào bản đồ địa hình, địa mạo, các lưu vực sông và các khu vực trên cùng một lưu vực sông sẽ được phân thành các dạng khác nhau. Khu vực với địa hình thấp, tương đối bằng phẳng với các bãi bồi, gò đất tự nhiên và đồng bằng phù sa, ... thường xảy ra ngập lụt. Do đó, các khu vực với đặc trưng địa hình, địa mạo như vậy thường được điều tra khảo sát chi tiết để dự đoán nguy cơ ngập lụt. Ưu điểm của phương pháp là dựa vào điều kiện địa hình thực tế để xác định vùng ngập. Tuy nhiên phương pháp chưa xét đến các yếu tố khác ảnh hưởng tới sự hình thành và mức độ ngập lụt như điều kiện mặt đệm, điều kiện sử dụng đất, các các trình thủy lực trên lưu vực,... Bên cạnh đó, độ chính xác của bản đồ ngập lụt phụ thuộc vào mức độ chi tiết của bản đồ địa hình, địa mạo và mức độ cập nhật dữ liệu. Ngoài ra, các phân tích chủ yếu là định tính nên chỉ phục vụ cho việc đánh giá rủi ro ngập lụt khi thực hiện quy hoạch vùng.

Để khắc phục nhược điểm của ba phương pháp trên, phương pháp mô phỏng thường được sử dụng. Trong phương pháp này, các mô hình toán được sử dụng bao gồm mô hình thủy văn và mô hình thủy lực với nhiều hướng tiếp cận có độ phức tạp khác nhau, tùy thuộc vào nguồn dữ liệu sẵn có, thời gian tính toán và yêu cầu riêng của từng bài toán cụ thể,... Tuy nhiên, khung tính toán và lập bản đồ thường bao gồm ba bước (Hình 1).

- Bước đầu tiên là ước tính lưu lượng dòng chảy lũ thiết kế ứng với tần suất cụ thể. Các dạng hàm phân phối sẽ xác định xác suất xuất hiện của các giá trị dựa vào các giá trị cực đại thực đo để tính toán. Tuy nhiên, trên thực tế các dữ liệu dòng chảy thực đo thường chưa đủ để xây dựng các đường tần suất, đồng thời việc sử dụng các công thức tính lưu lượng đỉnh lũ đối với các lưu vực lớn, nhiều điểm tính toán còn hạn chế, vì thế các mô hình thủy văn được sử dụng rộng rãi hơn. Dựa trên cơ sở xem xét, mô tả mối quan hệ giữa các biến đầu vào và biến đầu ra mà mô hình thủy văn có thể được chia thành mô hình ngẫu nhiên và mô hình tất định. Các mô hình thủy văn ngẫu nhiên coi quá trình thủy văn mang tính chất ngẫu nhiên và biến đầu ra được xác định từ các biến đầu vào theo các quy luật thống kê. Ngược lại, các mô hình tất định dựa trên việc mô tả các quá trình vật lý từ mưa sinh ra dòng chảy để ước tính dòng chảy. Dựa vào việc mô tả các đặc trưng lưu vực theo không gian, mô hình tất định được phân thành mô hình thông số tập trung TANK, NAM... và mô hình bán/hoàn toàn phân bố như: HBV, TOP-MODEL, SWAT, HEC-HMS, TOKAPI, ...

- Bước thứ hai là tính toán các đặc trưng dòng chảy trên sông và đồng bằng ngập: các mô hình thủy lực sử dụng biến đầu vào là lưu lượng dòng chảy từ các mô hình thủy văn, diễn toán dòng chảy trong sông bằng mô hình một chiều thu được các đặc trưng vật lý dòng chảy trong sông (vận tốc, độ sâu mực nước, lưu lượng) và tính toán mô phỏng chi tiết nước chảy tràn trên bề mặt lưu vực mô phỏng phạm vi ngập lụt với cấp độ ngập khác nhau bằng mô hình hai chiều. Việc sử dụng mô hình thủy lực đặc biệt hữu ích trong các khu vực phức tạp về thủy lực như hợp lưu sông, vùng đất lún biển hoặc hệ thống sông có sự thay đổi nhiều do sự tác động của các công trình nhân tạo trên sông bao gồm hồ chứa, cầu, cống hay những công trình bảo vệ bờ (đê, kè, ...), những khu vực đồng bằng đông dân cư sinh sống với mạng lưới đường ống phức tạp ảnh hưởng đến việc thoát lũ. Hơn nữa các mô hình thủy động lực học cho phép xem xét các thông số liên quan đến lũ lụt như vận tốc dòng chảy, sự lan truyền, thời gian, tốc độ và mực nước dâng lên theo thời gian. Một số mô hình thủy lực được sử dụng rộng rãi hiện nay như bộ mô hình MIKE của DHI (gồm MIKE 11, MIKE 21, MIKE 21FM, MIKE FLOOD, MIKE URBAN), mô hình HEC-RAS của trung tâm Kỹ thuật thủy văn – Quân đội Mỹ.

- Bước cuối cùng là biên tập bản đồ: Kết quả vùng ngập sẽ được trích xuất từ mô hình thủy lực hai chiều kết hợp với bản đồ số hóa độ cao DEM và hiện trạng các công trình, dân cư, ... sẽ được biên tập đưa ra các bản đồ ngập với các tần suất khác nhau ở thời điểm nhất định. Các công cụ, phần mềm được sử dụng trong biên tập bản đồ ngập lụt như Arc-GIS, MapInfo, QGIS, ILWIS....



Hình 1. Các bước xây dựng bản đồ ngập lụt [9].

Cho đến nay, đã có nhiều phương pháp lập bản đồ đã được nghiên cứu và phát triển với các lý thuyết khác nhau như phương pháp tiếp cận thủy văn, khí tượng, địa hình địa mạo, ... biểu thị vùng ngập trên quy mô của các lưu vực sông với ưu nhược điểm khác nhau. Mặc dù ba phương pháp đầu tiên có thể được thực hiện nhanh với khối lượng công việc ít hơn và dễ thực hiện hơn. Tuy nhiên các phương pháp này có nhược điểm chung là không xem xét đến ảnh hưởng của các đặc trưng trên lưu vực, do đó không thể hiện được sự biến đổi của vùng

ngập trong các kịch bản thay đổi điều kiện lưu vực. Trong khi đó, các mô hình toán xác định các đặc trưng thủy văn, thủy lực đầu ra dựa trên mối quan hệ toán học giữa các đại lượng này với các biến đầu vào theo từng vị trí và thời điểm. Vì vậy, các bản đồ ngập lụt sử dụng các mô hình thủy lực đã thể hiện được diễn biến của các sự kiện lũ bao gồm phân bố theo không gian, thời gian cũng như các yếu tố thủy lực liên quan. Đặc biệt phương pháp này cho phép mô phỏng với các kịch bản khác nhau nhằm đưa ra những phương án ứng phó phù hợp, giảm thiểu tác hại do lũ lụt gây ra. Đây cũng là phương pháp được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi hiện nay trong các nghiên cứu liên quan đến ngập lụt và giảm nhẹ thiên tai. Mặt khác, phương pháp mô phỏng yêu cầu số liệu, thời gian tính toán và có độ phức tạp cao hơn các phương pháp khác.

3. Phân tích độ bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt dựa trên phương pháp mô phỏng

3.1. Các yếu tố bất định trong xây dựng bản đồ ngập lụt

Năm 2003, [10] đã đưa ra khái niệm về độ bất định như sau: “Độ bất định là độ lệch so với giá trị lý tưởng không thể có được ...”. Hay có thể hiểu độ bất định là sai số giữa giá trị ước tính và giá trị thực tế. Dựa vào nguồn gốc phát sinh, độ bất định có thể được chia thành 4 loại: (i) Bất định trong số liệu đầu vào; (ii) Bất định trong cấu trúc mô hình; (iii) Bất định trong thông số mô hình và (iv) Bất định trong số liệu thực đo dùng trong hiệu chỉnh và kiểm định.

3.1.1. Tính bất định trong số liệu đầu vào và số liệu thực đo dùng trong hiệu chỉnh và kiểm định

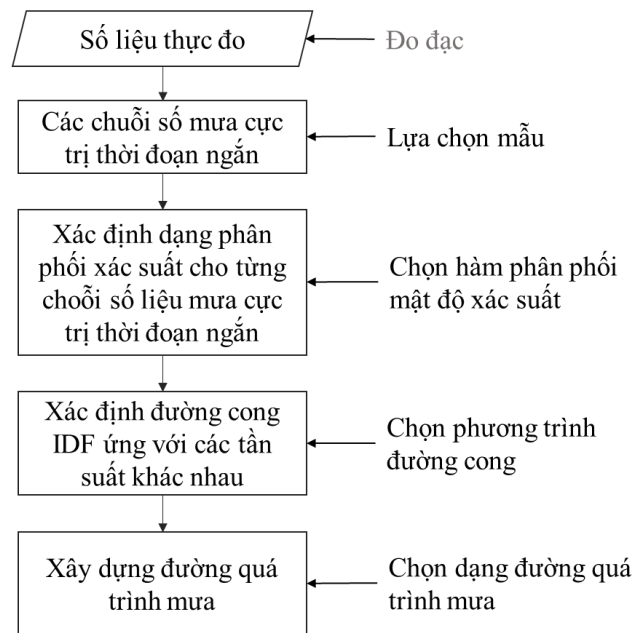
a) Dữ liệu mưa, dòng chảy

Trong trường hợp không có số liệu dòng chảy trong thời gian dài, dòng chảy lũ ứng với 1 tần suất cụ thể được xác định từ mô hình mưa dòng chảy với số liệu mưa có tần suất tương ứng. Các thành phần cấu thành nên tính bất định trong số liệu mưa được trình bày trong sơ đồ ở Hình 2.

Đầu tiên, dữ liệu mưa là đầu vào quan trọng trong các mô hình thủy văn, từ số liệu mưa thời đoạn ngắn đo đạc trong thời gian dài, các giá trị mưa thời đoạn ngắn lớn nhất được lựa chọn mỗi năm 1 giá trị. Trong số liệu thực đo bao gồm sai số do đo đạc (ví dụ như thiết bị, người đọc, ghi chép, ...) và việc lựa chọn mẫu cũng như chiều dài của số liệu ảnh hưởng đến tính đại biểu cho tổng thể. Bước tiếp theo, lựa chọn hàm phân phối xác suất cũng được coi là một bước quan trọng và cũng là một trong những thách thức lớn ảnh hưởng trực tiếp tới lượng mưa thiết kế, cũng như kết quả tính toán đầu ra của mô hình thủy văn. Vì vậy, việc lựa chọn các hàm phân phối với giá trị của các thông số phù hợp với từng chuỗi mưa thời đoạn ngắn sẽ được xác định, nhằm hạn chế việc lựa chọn hàm phân phối xác suất không phù hợp có thể dẫn đến cường độ mưa thiết kế thiên lớn hoặc thiên bé so với thực tế. Đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định được dạng hàm phân bố xác suất phù hợp cho một khu vực nhất định như: [11] nghiên cứu dữ liệu lượng mưa ngày lớn nhất trong năm, mùa và tháng cho Đảo Sagar, nằm trên thềm lục địa của Vịnh Bengal, nhận thấy rằng phân bố chuẩn (N) là phù hợp nhất với thời kỳ cả năm, giai đoạn sau gió mùa và mùa hè, trong khi Lognormal (LN2), Weibull (W2) và Pearson V phù hợp nhất với thời kỳ trước gió mùa, khi xảy ra gió mùa và mùa đông. Phân phối LN2 là phân phối xác suất phù hợp nhất cho lượng mưa ngày lớn nhất ở Ấn Độ [12], đã chỉ ra Log-Pearson III (LP3) với chuỗi số liệu lượng mưa ngày lớn nhất ở các khu vực phía bắc của Pakistan [13]. Trong khi đó, hàm phân phối giá trị cực trị tổng quát (GEV) và phân phối Pearson loại 3 (P3) được xác định là phù hợp nhất với chuỗi giá trị lượng mưa tháng lớn nhất ở Iran [14]. Đối với lượng mưa lớn nhất tháng, hàm phân phối Gumber (GUM) được nhận định là phù hợp nhất cho Ấn Độ [15] và Gamma cho các vùng khô hạn ở Libya [16].

Lượng mưa cường độ ngắn ứng với tần suất cụ thể được xác định từ hàm phân bố mật độ xác suất được sử dụng trong xây dựng đường cong IDF. Do đó, các dạng hàm phân phối khác nhau (ví dụ như Gumbel, GEV, Log-Pearson III) sẽ cho các đường IDF khác nhau. Để xác định đường quá trình mưa, mưa các thời đoạn khác nhau bao gồm các thời đoạn không có số liệu thực đo được sử dụng. Vì vậy, đường cong IDF lý thuyết cần được xác định. Cùng với một chuỗi số liệu, các dạng phương trình đường cong khác nhau có thể được sử dụng (ví dụ như công thức của Chow hay Sherman) và dẫn đến sự sai khác giữa các giá trị cường độ mưa được nội/ngoại suy. Và cuối cùng, từ bộ đường cong IDF, đường quá trình mưa có thể được xác định theo các phương pháp khác nhau. Đường quá trình mưa có thể được xác định bằng các phương pháp khác nhau, ví dụ như phương pháp mưa tam giác, thu phóng theo trận mưa điển hình và phương pháp khối xen kẽ - phương pháp được sử dụng nhiều nhất trong mô phỏng ngập lụt đô thị. Việc sử dụng các phương pháp khác nhau cho đường quá trình mưa khác nhau và có thể ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng ngập lụt.

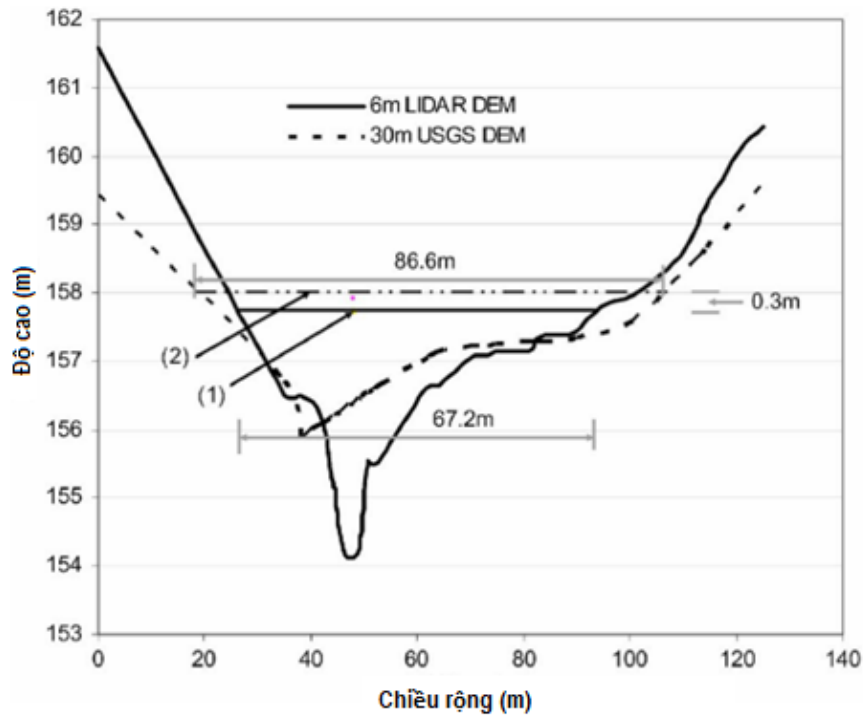
Đối với bài toán mô phỏng ngập lụt, điều quan trọng nhất là phải tìm được các hàm xác suất phù hợp nhất đối với vùng nghiên cứu, từ đó xác định phương trình đường cong cường độ mưa IDF và dạng đường quá trình mưa để giảm thiểu các sai số do khách quan hay chủ quan từ đó làm ảnh hưởng đến việc tính toán điều kiện biên trước khi đưa vào mô hình hóa quá trình dòng chảy, truyền lũ gây ngập úng. Chính vì vậy, có thể coi đây là một trong những yếu tố ảnh hưởng đến mức độ chính xác của những tính toán sau này, cần được tiến hành cẩn thận, tỉ mỉ.



Hình 2. Sơ đồ mô tả độ bất định trong các bước xây dựng đường quá trình mưa ứng tần suất.

b) Dữ liệu địa hình

Dữ liệu địa hình được sử dụng trong xác định lưu vực cho mô hình thủy văn, xác định mặt cắt cho mô hình thủy lực và lập bản đồ mực nước ngập, vì thế chất lượng của dữ liệu địa hình sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến việc xác định vùng ngập lụt. Sai số trong độ cao địa hình góp phần vào độ bất định trong việc lập bản đồ ngập lụt do lũ lụt theo ba cách. Đầu tiên, nó ảnh hưởng đến giá trị lưu lượng ước tính từ các mô hình thủy văn [17]. Thứ hai, nó ảnh hưởng đến độ cao mặt nước lấy từ các mô hình thủy lực [18]. Thứ ba, nó ảnh hưởng đến phạm vi vùng ngập của bản đồ ngập lụt [19]. Hình 3 cho thấy sự khác nhau của một mặt cắt của sông Strouds Creek ở Bắc Carolina lấy từ hai tập dữ liệu địa hình: DEM USGS 30 m và DEM LIDAR 6 m, và độ cao bề mặt nước với kết quả được tính bằng mô hình HEC-RAS [20].



Hình 3. So sánh mặt cắt ngang sông đối với dữ liệu DEM USGS 30 m và DEM LIDAR 6 m [20].

Các vấn đề liên quan đến dữ liệu địa hình bao gồm chất lượng của dữ liệu thô (bao gồm các điểm cao độ địa hình, dữ liệu bản đồ đường đồng mức, các điểm khảo sát địa hình đặc biệt, mặt cắt và DEM), các phương pháp được sử dụng để nội suy dữ liệu địa hình thô thành mô hình bề mặt, tích hợp hoặc kết hợp các tập dữ liệu khác nhau, kiểu dữ liệu được lựa chọn (TIN so với Raster/GRID), phương pháp được sử dụng để xác định lưu vực trong các mô hình thủy văn và độ phân giải không gian của mô hình bề mặt (kích thước ô cho lưới) trong mô hình thủy lực. Bên cạnh sai số liên quan đến việc đo độ cao, các đặc tính như khoảng đồng mức, mật độ, và khoảng cách của các mặt cắt ngang sông, cũng góp phần vào độ bất định trong dữ liệu địa hình [21].

Một yếu tố khác ảnh hưởng đến độ bất định của địa hình phát sinh từ các phương pháp được sử dụng để nội suy dữ liệu địa hình thô để tạo bề mặt. Các phương pháp nội suy được sử dụng phổ biến nhất bao gồm nghịch đảo trọng số khoảng cách [22], Spline [23], Triangulation Delaunay, và các phương pháp thống kê địa lý [24]. Độ chính xác theo phương thẳng đứng của các bề mặt địa hình sẽ tùy thuộc vào phương pháp nội suy khác nhau. Mặc dù tổng thể những thay đổi này có thể nhỏ, nhưng ở những khu vực có địa hình không đồng nhất, chẳng hạn như kênh sông, nơi có độ dốc không đồng hướng, ảnh hưởng của các phương pháp liên kết có thể ảnh hưởng đến kết quả mô hình thủy lực [25]. Hầu hết các thuật toán phân tích địa hình, đặc biệt là những thuật toán được sử dụng cho việc xác định mạng lưới dòng chảy dựa trên các đại diện raster của bề mặt đất, trong khi lập bản đồ ngập lụt sử dụng cả tập dữ liệu raster và TIN. Nói cách khác, việc lập bản đồ ngập lụt cho một phạm vi tiếp cận nhất định trên một phạm vi duy nhất liên quan đến việc sử dụng cùng một dữ liệu địa hình ở các định dạng khác nhau ở các bước khác nhau. Tuy nhiên, khi lưới được chuyển đổi thành TIN, không phải tất cả các giá trị ô đều được kết hợp vào TIN dưới dạng nút, do đó một số thông tin bị mất, làm tăng thêm độ bất định cho dữ liệu.

Các phương pháp được sử dụng để xử lý dữ liệu địa hình nhằm tạo ra các ranh giới lưu vực và dòng chảy để lập mô hình thủy văn cũng làm tăng thêm độ bất định. Ví dụ: mạng lưới sông ngòi được tạo bằng cách sử dụng mô hình tám điểm sẽ khác với mạng được tạo bởi thuật toán D [26]. Chính biên cao độ của các ô điểm ảnh (Fill sinks) là một bước phổ biến được tích hợp vào nhiều công cụ xử lý địa hình (ArcHydro, ArcSWAT ...), nhưng một số

chương trình (WISE) không có bước này trong khi khoanh vùng lưu vực. Vì vậy, các kỹ thuật khác nhau được sử dụng để tính toán độ dốc sử dụng DEM cũng tạo ra các kết quả khác nhau [27].

3.1.2. Tính bất định trong cấu trúc mô hình

Mục đích của các mô hình toán là mô phỏng lại các hệ thống trong thế giới thực bằng các phương trình toán học thể hiện mối liên hệ giữa các biến đầu vào, nhân tố tác động và các biến đầu ra. Việc thiết lập mô hình thường dựa trên các giả thiết để đơn giản thế giới thực và sử dụng các phương trình, phương pháp giải khác nhau. Những yếu tố này đã cấu thành nên tính bất định của kết quả mô phỏng từ cấu trúc mô hình. Cụ thể:

a) Mô hình thủy văn

Theo [28] các yếu tố ảnh hưởng đến dòng chảy trong các mô hình thủy văn bao gồm: đặc điểm lưu vực, quá trình mưa, và điều kiện ban đầu. Cấu trúc mô hình thủy văn thường biểu hiện cho tổn thất ban đầu (bao gồm tổn thất tích đọng và điền trũng), bốc thoát hơi, thấm và quá trình hình thành dòng chảy bốc thoát hơi với các thông số đặc trưng cho mỗi khu vực cụ thể. Các mô hình phân bố/bán phân bố với cấu trúc và thông số phức tạp hơn với khả năng mô tả được sự thay đổi theo không gian và thời gian của các quá trình thủy văn nhằm giảm độ bất định trong mô phỏng. Tuy nhiên trên thực tế, việc sử dụng các mô hình phức tạp không làm tăng độ chính xác của kết quả mô phỏng do thiếu dữ liệu cũng như hiểu biết khả năng sinh dòng chảy từ mưa với các thời đoạn thời gian khác nhau (ví dụ thời gian trận mưa, mùa, năm...) trên các bề mặt khác nhau (sườn dốc, đất trồng, bê tông hoá, ...) ở những điều kiện độ ẩm khác nhau sẽ sinh ra dòng chảy khác nhau.

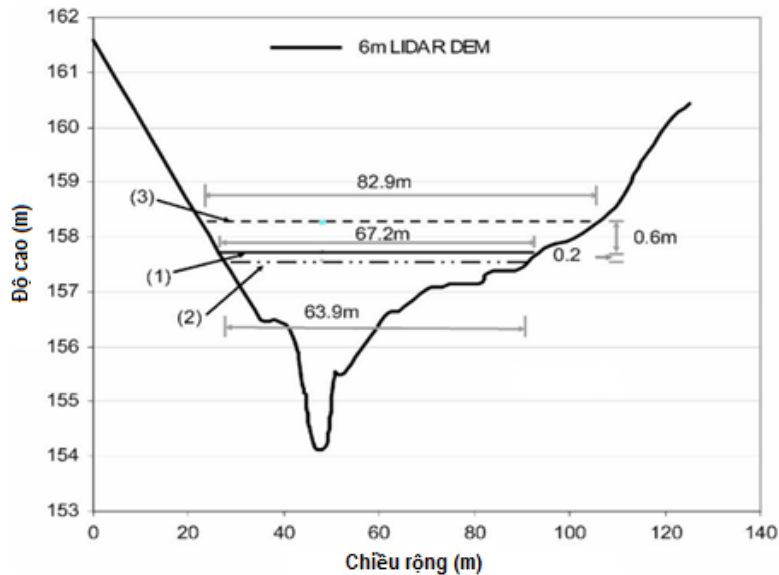
b) Mô hình thủy lực

Tính bất định trong cấu trúc mô hình thủy lực liên quan đến các dữ liệu địa hình (số lượng mặt cắt ngang, khoảng cách giữa các mặt cắt ngang, độ dốc đáy và chất lượng của lưới phân tử hữu hạn, ...) và các thông số mô hình (độ nhám n), và sự biểu diễn của các công trình như cầu, cống, kè, đập, ... thông qua các thông số thiết lập các đối tượng trong mô hình. Bên cạnh các yếu tố này, việc xem xét sự biến đổi của các yếu tố động lực, các đặc trưng thủy lực theo các phương khác nhau cũng cho kết quả không giống nhau. Các mô hình thủy lực được chia thành nhiều loại khác nhau tùy thuộc vào kích thước, khả năng và giả định của chúng trong việc mô hình hóa chuyển động của nước [29–30]. Dựa vào số thành phần của các đặc trưng thủy lực theo các phương được xem xét, các mô hình thủy lực có thể được chia thành ba loại bao gồm: mô hình 1 chiều (1D), 2 chiều (2D) và 3 chiều (3D). Nền tảng của các mô hình này là các phương trình cơ bản của động lực học chất lỏng: phương trình liên tục, phương trình động lượng và phương trình năng lượng. Trên thực tế, phương trình tổng quát Navier-Stokes được áp dụng để giải các dòng chất lỏng phức tạp dưới dạng mô hình thủy lực ba chiều (3D) [31]. Tuy nhiên, mô hình này vẫn còn rất phức tạp để trong sử dụng ở điều kiện thực tế, vì vậy các phương trình Navier-Stokes đã được đơn giản hóa thành dạng phương trình Saint-Venant [32] và được áp dụng để xây dựng các mô hình thủy lực một chiều và hai chiều đơn giản hơn ở mức độ tin cậy nhất định. Các mô hình thủy lực một chiều thường được sử dụng trong mô phỏng dòng chảy trên sông, vì thế việc sử dụng mô hình một chiều trong lập bản đồ ngập lụt là chưa đủ và thường được kết hợp với mô hình hai chiều trong mô phỏng ngập hai bên bờ và trên các bãi tràn. Do đó, tùy thuộc vào việc thiết lập hệ thống trong mô hình thủy lực 1D, chia lưới trong mô hình 2D và liên kết giữa các ô lưới, giữa các mặt cắt và ô lưới, kết quả tính toán mô phỏng mực nước và vùng ngập có thể khác nhau. Tương tự như mô hình 2D, sự phân chia lưới tính toán phù hợp đóng vai trò quan trọng trong các mô hình 3D mô phỏng các khu vực có điều kiện địa hình lòng sông biến đổi phức tạp [33–35].

3.1.3. Tính bất định trong tham số mô hình

Trong các mô hình thủy lực, mức độ cản trở của lòng dẫn đến chuyển động của dòng nước được đặc trưng bởi hệ số nhám Manning (n). Đặc điểm của lòng dẫn biến đổi theo cả

không gian và thời gian. Tuy nhiên, hệ số này thường được xem là hằng số, không biến đổi theo độ sâu mực nước và xác định bằng cách sử dụng các bảng tra cứu tiêu chuẩn cho các loại bề mặt khác nhau (kích thước các hạt vật liệu đáy sông và thảm thực vật). Giá trị của hệ số nhám Manning (n) có thể dao động từ 0,035 đến 0,065 ở sông chính và 0,080 đến 0,150 ở vùng bãi tràn [36]. Hình 4 cho thấy mực nước tại một mặt cắt nhất định ứng với các giá trị n trong mô phỏng thủy lực 1D [20]. Mực nước giảm 0,2 m với giá trị độ nhám thấp nhất và tăng 0,6 m khi sử dụng giá trị độ nhám cao nhất, thay đổi chiều rộng của mặt cắt ướt lên đến 19 m.



Hình 4. Sự thay đổi mực nước tại một mặt cắt khi thay đổi các giá trị độ nhám [20].

3.2. Các nghiên cứu về độ bất định trong mô phỏng ngập lụt trên thế giới và ở Việt Nam

3.2.1. Các nghiên cứu trên thế giới

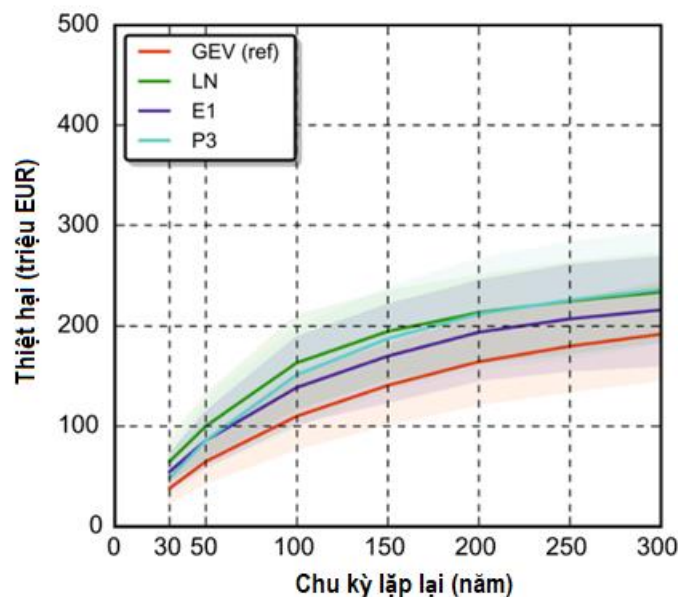
Đã có rất nhiều nghiên cứu trên thế giới đánh giá độ bất định trong mô phỏng thủy văn nói chung và thủy văn đô thị nói riêng. Các nghiên cứu có thể được chia thành 2 nhóm: (i) xem xét tổ hợp các yếu tố cấu thành nên tính bất định trong kết quả mô phỏng và (ii) xem xét các yếu tố một cách độc lập.

[37] đã xem xét tính bất định từ thông số mô hình và số liệu đầu vào trong mô phỏng dòng chảy trong hệ thống thoát nước. Nghiên cứu đã xem xét xác suất cùng xảy ra của các thông số và số liệu đầu vào. Điều này cho phép ước tính được độ bất định trong kết quả mô phỏng tốt hơn. Tuy nhiên, mức độ ảnh hưởng giữa các yếu tố đến độ bất định trong kết quả mô phỏng không được xác định. Ngoài ra, nghiên cứu này chỉ đánh ra cho lưu lượng tại cửa ra hệ thống thoát nước mà chưa xác định được mức độ ảnh hưởng đến sai số trong mô phỏng ngập lụt. Trong khi đó, [38] đã xem xét tính bất định từ 3 yếu tố bao gồm số liệu đầu vào, thông số mô hình và cấu trúc mô hình. Tuy nhiên, phạm vi hay giá trị của các yếu tố được xem xét trong nghiên cứu này còn khá hạn chế. Cụ thể, DEM thô và DEM sau xử lý, bộ giá trị của thông số mô hình trước và sau khi hiệu chỉnh, mô hình 1D/2D và 2D được sử dụng trong nghiên cứu này. Hay nói cách khác, mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào, thông số và cấu trúc mô hình được xác định thông qua so sánh giữa kết quả của 8 mô phỏng. Vì vậy, kết quả đánh giá có thể chưa phản ánh chính xác mức độ đóng góp của từng yếu tố.

Nghiên cứu [39] đã có những phân tích hệ thống về tính bất định của mô hình ngập lụt 2D với hai thử nghiệm khác nhau với các đặc tính thủy động lực học tương phản: Thử nghiệm Glasgow với hiện tượng tràn cống (*culvert overtopping event*) dẫn đến lũ nhanh trên bề mặt (< 1 giờ) ở vùng Greenfield và thử nghiệm Mexborough với sự kiện lũ tràn trên sông xảy ra ở Mexborough, nam Yorkshire vào tháng 7 năm 2007. Các yếu tố ảnh hưởng đến mô hình

được lựa chọn trong phân tích bao gồm: cấu trúc mô hình, kích thước ô lưới, đầu vào thủy văn, độ nhám, lỗi ngẫu nhiên trong mô hình độ cao kỹ thuật số DEM và các phương pháp tiếp cận để biểu diễn dòng chảy qua các toà nhà. Đối với mỗi đầu vào, một giá trị lớn nhất và nhỏ nhất sẽ được lựa chọn và được chia thành các giá trị rời rạc, giới hạn trên và dưới này sẽ mặc nhiên giả định phạm vi của các giá trị trong một phân phối đồng nhất. Nghiên cứu đã sử dụng bốn mô-đun bao gồm: ATS, ACC, Roe và Rusanov với độ phức tạp khác nhau trong mô hình thủy lực LISFLOOD-FP để đánh giá độ bất định trong cấu trúc mô hình. Kết quả cho thấy độ ảnh hưởng khác nhau của từng tham số đầu vào đến độ bất định của mô hình là đáng kể trong chế độ dòng chảy phức tạp nhưng sẽ giảm đi trong các sự kiện lũ điển hình. Hình 5 minh họa cho ảnh hưởng từng yếu tố đầu vào so sánh với giá trị trung bình $F(2)$ trên mỗi cấp độ của mỗi yếu tố với các cấp độ khác của các yếu tố khác đối với trường hợp kiểm tra Glasgow (trong đó $F(2)$ là giá trị trên trục y của tất cả các biểu đồ và trục x trong mỗi cột là các giới hạn cho tham số được đặt tên). Phương pháp đánh giá kết quả đầu ra của mô hình cũng được coi là quan trọng trong việc xác định ảnh hưởng tổng thể của các tham số.

Phần lớn các nghiên cứu xem xét các yếu tố cấu thành nên tính bất định trong kết quả mô phỏng một cách độc lập tập trung vào thông số mô hình như [40–42]. Muleta và cs đã sử dụng phương pháp Bayesian trong xác định độ bất định của các thông số mô hình thoát nước đô thị SWMM5 cho một khu vực đô thị thuộc lưu vực Los Angeles, California, Hoa Kỳ [40]. Kết quả cho thấy, ảnh hưởng của độ bất định trong các thông số mô hình tới kết quả mô phỏng là không đáng kể so với sai số trong số liệu đầu vào và cấu trúc mô hình. Trong một nghiên cứu khác, Pang và cs đã áp dụng phương pháp GLUE-TOPSIS (*Generalized Likelihood Uncertainty Estimation-Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) với 4 đặc trưng là hệ số NSE, độ lệch thể tích VB, độ lệch đỉnh VP và hệ số tương quan R cho mô phỏng hệ thống thoát nước đô thị trên mô hình SWMM cho lưu vực Dahongmen, Bắc Kinh, Trung Quốc [41]. Nghiên cứu đã chỉ ra GLUE-TOPSIS cho phép xác định khoảng giá trị của mô phỏng chính xác và độ bất định của thông số mô hình đóng vai trò quan trọng trong kết quả mô phỏng dòng chảy với 90% số điểm thực đo nằm trong dải giá trị. Để đánh giá ảnh hưởng của các hàm phân phối khác nhau đến kết quả mô hình rủi ro do lũ lụt gây ra, Winter và cs đã sử dụng bốn hàm phân phối bao gồm: Gumbel hai tham số (E1), Lognormal (LN) và phân phối Pearson III (P3) ba tham số và Giá trị cực đại tổng quát (*GEV- Generalised Extreme Value*) [43]. Hình 5 cho thấy việc sử dụng các hàm phân phối khác nhau cũng ảnh hưởng đến độ không đảm bảo của kết quả mô hình ứng với tần suất thiết kế khác nhau.



Hình 5. Ảnh hưởng của các hàm phân phối đến mô đun rủi ro (Hazard module) [43].

Trong một hướng dẫn về tính dòng chảy thiết kế ở Hoa Kỳ, tiểu ban thủy văn của Ủy ban Cố vấn Liên ngành về Dữ liệu Nước (IACWD [44]) đã khuyến nghị sử dụng phân phối xác suất Log-Person III để ước tính các tham số phân phối. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây, [45–46] đã chỉ ra rằng các kỹ thuật mới kết hợp thông tin lũ lịch sử có thể cung cấp các giá trị dòng chảy cao hơn đối với các tần suất nhất định so với các giá trị thu được bằng áp dụng phương pháp Log-Person III. Vì vậy, việc lựa chọn kỹ thuật được sử dụng để ước tính các tham số của phân phối Log-Person III sẽ làm tăng thêm độ không đảm bảo cho các giá trị dòng chảy được tính toán.

Để xác định độ bất định từ việc chọn mẫu và chiều dài của mẫu, [47] đã sử dụng phương pháp lấy mẫu bootstrap để xác định giá trị trung bình và sai số chuẩn của các thông số của hàm phân phối mật độ xác suất đã chọn. Nghiên cứu được thực hiện cho lưu vực sông Langat ở Malaysia. Kết quả cho thấy, việc lựa chọn mẫu và chiều dài chuỗi số liệu có ảnh hưởng lớn đến giá trị của cường độ mưa thời đoạn ngắn và chu kỳ lặp lại dài. Hay trong một nghiên cứu khác, [48] đã chia miền tính toán của lưu vực hồ Malpasset (Pháp) thành lưới vuông với kích thước 40 m và 30 m để diễn toán lũ. Sau khi tiến hành mô phỏng, mô hình với kích thước ô lưới lớn hơn cho kết quả tốt nhất mô hình với kích thước ô lưới nhỏ hơn.

Pappenberger và cs đã nghiên cứu ảnh hưởng của hệ số nhám Manning n đến kết quả của các thành phần dòng chảy của mô hình một chiều HEC-RAS sử dụng phương pháp GLUE (*generalised likelihood uncertainty estimation*) [49]. Mô hình được chạy với hệ số nhám thay đổi trong phạm vi từ 0,001-0,9, kết quả được so sánh với dữ liệu ngập lụt và dòng chảy trên sông. Kết quả mô phỏng cho thấy, nhiều bộ giá trị thông số khác nhau cùng cho kết quả tốt tương tự nhau. Tuy nhiên, điều này còn phụ thuộc vào khu vực mô phỏng và điều kiện biên.. Nghiên cứu cũng nhấn mạnh sự cần thiết phải phân biệt giữa thông số nhậy và ý nghĩa vật lý của các thông số. Kết quả của phân tích này có thể được sử dụng để tạo ra các bản đồ xác suất động (*dynamic probability maps of flooding*) trong một trận lũ.

[50] cũng đã phân tích độ bất định của mô hình thủy lực hai chiều sử dụng phương pháp ước lượng điểm (*the point estimate method - PEM*). PEM là phương pháp ước tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của một hàm phân phối xác suất của tổng thể bằng cách sử dụng các mô men thống kê của các biến đầu vào ngẫu nhiên. Nghiên cứu đã xem xét độ không đảm bảo của ba biến đầu vào chính bao gồm: tốc độ dòng chảy, thông số Manning và địa hình. Mô hình thủy lực 2D và H2D2 được sử dụng để giải các phương trình nước nông, ứng dụng trong phạm vi 46 km của sông Richelieu, Canada. Kết quả nghiên cứu cho thấy độ lệch chuẩn của độ sâu nước trung bình là < 27 cm đối với các lưu lượng dòng chảy được xem xét là 759, 824, 936, 1113 m³/s. Độ lệch chuẩn cao hơn thu được ở thượng nguồn sông Richelieu gần bãi cạn. Các kết quả cũng cho thấy rằng phương pháp PEM có thể được áp dụng với mô hình H2D2 để thực hiện phân tích độ bất định đối với các biến đầu vào.

3.2.2. Các nghiên cứu ở Việt Nam

Các nghiên cứu về độ bất định trong mô phỏng thủy văn cho các lưu vực ở Việt Nam còn ít và xem xét các yếu tố một cách độc lập. Năm 2015, [51] đã công bố kết quả nghiên cứu về đánh giá ảnh của độ bất định trong thông số mô hình đến kết quả mô phỏng dòng chảy tại cửa ra của lưu vực sông Sêrêpôk. Tác giả đã áp dụng 4 phương pháp khác nhau bao gồm GLUE, ParaSol, PSO, and SUFI-2 để đánh giá độ bất định trong các thông số trong mô đun thủy văn của mô hình SWAT. Sau khi tiến hành phân tích kết quả, tác giả đã kết luận (i) SUFI-2 có khả năng đưa ra dải giá trị với số lượng mô phỏng là ít nhất và (ii) với phần lớn các giá trị lưu lượng thực đo nằm trong dải giá trị, độ bất định trong thông số mô hình có ảnh hưởng lớn tới kết quả mô phỏng dòng chảy. Đến năm 2018, [52] đã đánh giá ảnh hưởng của độ bất định các thông số mô hình đến kết quả mô phỏng dòng chảy của mô hình HEC-HMS. Nghiên cứu được tiến hành cho lưu vực sông Ba và sử dụng phương pháp Bayesian và GLUE. Cả hai phương pháp đều cho phép xác định được giá trị thông số có khả năng xảy ra cao nhất và phân phối của thông số. Phương pháp Bayesian cho phép xác định các phân vị lưu lượng

tốt hơn. Bên cạnh hai nghiên cứu về độ bất định từ thông số mô hình, tác giả [53] đã có một nghiên cứu về độ bất định của cấu trúc mô hình đến xây dựng bản đồ ngập lụt cho lưu vực sông Vu Gia-Thu Bồn. Trong nghiên cứu, tác giả đã thực hiện mô phỏng trên 4 mô hình bao gồm 1D, 2D, giả 2D và kết hợp 1D/2D. Kết quả mô phỏng cho thấy sự khác biệt đáng kể giữa diện tích ngập lụt và thời gian thực hiện mô phỏng. Trong trường hợp thiếu số liệu như số liệu địa hình thì việc sử dụng mô hình kết hợp 1D/2D cho kết quả tốt nhất. [54] đánh giá sự phụ thuộc của kết quả diễn toán lũ trong tình huống vỡ đập vào kích thước ô lưới thông qua việc tiến hành mô phỏng thủy lực với 4 trường hợp ứng với các kích thước ô lưới khác nhau (30, 40, 50 và 90 m). Nghiên cứu được thực hiện cho đập Nam Chiến, tỉnh Sơn La. Kết quả nghiên cứu cho thấy, kích thước ô lưới càng nhỏ thì thời gian truyền sóng càng lớn, sóng vỡ đập lan truyền đi càng chậm.

4. Kết luận

Bản đồ ngập lụt là một công cụ thiết yếu trong quy hoạch và phát triển đô thị nói chung và quản lý ngập lụt đô thị nói riêng. Bản đồ ngập lụt được xây dựng bằng 4 phương pháp: thống kê, điều tra vết lũ các trận lũ lịch sử, sử dụng bản đồ địa hình địa mạo, ảnh sử dụng ảnh vệ tinh và mô phỏng bằng các mô hình toán sử dụng công cụ mô phỏng. Trong đó, phương pháp mô phỏng cho phép đưa ra bản đồ ngập lụt với các giá định hay kích bản tính toán khác nhau và được sử dụng phổ biến nhất. Khu vực nghiên cứu được mô hình hóa bằng các mô hình thủy văn, thủy lực. Trong quá trình tiến hành mô phỏng, sai số trong số liệu đầu vào, lựa chọn mô hình, hiệu chỉnh thông số của mô hình và sai số của số liệu thực đo dùng để hiệu chỉnh thông số mô hình có thể dẫn đến sai số trong kết quả đầu ra, cụ thể là bản đồ ngập lụt. Vì vậy việc đưa ra giải giá trị hay đánh giá độ bất định trong kết quả tính toán là rất cần thiết. Các nghiên cứu cho thấy mức độ ảnh hưởng hay đóng góp của độ bất định trong số liệu đầu vào, thông số, cấu trúc mô hình trong sai số mô phỏng là không giống nhau giữa các nghiên cứu cho các khu vực khác nhau. Bên cạnh đó, các nghiên cứu mới chủ yếu dừng ở đánh giá kết quả mô phỏng lưu lượng mà chưa xem xét đến đầu ra cuối cùng của các bài toán mô phỏng lũ là bản đồ ngập lụt. Ngoài ra, các nghiên cứu về độ bất định trong số liệu đầu vào đến bản đồ ngập lụt nói chung và ngập lụt đô thị nói riêng ở cả Việt Nam và trên thế giới chưa được thực hiện. Trong khi đó, các bản đồ hiểm họa ngập lụt đô thị ứng với các tần suất khác nhau được xây dựng từ mưa tần suất bao gồm các yếu tố bất định trong số liệu đo đạc của mưa thời đoạn ngắn, lựa chọn hàm mật độ phân phối xác suất của chuỗi mưa thời đoạn ngắn, lựa chọn dạng phương trình đường cong IDF và dạng đường quá trình mưa. Do đó, độ bất định trong xác định mô hình mưa tần suất cần được nghiên cứu và đánh giá mức độ ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng ngập lụt, cụ thể là bản đồ ngập lụt (gồm diện tích và độ sâu ngập).

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.T., N.T.T.; Xử lý số liệu: T.T.T., P.T.M.L.; Viết bản thảo bài báo: T.T.T., Chính sửa bài báo: N.T.T.

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

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Kịch bản biến đổi khí hậu. Nhà xuất bản Tài nguyên – môi trường và bản đồ Việt Nam. 2021.
2. Getahun, Y.S.; Gebre, Y.S. Flood Hazard Assessment and Mapping of Flood Inundation Area of the Awash River Basin in Ethiopia using GIS and HEC-GeoRAS/HEC-RAS Model. *J. Civil Environ. Eng.* **2015**, 5(04), 1–12.
3. Châu, T.K.; Lan, P.T.H. Ứng dụng mô hình thủy lực 1 & 2 chiều kết hợp xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu hồ chứa Suối Mỡ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2017**, 676, 37–46.

4. Ngọc, N.B.; Ngữ, N.H.; Đức, T.T.; Quý, L.N.P. Sử dụng ảnh viễn thám giám sát lũ và đánh giá thiệt hại đến đất nông nghiệp tại huyện Quảng Điền, tỉnh Thừa Thiên Huế. *Tap chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ* **2019**, 55(2), 154–163.
5. White, D.C.; Lewis, M.M. A new approach to monitoring spatial distribution and dynamics of wetlands and associated flows of Australian Great Artesian Basin springs using QuickBird satellite imagery. *J. Hydrol.* **2011**, 408, 140–152.
6. Zhao, B.; Yan, Y.; Guo, H.; He, M.; Gu, Y.; Li, B. Monitoring rapid vegetation succession in estuarine wetland using time series MODIS-based indicators: An application in the Yangtze River Delta area. *Ecol. Indic.* **2009**, 9(2), 346–356.
7. Toàn, N.T.; Châu, T.K.; Tâm, D.T.; Linh, N.H. Ứng dụng công nghệ viễn thám xây dựng bản đồ ngập lụt cho khu vực sông Bùi trong trận lũ lịch sử 2018. *Tap chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2019**, 66, 81–87.
8. Luân, N.T.; Hùng, N.T.; Cường, V.Đ.; Huyền, N.T.; Sơn, P.Q. Nghiên cứu thành lập bản đồ ngập lụt từ ảnh viễn thám Radar áp dụng cho hạ lưu vực sông Trà Khúc, sông Vệ, tỉnh Quảng Ngãi. *Tap chí Khoa học Và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, 39, 1–8.
9. Moel, H.D. Uncertainty in Flood Risk. PhD Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam, 2012.
10. Walker, W.; Rotmans, J.; Janssen, P. Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integr. Assess.* **2003**, 4, 4–17.
11. Mandal, S.; Choudhury, B.U. Estimation and prediction of maximum daily rainfall at Sagar Island using best fit probability models. *Theor. Appl. Climatol.* **2015**, 121, 87–97.
12. Kumar, A. Prediction of annual maximum daily rainfall of Ranichauri (Tehri Garhwal) based on probability analysis. *Indian J. Soil Conserv.* **2000**, 28, 178–180.
13. Amin, M.T.; Izwan, M.; Alazba, A.A. A best-fit probability distribution for the estimation of rainfall in northern regions of Pakistan. *Open Life Sci.* **2016**, 11(1), 432–440.
14. Eslamian, S.S.; Feizi, H. Maximum monthly rainfall analysis using L-moments for an arid region in Isfahan Province, Iran. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* **2007**, 46(4), 494–503.
15. Bhakar, S. Probability analysis of rainfall at Kota. *Indian J. Agric. Res.* **2008**, 42(3), 201–206.
16. Şen, Z.; Eljadid, A.G. Distribution statistique et prédétermination des pluies mensuelles en Libye. *Hydrol. Sci. J.* **1999**, 44(5), 665–680.
17. Hancock, G.R. The use of digital elevation models in the identification and characterization of catchments over different grid scales. *Hydrol. Processes* **2005**, 19(9), 1727–174.
18. Marks, K.; Bates, P. Integration of high-resolution topographic data with floodplain flow models. *Hydrol. Processes* **2000**, 14, 2109–2122.
19. Tate, E.C.; Maidment, D.R.; Olivera, F.; Anderson, D.J. Creating a Terrain Model for Floodplain Mapping. *J. Hydrol. Eng.* **2002**, 7, 100–108.
20. Merwade, V.; Olivera, F.; Arabi, M.; Edleman, S. Uncertainty in Flood Inundation Mapping: Current Issues and Future Directions. *J. Hydrol. Eng.* **2008**, 13(7), 608–620.
21. Yilmaz, M.; Usul, N.; Akyurek, Z. Modeling the Propagation of DEM Uncertainty in Flood Inundation. Proceeding of the 24th Annual ESRI International User Conference, San Diego, 2004.
22. Philip, G.M.; Watson, D.F. A precise method for determining contoured surfaces, Aust. *Pet. Explor. Assoc. J.* **1982**, 22, 205–212.
23. Dierckx, P. Curve and surface fitting with splines. 1995.
24. Isaaks, E.H.; Sirivastava, R.M. Applied geostatistics. New York, Oxford University Press, 1989, pp. 561.
25. Merwade, V.M.; Maidment, D.R.; Goff, J.A. Anisotropic considerations while interpolating river channel bathymetry. *J. Hydrol.* **2006**, 331(3–4), 731–741.
26. Tarboton, D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resour. Res.* **1997**, 33(2), 309–319.

27. Warren, S.D.; Hohmann, M.G.; Auerswald, K.; Mitasova, H. An evaluation of methods to determine slope using digital elevation data. *Catena* **2004**, 58(3), 215–233.
28. Singh, V.P. Effect of spatial and temporal variability in rainfall and watershed characteristics on streamflow hydrograph. *Hydrol. Process.* **1997**, 11, 1649–1669.
29. Hunter, N.M.; Bates, P.D.; Horritt, M.S.; Wilson, M.D. Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review. *Geomorphology* **2007**, 90(3–4), 208–225.
30. Wurbs, R.A. Computer Models for Water-Resources Planning and Management: National Study of Water Management. 1994.
31. Bates, P.D.; De Roo, A.P.J. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *J. Hydrol.* **2000**, 236(1–2), 54–77.
32. Morales-Hernández, M.; García-Navarro, P.; Burguete, J.; Brufau, P. A conservative strategy to couple 1D and 2D models for shallow water flow simulation. *Computers Fluids.* **2013**, 81, 26–44.
33. Crowder, D.W.; Diplas, P. Using two-dimensional hydrodynamic models at scales of ecological importance. *J. Hydrol.* **2000**, 230, 172–191.
34. Aronica, G.; Hankin, B.; Beven, K. Uncertainty and equifinality in calibrating distributed roughness coefficients in a flood propagation model with limited data. *Adv. Water Resour.* **1998**, 22(4), 349–365.
35. French, J.R.; Clifford, N.J. Hydrodynamic modelling as a basis for explaining estuarine environmental dynamics: Some computational and methodological issues, *Hydrol. Processes* **2000**, 14(11–12), 2089–2108.
36. Chow, V.Te.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. Applied hydrology. 1988.
37. Del Giudice, D.; Honti, M.; Scheidegger, A.; Albert, C.; Reichert, P.; Rieckermann, J. Improving uncertainty estimation in urban hydrological modeling by statistically describing bias. *HESS.* **2013**, 10(7), 4209–4225.
38. Reinstaller, S.; Krebs, G.; Pichler, M. Identification of High-Impact Uncertainty Sources for Urban Flood Models in Hillside Peri-Urban Catchments. *Water* **2022**, 14(12), 1–25.
39. Willis, T.; Wright, N.; Sleigh, A. Systematic Analysis of Uncertainty in 2D Flood Inundation Models. *Environ. Model. Softw.* **2019**, 122, 104520.
40. Muleta, M.K.; McMillan, J.; Amenu, G.G.; Burian, S.J. Bayesian Approach for Uncertainty Analysis of an Urban Storm Water Model and Its Application to a Heavily Urbanized Watershed. *J. Hydrol. Eng.* **2009**, 18(10), 1992.
41. Pang, B.; Shi, S.; Zhao, G.; Shi, R.; Peng, D.; Zhu, Z. Uncertainty assessment of urban hydrological modelling from a multiple objective perspective. *Water* **2020**, 12(5), 1393.
42. Kobarfard, M.; Fazloulou, R.; Zarghami, M.; Akbarpour, A. Evaluating the uncertainty of urban flood model using glue approach. *Urban Water J.* **2022**, 19(6), 600–615.
43. Winter, B.; Schneeberger, K.; Huttenlau, M.; Stötter, J. Sources of uncertainty in a probabilistic flood risk model. *Nat. Hazards* **2018**, 91(2), 431–446.
44. I.A.C. on Waster Data (IACWD). Guidelines for determining flood flow frequency, Bulletin 17B of the Hydrology Subcommittee. 1982.
45. England, J.F.; Salas, J.D.; Jarrett, R.D. Comparisons of two moments-based estimators that utilize historical and paleoflood data for the log Pearson type III distribution. *Water Resour. Res.* **2003**, 39(9), 1243.
46. Griffi, V.W.; Stedinger, J.R. Evolution of Flood Frequency Analysis with Bulletin 17. *J. Hydroinf.* **2007**, 12, 283–297.
47. Huang, Y.F.; Mirzaei, M.; Amin, M.Z.M. Uncertainty Quantification in Rainfall Intensity Duration Frequency Curves based on Historical Extreme Precipitation Quantiles. *Procedia Eng.* **2016**, 154, 426–432.
48. Wang, Y. Numerical Improvements for Large-Scale Flood Simulation. PhD thesis, 2011.
49. Pappenberger, F.; Beven, K.; Horrit, M.; Blazkova, S. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *J. Hydrol.* **2005**, 302(1–4), 46–69.

50. Oubennaceur, K.; Chokmani, K.; Nastev, M.; Tanguy, M.; Raymond, S. Uncertainty Analysis of a Two-Dimensional Hydraulic Model. *Water* **2018**, 10(3), 272.
51. Khoi, D.N.; Thom, V.T. Parameter uncertainty analysis for simulating streamflow in a river catchment of Vietnam. *Glob. Ecol. Conserv.* **2015**, 4, 538–548.
52. Phuong, C.T.; Ball, J.E.; Hung, D.N. Uncertainty estimation using the Glue and Bayesian approaches in flood estimation: A case study - Ba river, Vietnam. *Water J.* **2018**, 10(11), 1641.
53. Duong, V.N.; Gourbesville, P. Model Uncertainty in Flood Modelling. Case Study at Vu Gia Thu Bon Catchment – Vietnam. *Procedia Eng.* **2016**, 154, 450–458.
54. Hùng, L.T. Nghiên cứu sự lan truyền sóng lũ tới hạ lưu công trình trong tình huống vỡ đập vòm Nậm Chiến bằng mô hình toán. *Tap chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2017**, 38, 1–8.

Uncertainty in model-based flood hazard mapping: A review

Tran Thi Tuyet¹, Nguyen Thanh Thuy^{2*}

¹ Institute for Hydro Power and Renewable Energy; trantuyettl96@gmail.com

²Thuyloi University; thanhthuy_rt@tlu.edu.vn

Abstract: Flood is a natural disaster that occurs commonly in the world and in Vietnam with significant loss of life and property. Flood maps are considered an effective tool in flood risk management and are developed with different methods. In which, flood maps corresponding to different rainstorm events or construction incidents are often derived by mathematical models. The study has collected, synthesized and analyzed domestic and foreign researches on flood mapping in general and taking into account uncertainty in particular. All researches have shown that it is necessary to consider or evaluate the uncertainty in the calculated results. However, uncertainties in the model-based flood maps are mainly mentioned in foreign studies while domestic studies almost do not mention it. Current researches have not evaluated the influence of uncertainty in the designed rainstorm on the flood maps.

Keywords: Flood hazard map; Inundation map; Uncertainty; Hydrology, Hydraulic model; Designed rainstorm.