

Bài báo khoa học

Ứng dụng mưa dự báo từ mô hình WRF3KM-IFS-DA nâng cao hiệu quả dự báo cảnh báo ngập lụt đô thị

Lê Thị Huệ^{1*}, Đào Tiến Đạt¹, Đinh Thị Hương Thơm¹, Phạm Thị Diệu Thúy¹, Nguyễn Thu Lan¹, Đỗ Thị Ngọc Hoa¹, Vũ Thị Thanh Huyền¹

¹Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ;
minhhuekttv@gmail.com; daodat81@gmail.com; thomdth91@gmail.com;
phamdieuthuykttv@gmail.com; nguyenlandbbb@gmail.com; ngochoaktv@gmail.com;
vthuyen1999@gmail.com

*Tác giả liên hệ: minhhuekttv@gmail.com; Tel: +84-934537242

Ban Biên tập nhận bài: 12/3/2024; Ngày phản biện xong: 10/4/2024; Ngày đăng bài: 25/7/2024

Tóm tắt: Các mô hình dự báo thời tiết số (NWP) ngày càng được sử dụng nhiều hơn để dự báo các hiện tượng mưa lớn. Tuy nhiên các nghiên cứu ứng dụng dự báo lượng mưa có độ phân giải cao từ mô hình NWP trong thủy văn còn hạn chế. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng mưa dự báo từ mô hình số khí tượng WRF3KM-IFS-DA để nâng cao hiệu quả dự báo, cảnh báo ngập lụt đô thị. Nghiên cứu đã tiến hành hiệu chỉnh, kiểm định mô hình MIKE URBAN để đưa ra được bộ thông số tối ưu sau đó thử nghiệm mô phỏng ngập úng tại thành phố Thái Bình cho một trận mưa cụ thể với biên mưa đầu vào được lấy từ mô hình WRF3KM-IFS-DA theo 3 kịch bản: (1) mưa thực đo tại trạm khí tượng Thái Bình; (2) mưa dự báo với thời hạn dự báo trước 6 giờ; (3) mưa dự báo với thời hạn dự báo trước 24 giờ. Sau đó đánh giá mức độ ngập lụt mô phỏng với ngập lụt thực tế xảy ra.

Từ khóa: Mô hình MIKE URBAN; Hiệu chỉnh, kiểm định; Ngập lụt đô thị; TP. Thái Bình.

1. Đặt vấn đề

Các sản phẩm dự báo mưa từ các hệ thống mô hình dự báo số trị toàn cầu như mô hình IFS của ECMWF và các mô hình khu vực như WRF của Trung tâm Dự báo KTTV quốc gia liên tục được cải tiến cả về chất lượng và độ phân giải [1]. Đây là nguồn số liệu cần thiết làm đầu vào cho hệ thống mô hình thủy văn nói chung và mô hình cảnh báo ngập lụt đô thị nói riêng. Đây cũng là cơ sở khoa học quan trọng để triển khai thử nghiệm các công nghệ dự báo cảnh báo ngập lụt thời gian thực với khả năng cung cấp các bản tin cảnh báo trước 6-24h.

Từ những năm 1960, trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về ngập lụt và đã có những thành tựu đáng kể. Lúc đầu chỉ đo vẽ, phân loại và xây dựng bản đồ địa hình, địa mạo rồi đánh giá mức độ ảnh hưởng của lũ lụt, bao gồm cả tình trạng ngập lụt [2]. Cảnh báo ngập úng, lũ lụt cũng ngày càng phát triển theo hướng đa phương pháp như: địa chất, địa mạo và các mô hình mô thủy văn thủy lực kết hợp với công nghệ viễn thám, GIS và hệ thống siêu máy tính tốc độ cao. Một số mô hình mô phỏng ngập lụt đô thị có thể kể đến như: Mô hình quản lý nước mưa (SWMM) [3–5]; mô hình InfoWorks ICM (quản lý lưu vực tích hợp) [6, 7]; hệ thống mô hình hóa (HEC-HMS) và hệ thống phân tích sông (HEC-RAS) [8] và đặc biệt là mô hình MIKE FLOOD [9]; ... Các mô hình này mô phỏng các quá trình chảy tràn và tràn bề mặt. Một số nghiên cứu đã ứng dụng mô hình MIKE FLOOD, MIKE MOUSE để kiểm soát thời gian thực vào hệ thống thoát nước đô thị để giảm vấn đề lũ lụt [10, 11], hay kết hợp mô hình mô phỏng ngập lụt với thông tin lượng mưa theo thời gian thực để cung cấp

các hệ thống hỗ trợ và cảnh báo nhằm đối phó với lũ lụt đô thị [12]. Kết hợp mô hình dự báo thời tiết số (NWP) độ phân giải cao với mô hình ngập lụt MIKE URBAN để kéo dài thời gian thực hiện dự báo ngập [13, 14]. Có thể nhận thấy trên giới hiện nay đã và đang xây dựng được nhiều hệ thống cảnh báo ngập úng đô thị theo thời gian thực. Hệ thống cảnh báo thường bao gồm việc kết hợp một mô hình dự báo mưa lớn với các mô hình mưa - dòng chảy, các mô hình thủy lực một chiều, hai chiều và các bản đồ số hoá độ cao.

Tại Việt Nam cho đến nay cũng có rất nhiều các nghiên cứu về ngập lụt đô thị được thực hiện như: Đánh giá ngập lụt tỉnh Quảng Ngãi [15] với mục tiêu là đánh giá ảnh hưởng của việc xây dựng đường cao tốc từ Đà Nẵng đến Quảng Ngãi đến việc tiêu thoát lũ trên địa bàn tỉnh Quảng Ngãi; Nghiên cứu [16] đã sử dụng phần mềm SWMM 5.0 mô phỏng thủy văn, thủy lực cho lưu vực để xác định diện tích (hay dung tích) hồ điều hòa điều tiết nước mưa cho một khu đô thị mới giúp tránh quá tải cho hệ thống tiêu, ngập úng hiện hữu khi một khu đô thị mới được xây dựng; Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD thực hiện tính toán kết nối 3 mô hình MIKE 11HD; MIKE 21FM và MIKE URBAN tính toán ngập úng nhằm tìm ra nguyên nhân ngập và giải pháp giảm ngập, phục vụ công tác quy hoạch xây dựng và tiêu thoát nước đô thị [17]; Bộ công cụ gồm mô phỏng quá trình dòng chảy từ mưa (MIKE-NAM); mô phỏng dòng chảy trong sông bằng mô hình thủy lực (MIKE-11HD); mô phỏng ngập lụt (MIKE-FLOOD) hỗ trợ xác định cấp độ rủi ro ngập lụt cho vùng đô thị và đồng bằng trọng điểm của Nghệ An - Hà Tĩnh [18]; Sử dụng mô hình MIKE URBAN mô phỏng và đánh giá ngập úng cho một số đô thị của Việt Nam [19–21]. Ứng dụng công nghệ điện toán đám mây GOOGLE EARTH ENGINE để xử lý chiết tách thông tin diện tích ngập lụt từ dữ liệu ảnh vệ tinh quang học [22],...

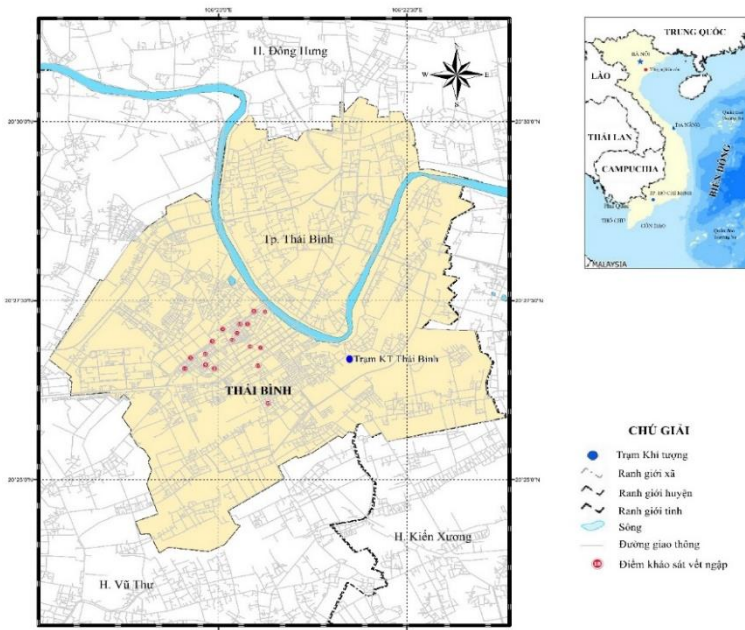
Có rất nhiều nghiên cứu sử dụng mô hình MIKE URBAN để mô phỏng ngập lụt. Các nghiên cứu này cũng đã cho một số kết quả khả quan song chưa tập trung vào dự báo, cảnh báo ngập lụt đô thị và mới chỉ được thực hiện cho một đô thị cụ thể. Chúng ta không thể đưa hệ thống dự báo, cảnh báo ngập từ đô thị này sang đô thị khác mà mỗi đô thị cần thiết lập một hệ thống tích hợp riêng, dựa trên những điều kiện cụ thể của đô thị đó.

Nghiên cứu này tập trung vào các nội dung chính: (1) Giới thiệu về khu vực nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu, mô hình sử dụng và thiết lập mô hình; (2) Trình bày kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình MIKE URBAN; phân tích kết quả ngập úng do mưa từ mô hình WRF-IFS-DA; đưa ra một số thảo luận và đề xuất.

2. Phương pháp nghiên cứu và tài liệu sử dụng

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

Thành phố Thái Bình nằm ở vị trí trung tâm của tỉnh Thái Bình có tọa độ địa lý: 106.3' kinh độ Đông, 20.4' vĩ độ Bắc. Thành phố là trung tâm kinh tế, văn hoá, chính trị... của tỉnh và cũng là một trong các thành phố trọng điểm của vùng Đồng bằng Bắc bộ. Thành phố Thái Bình tiếp giáp với các huyện Kiến Xương, huyện Vũ Thư, huyện Đông Hưng (Hình 1), có 19 đơn vị hành chính bao gồm 9 xã và 10 phường. Tổng dân số

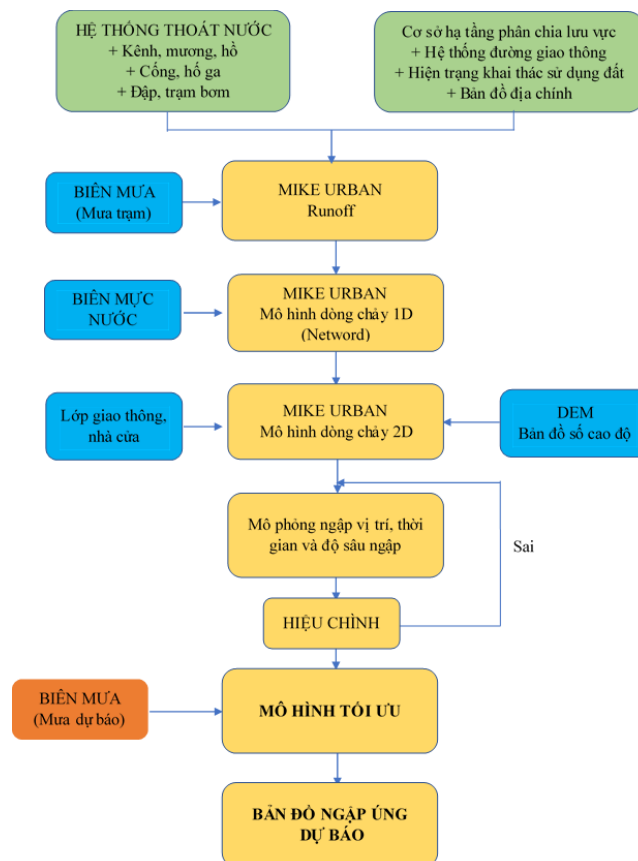


Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

207.407 người, mật độ dân số tương đối cao 3.046 người/km² (năm 2020) [23]. Thái Bình được đặc trưng bởi khí hậu nhiệt đới nóng ẩm gió mùa, chia thành bốn mùa rõ rệt. Nhiệt độ trung bình năm dao động từ 23-25°C. Tổng lượng mưa năm dao động từ 1500-1700 mm và mưa lớn tập trung vào các tháng 7, 8, 9 trong năm. Những năm gần đây, tình trạng ngập úng ở thành phố Thái Bình xảy ra tương đối nghiêm trọng. Tại thời điểm mưa to mực nước các sông Bồ Xuyên, sông Vĩnh Trà tăng cao ảnh hưởng đến việc thoát nước. Đặc biệt, sông 3/2 thoát nước kém do mặt cắt sông bị thu hẹp tại 2 đầu là cống qua đường Lý Thường Kiệt và cống qua đường Ngô Thị Nhậm làm cản trở dòng chảy. Một số vị trí tại đường Lý Bôn, Lê Quý Đôn, Bùi Sỹ Tiêm, Kỳ Đồng, Lê Đại Hành, Hoàng Diệu có cao độ thấp làm cho khu vực này cứ mưa là ngập [24, 25].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

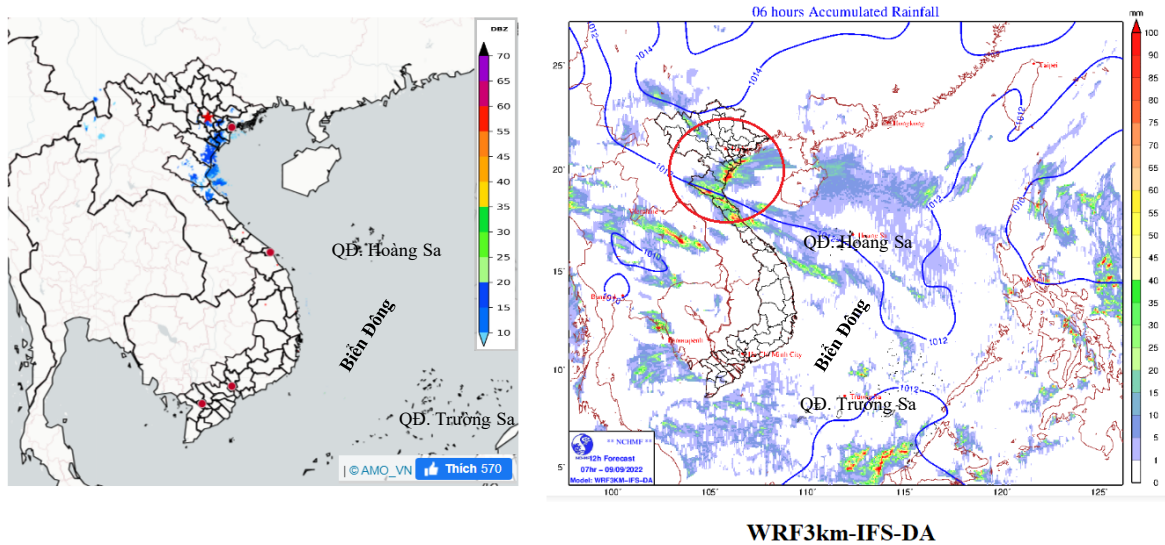
Dữ liệu đầu vào để mô phỏng ngập lụt cho thành phố Thái Bình là mưa dự báo từ mô hình dự báo khí tượng WRF3km-IFS-DA và mưa quan trắc tại trạm khí tượng Thái Bình. Sử dụng mô hình MIKE URBAN để tính toán, xác định diện ngập, độ sâu ngập, thời gian ngập (Hình 2).



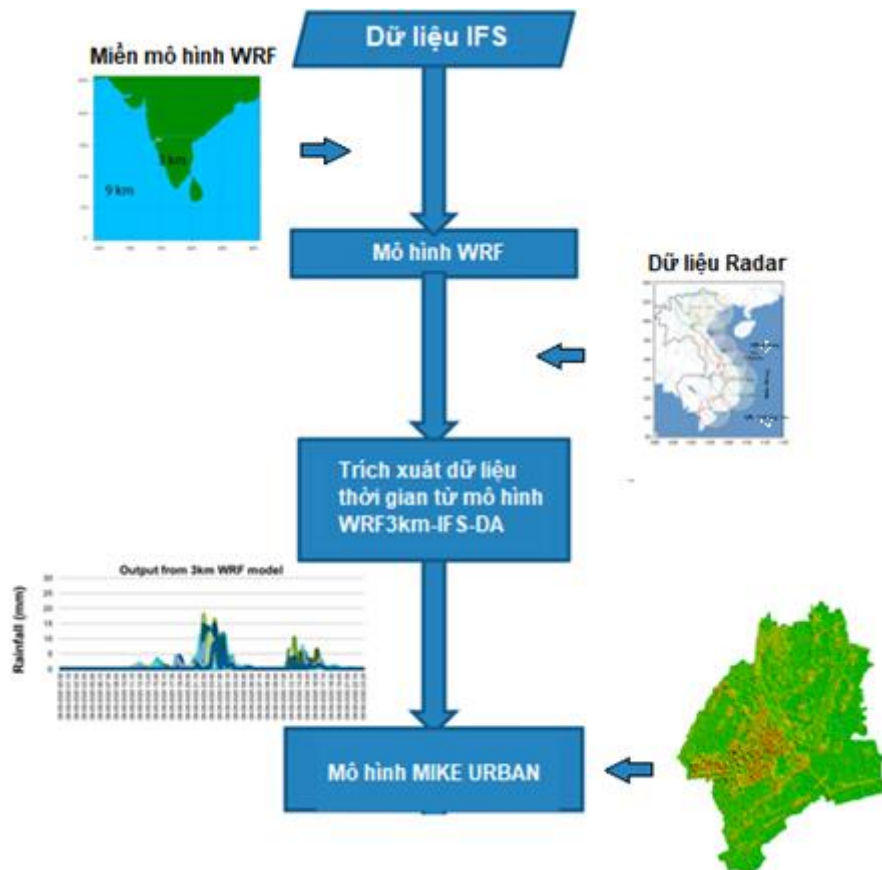
Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

2.2.1. Giới thiệu về mô hình khí tượng WRF3km-IFS-DA

Năm 2019, các sản phẩm của mô hình số khí tượng (NWP) cho dự báo mưa lớn đã được nâng cấp về độ phân giải cao (3 km, miền Đông Nam Á) với 15 điều kiện biên (từ ECMWF) và dự báo tổ hợp khu vực cũng được nâng cấp bằng cách sử dụng mô hình WRF-ARW phân giải cao. Năm 2020, tổng cục KTTV đã áp dụng đồng hóa dữ liệu cho WRF-ARW tại độ phân giải ngang 3 km sử dụng dữ liệu quan trắc từ các trạm khí tượng bề mặt ở Việt Nam [26]. Mô hình WRF3km-IFS-DA là mô hình WRF-ARW của Mỹ với điều kiện biên từ mô hình IFS của Trung tâm dự báo hạn vừa châu Âu có độ phân giải 3 km và áp dụng đồng hóa dữ liệu Radar đang được sử dụng tại Tổng cục KTTV.



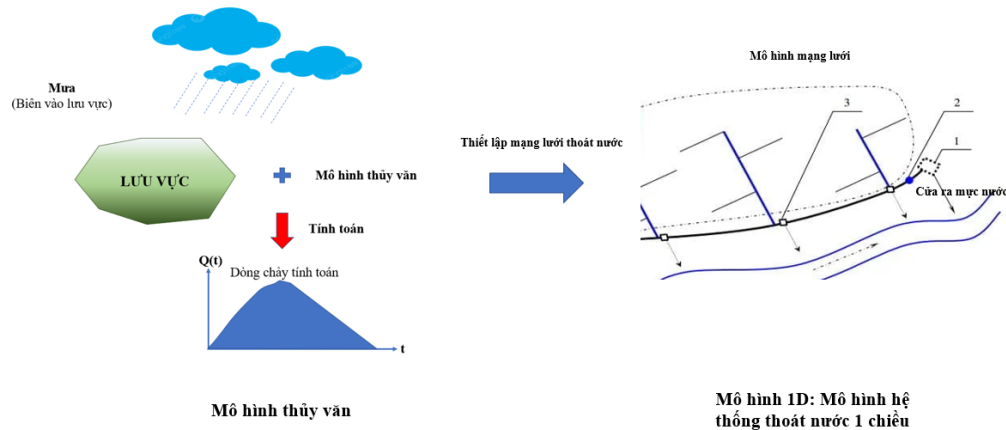
Hình 3. Bản đồ dự báo mưa từ mô hình WRF phân giải 3 km với đầu vào từ mô hình IFS và có sử dụng đồng hóa số liệu ra đa thời tiết [27].



Hình 4. Sơ đồ ghép nối mô hình số khí tượng và mô hình thủy văn.

2.2.2. Giới thiệu mô hình MIKE URBAN

MIKE URBAN là một phần mềm mô hình hóa hệ thống thoát nước đô thị. Mô hình có tính mở, linh hoạt và tích hợp với GIS. Mô hình hiệu quả trong việc mô phỏng thoát nước mưa và thu gom nước thải trong các hệ thống riêng biệt và kết hợp. Mô hình có sự kết hợp giữa mô hình thủy văn với mô hình mô phỏng hệ thống thoát nước 1 chiều (1D) (Hình 5) và mô hình mô phỏng dòng chảy bề mặt 2 chiều (2D) (Hình 6) [28–30].



Hình 5. Kết hợp mô hình thủy văn và mô hình 1 chiều (1D).

Phương trình cơ bản của MIKE URBAN

Phương trình liên tục: Bảo toàn khối lượng.

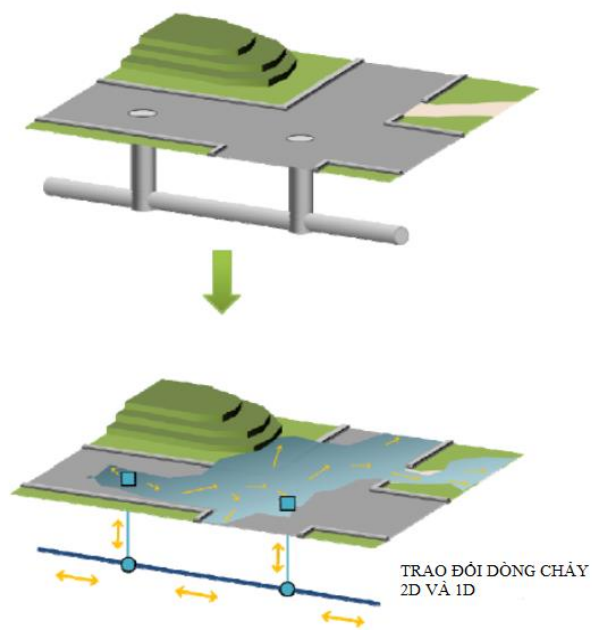
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Phương trình đà: Bảo toàn động lượng.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAI_f = GAI_0 \quad (2)$$

Trong đó Q là lưu lượng xả (m^3/s); A là diện tích dòng chảy (m^2); y là độ sâu dòng chảy (m); g là gia tốc trọng trường (m/s^2); x là khoảng cách theo hướng dòng chảy (m); t là thời gian (s); α là hệ số vận tốc phân phối; I_0 là độ dốc đáy; I_f là độ dốc ma sát.

Mô hình gồm mô hình mưa rào - dòng chảy, mô hình một chiều (1D) mô phỏng dòng chảy hệ thống thoát nước, dòng chảy bề mặt được tính bằng cách giải phương trình Saint-Venant cho dòng chảy 2 chiều, mô hình 2 chiều (2D) mô phỏng chính xác địa hình bề mặt đô thị, gồm nhà cửa, ao hồ, các công trình khác... Mô hình mạng lưới thoát nước kết hợp với mạng đường phố 1D-1D, mô hình mạng lưới thoát nước kết hợp với bề mặt đô thị 1D-2D. Sau đó dự báo ngập lụt đô thị dựa trên các kịch bản thực nghiệm với biên mưa được lấy từ mưa dự báo.

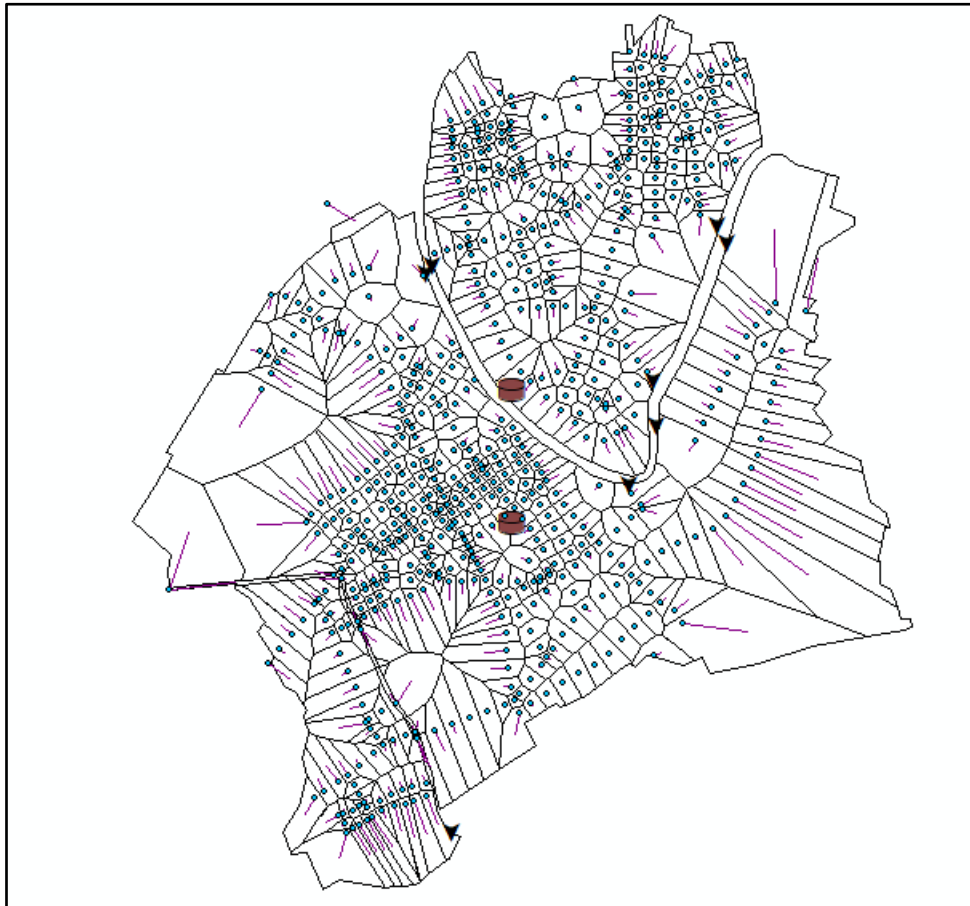


Hình 6. Sơ đồ kết hợp mô hình 1D và 2D.

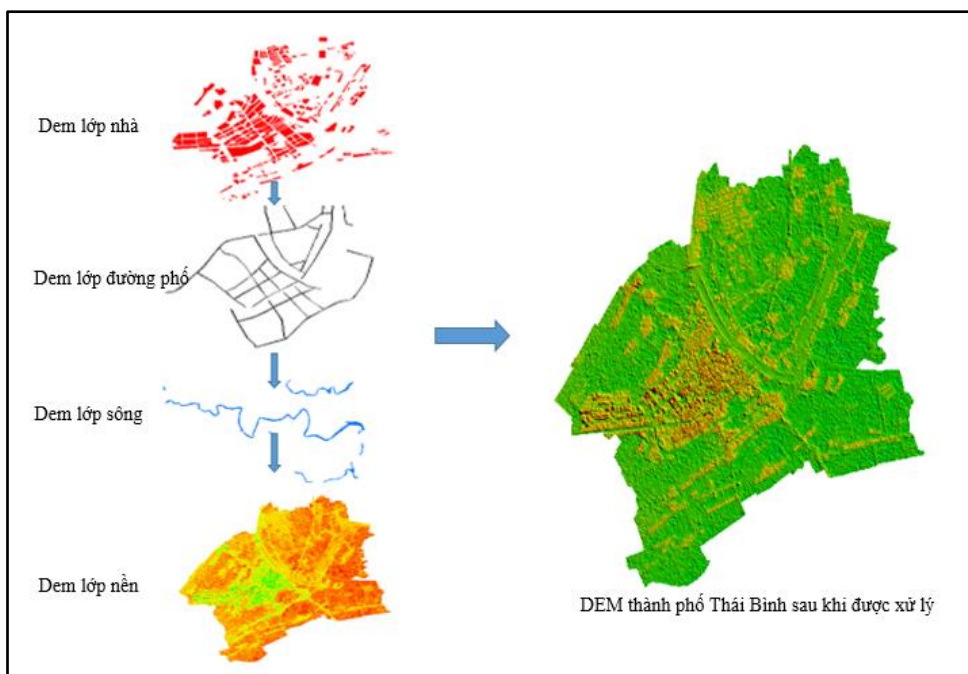
2.2.3. Thiết lập mô hình

a) Thiết lập hệ thống thoát nước của thành phố Thái Bình

Hệ thống thoát nước tại thành phố Thái Bình là hệ thống thoát nước chung. Nước mưa và nước thải sinh hoạt được đưa vào cùng một tuyến cống chảy theo các tuyến đường rồi ra hệ thống kênh tiêu thoát trong khu vực. Thành phố Thái Bình có hệ thống gồm hệ thống cống thu gom nước thải, nước mưa được đặt dưới lòng đường từ 1,0-4,0 m dọc theo các tuyến phố. Một vài tuyến đường cũ, xuống cấp, một vài tuyến đường có mặt đường hẹp không đáp ứng được nhu cầu tiêu thoát nước nên khi xuất hiện mưa lớn kéo dài liên tục hệ thống công không kịp thoát nước. Ngoại ô thành phố chủ yếu thoát nước tự nhiên theo hướng địa hình, nước mưa, nước thải đi vào hệ thống kênh mương tự nhiên sau đó tự thoát hoặc qua hệ thống cống



Hình 8. Phân chia lưu vực (catchment) trong hệ thống thoát nước.



Hình 9. Lớp DEM thành phố Thái Bình sau khi được xử lý.

Sử dụng lớp DEM 10m×10m. Kết hợp lớp DEM của các lớp sông, hồ, ao, đường phố nhà cửa, các công trình kiến trúc khác được số hóa bằng phần mềm ARCGIS từ hình ảnh thực tế trên Google Earth ta thu được lớp địa hình (Hình 9). Lớp bản đồ này kết nối với các hồ ga, cống, trạm bơm, tính toán dòng chảy hai chiều từ các hồ ga tràn trên bề mặt địa hình.

b) Thiết lập biên của mô hình MIIKE URBAN cho thành phố Thái Bình

Mô hình hệ thống thoát nước cho thành phố Thái Bình sử dụng:

+ Số liệu mưa giờ của trạm khí tượng Thái Bình được sử dụng để làm biên mưa đầu vào cho mô hình thủy văn khi hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Số liệu mưa dự báo từ mô hình số khí tượng WRF3km-IFS-DDA được dùng để làm đầu vào cho mô hình khi mô phỏng các bản đồ ngập lụt dự báo.

+ Số liệu mực nước giờ trạm thủy văn thành phố Thái Bình được sử dụng để làm biên cho mô hình dòng chảy một chiều.

Căn cứ theo hiện trạng thu thập dữ liệu độ sâu ngập tại các vị trí đo đạc để xác định thời đoạn tính toán.

c) Thiết lập các điều kiện đầu vào trong mô hình MIKE URBAN

- Nhóm thông số thủy văn

Thiết lập các thông số cụ thể cho từng lưu vực: Diện tích lưu vực, thời gian tập trung nước, dòng chảy từ mưa theo công thức Thời gian-diện tích, tổn thất ban đầu, phân trăm không thấm.

Trong đó: Tổn thất ban đầu được mặc định là 0,0006; hệ số triết giảm dòng chảy là 0,9; thời gian tập trung nước ở khu vực có tỉ lệ bê tông hoá cao được tính với vận tốc trung bình bề mặt là 3-5 m/s, ở các khu vực còn lại là từ 5-9 m/s.

Phân trăm không thấm ở khu vực có bê tông hoá cao như (nhà, đường giao thông...) từ 80-85%, các khu vực còn lại từ 30-40%. Sau đó, các thông số này sẽ được thử dần thay đổi trong quá trình hiệu chỉnh mô hình theo các tài liệu độ sâu ngập thực đo.

- Nhóm thông số thủy lực

Thông số thủy lực hiệu chỉnh trong hệ thống tiêu, thoát nước là hệ số nhám lòng dẫn (hệ số nhám Manning) và chất liệu cống (độ thô, nhám của vật liệu).

2.3. Thu thập dữ liệu

2.3.1. Dữ liệu địa hình thành phố Thái Bình

Tài liệu địa hình bao gồm dữ liệu DEM nền sử dụng được tải theo nguồn ALOS Global Digital Surface Model "ALOS World 3D - 3m (AW3D30) từ trang web: https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/dataset/aw3d30/aw3d30_e.htm, sau đó tiến hành nội suy bằng ARCGIS để có lớp DEM 10m×10m.

2.3.2. Dữ liệu hệ thống tiêu thoát nước thành phố Thái Bình

Số liệu hệ thống thoát nước bao gồm vị trí, kích thước, cao độ đáy các điểm thu nước (hố ga), các đường cống tiêu thoát nước, hình dạng đường ống, vật liệu làm cống, các trạm bơm và công suất bơm.

2.2.3. Dữ liệu về khí tượng thủy văn

+ Số liệu mưa giờ của trạm khí tượng Thái Bình các năm từ 2005-2022. Số liệu mưa dự báo của mô hình dự báo khí tượng WRF3km-IFS-DA (Nguồn Trung tâm dự báo Khí tượng thủy văn Quốc gia).

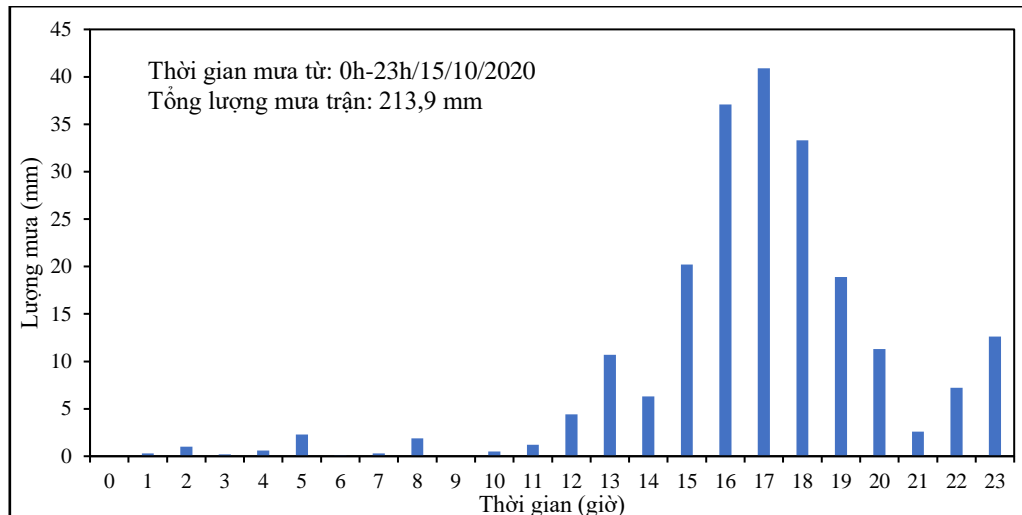
+ Số liệu mực nước giờ trạm thủy văn thành phố Thái Bình các năm 2020, 2021, 2022.

+ Số liệu về các trận ngập (điểm ngập, độ sâu ngập, diện ngập) thực tế (Nguồn Đài Khí tượng thủy văn khu vực Đồng bằng và Trung du Bắc Bộ).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hiệu chỉnh

Từ hệ thống đã thiết lập ở trên kết hợp với biên đầu vào là số liệu mưa giờ trạm khí tượng Thái Bình, mực nước giờ thực đo năm 2020, tài liệu điều tra vết ngập thực tế để hiệu chỉnh mô hình. Nghiên cứu lựa chọn trận mưa ngày 15/10/2020 để làm đầu vào chạy mô phỏng ngập cho thành phố Thái Bình.



Hình 10. Biểu đồ trận mưa ngày 15/10/2020.

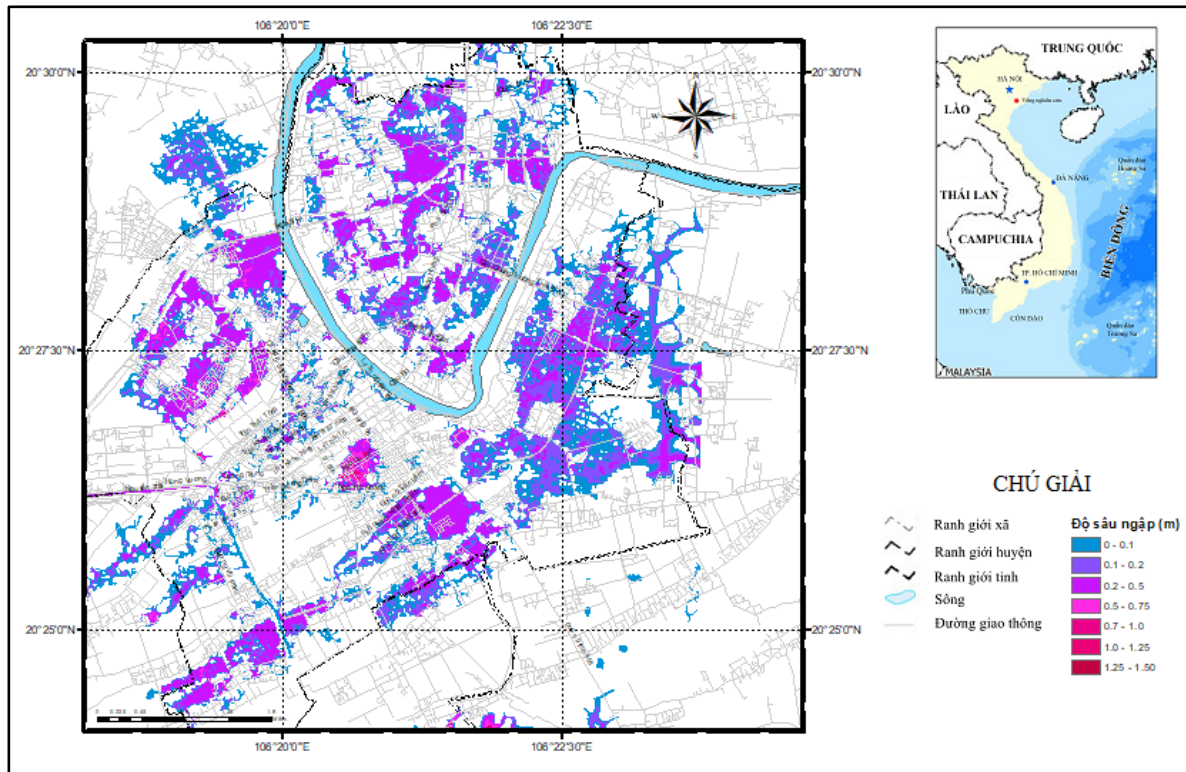
Khi sử dụng các thiết lập đầu vào ban đầu cho mô hình thì thấy một số điểm có độ sâu ngập lớn hơn, một số điểm có độ sâu ngập nhỏ hơn và một số điểm không xuất hiện ngập so với tài liệu đo đạc thực tế nên tiến hành hiệu chỉnh lại một số thông số (Bảng 2) ta được kết quả như trong bảng 3 và hình 11, hình 12.

Bảng 2. Bộ thông số sau khi hiệu chỉnh mô hình.

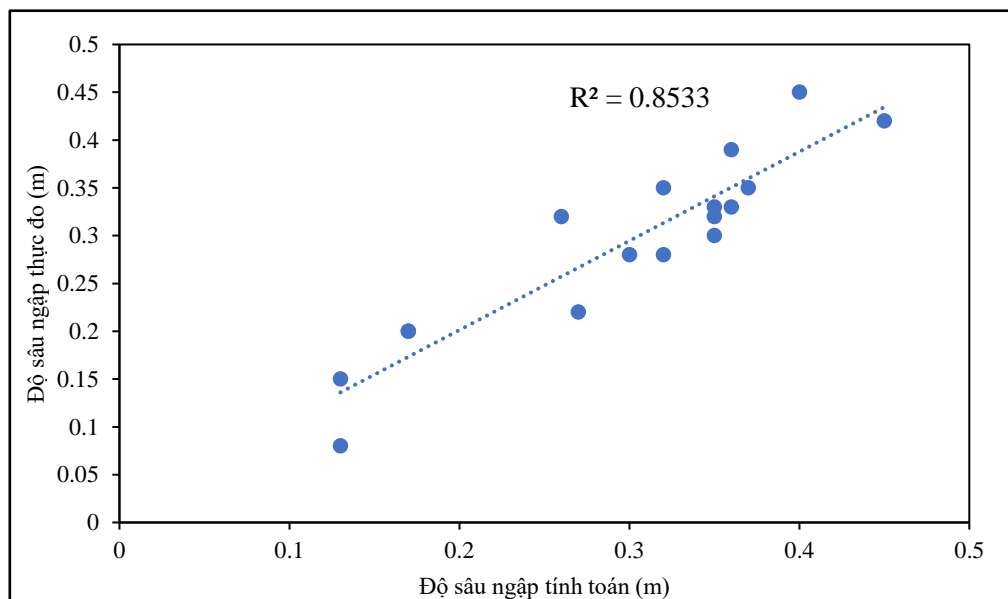
Thông số		Giá trị
Hệ số không thấm (%)	Khu vực có tỉ lệ bê tông hóa cao	80-85
	Các khu vực còn lại	30-39
Thời gian tập trung nước (phút)	Khu vực có tỉ lệ bê tông hóa cao	4-7
	Các khu vực còn lại	5-10
Tổn thất ban đầu		0,00006
Hệ số triết giảm		0,9
Hệ số nhám Manning (s/m ^{1/3})		85

Bảng 3. Độ sâu ngập thực đo và tính toán tại một số vị trí khảo sát.

STT	Địa điểm khảo sát	Kinh độ	Vĩ độ	Độ sâu ngập thực đo (m)	Độ sâu ngập tính toán (m)	Chênh lệch (m)
TB1	Đường Lê Quý Đôn	106.344	20.447	0,36	0,39	0,03
TB2	Đường Lý Bôn	106.338	20.443	0,45	0,42	-0,03
TB3	Đường Trần Thái Tông	105.788	21.032	0,13	0,15	0,02
TB4	Đường Đặng Nghiễm	106.341	20.455	0,37	0,35	-0,02
TB5	Đường Trần Phú, KCN Nguyễn Đức Cảnh	106.330	20.447	0,35	0,32	-0,03
TB6	Đường Lý Thường Kiệt	106.343	20.456	0,17	0,2	0,03
TB7	Đường Hai Bà Trưng	106.342	20.448	0,13	0,08	-0,05
TB8	Đường Trần Hưng Đạo	106.332	20.443	0,35	0,33	-0,02
TB9	Đường Phạm Thế Hiển	106.330	20.443	0,17	0,2	0,03
TB10	Đường Phạm Đôn Lễ	106.336	20.453	0,32	0,35	0,03
TB11	Đường Ngô Quang Bích	106.337	20.453	0,35	0,3	-0,05
TB12	đường Nguyễn Thị Minh Khai	106.338	20.450	0,26	0,32	0,06
TB13	Đường Hoàng Hoa Thám	106.340	20.449	0,27	0,22	-0,05
TB14	Đường Kỳ Đồng	106.325	20.443	0,32	0,28	-0,04
TB15	Đường Phan Bá Vành	106.327	20.433	0,36	0,33	-0,03
TB16	Đường Trần Phú	106.329	20.447	0,3	0,28	-0,02
TB17	Đường Lê Đại Hành	106.341	20.443	0,4	0,45	0,05



Hình 11. Bản đồ ngập thành phố Thái Bình sau khi hiệu chỉnh mô hình.



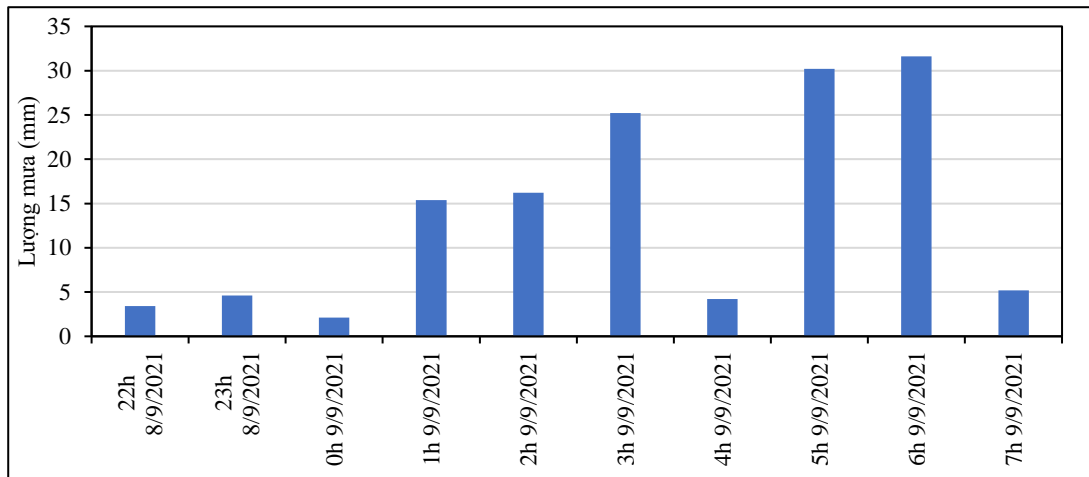
Hình 12. Biểu đồ tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và tính toán sau khi hiệu chỉnh mô hình.

Kết quả đánh giá theo chỉ tiêu Nash là 0,84; hệ số tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và tính toán R^2 là 0,85. Kết quả này tương đối phù hợp về trị số. Các điểm ngập khi khảo sát thực tế cũng đều xuất hiện ngập như vậy diện ngập tính toán cũng phù hợp thực tế.

3.2. Kiểm định mô hình

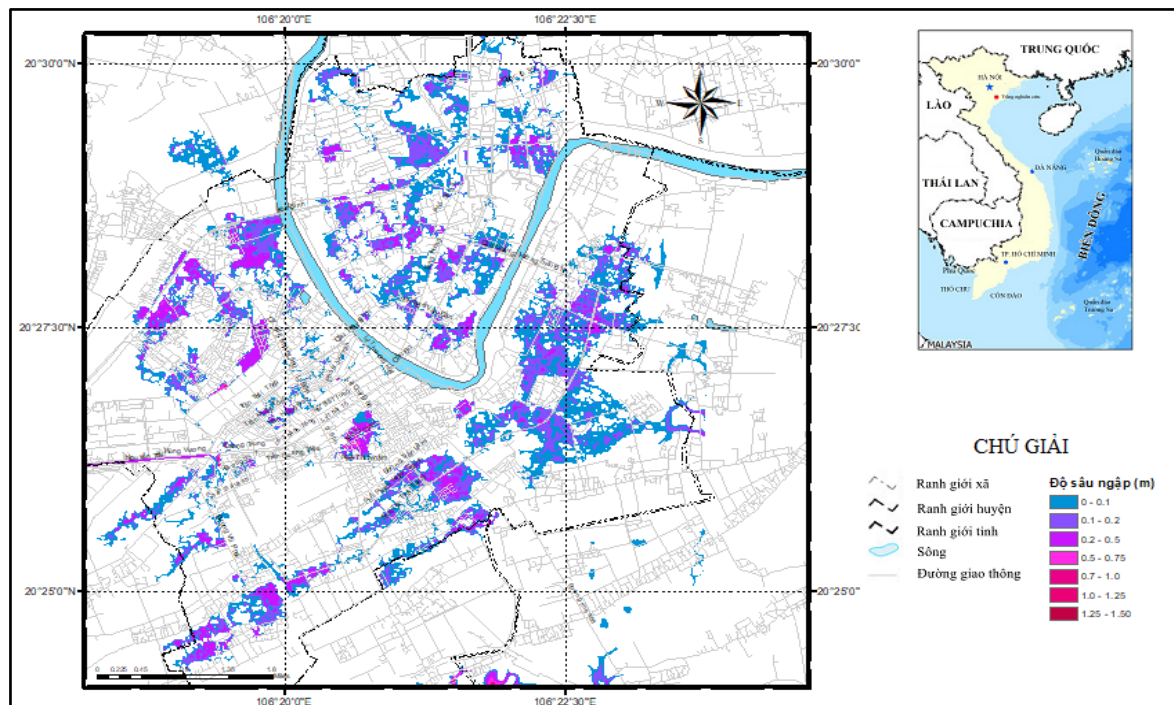
Sử dụng bộ thông số tìm được khi hiệu chỉnh mô hình. Thiết lập lại biên mưa, biên mực nước, biên cửa xả, theo số liệu thực đo năm 2021 để kiểm định lại mô hình MIKE URBAN.

Trận mưa được chọn để kiểm định mô hình là trận mưa ngày 08-09/09/2021 (Hình 13), với tổng lượng mưa trận là 138,1 mm.

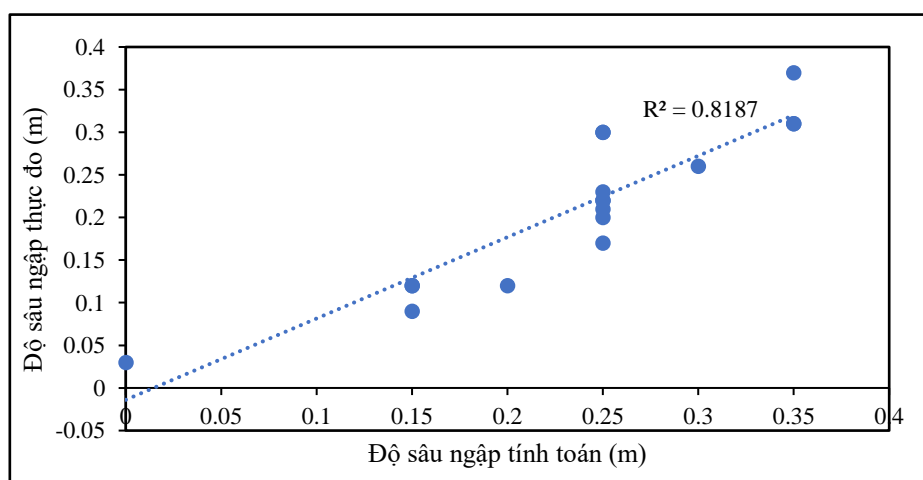


Hình 13. Biểu đồ trận mưa trận mưa ngày 08-09/09/2021.

Kết quả kiểm định được thể hiện trong hình 14, hình 15 và bảng 4.



Hình 14. Bản đồ ngập thành phố Thái Bình trong trận kiểm định mô hình.



Hình 15. Biểu đồ tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và tính toán sau khi kiểm định mô hình.

Bảng 4. Độ sâu ngập thực đo và tính toán tại một số vị trí khảo sát.

STT	Địa điểm khảo sát	Kinh độ	Vĩ độ	Độ sâu ngập thực đo (m)	Độ sâu ngập tính toán (m)	Chênh lệch (m)
TB1	Đường Lê Quý Đôn	106.344	20.447	0,35	0,31	-0,04
TB2	Đường Lý Bôn	106.338	20.443	0,35	0,31	-0,04
TB3	Đường Trần Thái Tông	105.788	21.032	0,15	0,12	-0,03
TB4	Đường Đặng Nghiễm	106.341	20.455	0,25	0,17	-0,08
TB5	Đường Trần Phú, KCN Nguyễn Đức Cảnh	106.330	20.447	0,25	0,22	-0,03
TB6	Đường Lý Thường Kiệt	106.343	20.456	Không ngập	0,03	0,03
TB7	Đường Hai Bà Trưng	106.342	20.448	0,15	0,12	-0,03
TB8	Đường Trần Hưng Đạo	106.332	20.443	0,25	0,3	0,05
TB9	Đường Phạm Thế Hiển	106.330	20.443	0,15	0,09	-0,06
TB10	Đường Phạm Đôn Lễ	106.336	20.453	0,35	0,37	0,02
TB11	Đường Ngô Quang Bích	106.337	20.453	0,25	0,22	-0,03
TB12	Đường Nguyễn Thị Minh Khai	106.338	20.450	0,25	0,21	-0,04
TB13	Đường Hoàng Hoa Thám	106.340	20.449	0,25	0,23	-0,02
TB14	Đường Kỳ Đồng	106.325	20.443	0,2	0,12	-0,08
TB15	Đường Phan Bá Vành	106.327	20.433	0,25	0,3	0,05
TB16	Đường Trần Phú	106.329	20.447	0,25	0,2	-0,05
TB17	Đường Lê Đại Hành	106.341	20.443	0,3	0,26	-0,04

Kết quả đánh giá theo chỉ tiêu Nash là 0,81, hệ số tương quan giữa độ sâu ngập thực đo và độ sâu ngập tính toán R^2 là 0,81. Các điểm ngập khi khảo sát thực tế cũng đều xuất hiện ngập như vậy diện ngập tính toán cũng phù hợp thực tế. Với kết quả trên có thể dùng mô hình MIKE URBAN để mô phỏng, đánh giá và dự báo ngập cho khu vực nghiên cứu.

3.3. Kết quả mô phỏng ngập lụt theo mưa dự báo từ mô hình WRF3km-IFS-DA

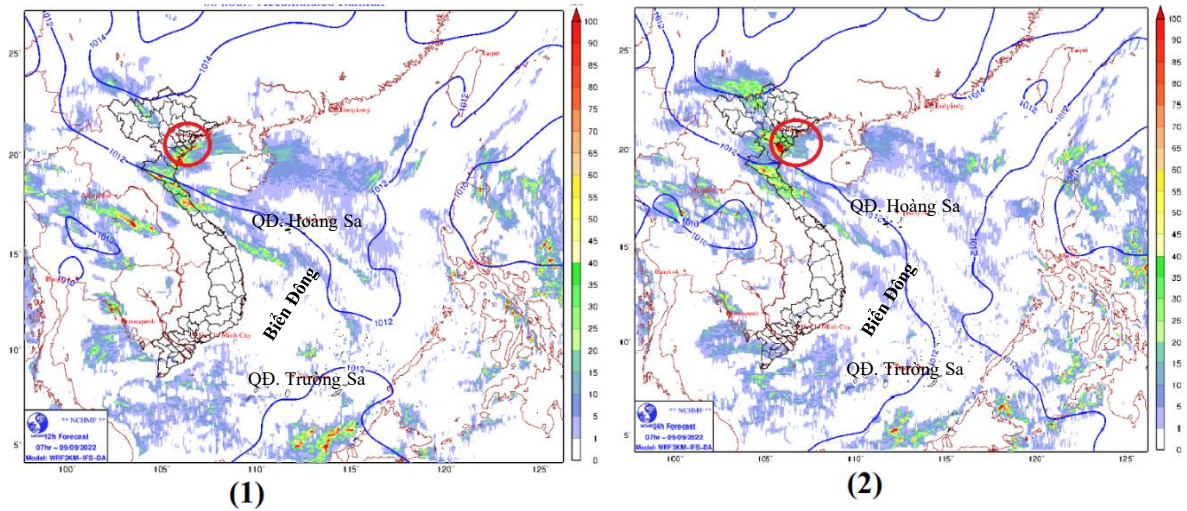
Nhằm mục tiêu đánh giá khả năng mô phỏng của mô hình MIKE URBAN và khả năng dự báo ngập lụt cho khu vực nghiên cứu khi kết hợp với một mô hình dự báo khí tượng, tiến hành mô phỏng ngập úng cho khu vực nghiên cứu với lượng mưa ngày 9/9/2022 theo các kịch bản: Mô phỏng dự báo ngập lụt thành phố Thái Bình với các kịch bản (KB) mưa đầu vào là (1) mưa thực đo; (2) mưa dự báo trước 6 giờ; (3) mưa dự báo trước 24 giờ.

a) Đặc điểm trận ngập ngày 9/9/2022



Hình 16. Một số hình ảnh ngập úng trong trận mưa ngày 8-9/9/2022 tại thành phố Thái Bình [25].

Trận mưa đêm ngày 8/9 đến sáng ngày 9/9/2022, nhiều tuyến phố như Lê Quý Đôn, Lý Bôn, Trần Phú, Trần Thủ Độ... tại thành phố Thái Bình ngập trong nước với độ sâu ngập từ 0,1-0,3mm, có đoạn ngập sâu 0,2-0,4 mm.

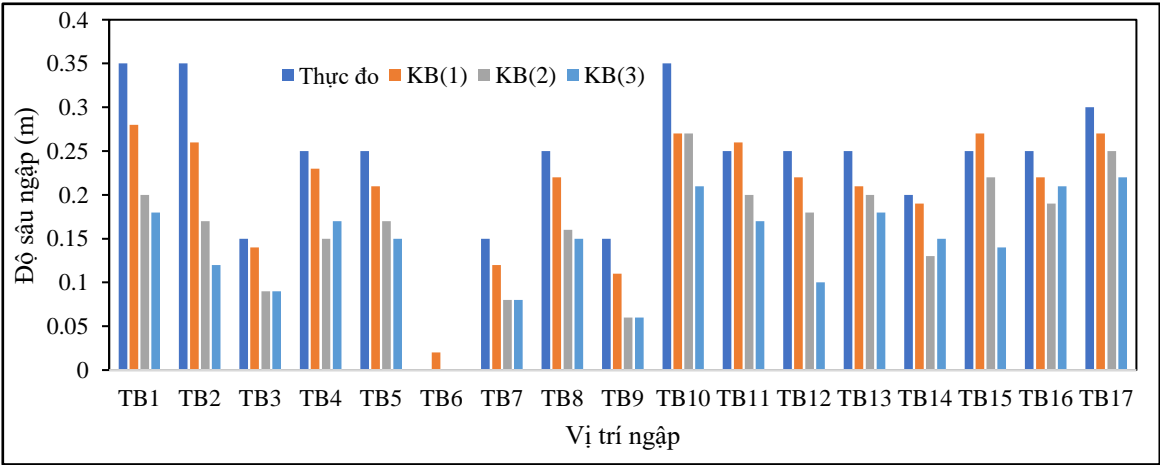


Hình 17. Bản đồ mưa dự báo từ mô hình WRF3fm-IFS-DA: (1) mưa dự báo trước 6 giờ; (2) mưa dự báo trước 24 giờ [32].

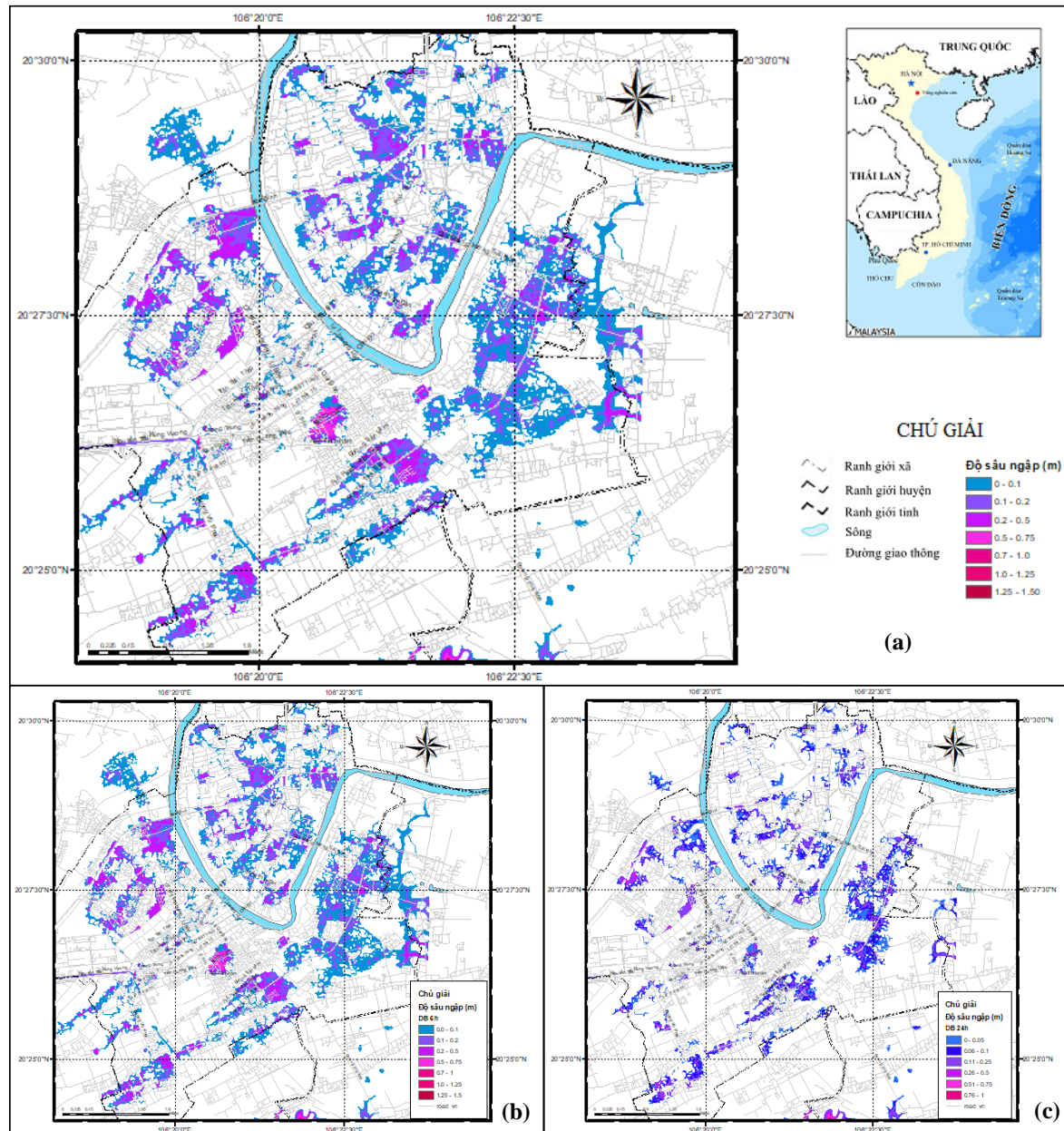
b) Kết quả mô phỏng

Bảng 5. So sánh kết quả mô phỏng ngập lụt của các kịch bản.

STT	Địa điểm khảo sát	Kinh độ	Vĩ độ	Thực đo (m)	Kịch bản 1 mưa thực đo		Kịch bản 2 mưa DB 6h		Kịch bản 3 mưa DB 24h	
					H (m)	ΔH (m)	H (m)	ΔH (m)	H (m)	ΔH (m)
TB1	Đường Lê Quý Đôn	106.344	20.447	0,35	0,28	-0,07	0,2	-0,15	0,18	-0,17
TB2	Đường Lý Bôn	106.338	20.443	0,35	0,26	-0,09	0,17	-0,18	0,12	-0,23
TB3	Đường Trần Thái Tông	105.788	21.032	0,15	0,14	-0,01	0,09	-0,06	0,09	-0,06
TB4	Đường Đặng Nghiễm	106.341	20.455	0,25	0,23	-0,02	0,15	-0,1	0,17	-0,08
TB5	Đường Trần Phú, KCN Nguyễn Đức Cảnh	106.330	20.447	0,25	0,21	-0,04	0,17	-0,08	0,15	-0,1
TB6	Đường Lý Thường Kiệt	106.343	20.456	0	0,02	0,02	0	0	0	0
TB7	Đường Hai Bà Trưng	106.342	20.448	0,15	0,12	-0,03	0,08	-0,07	0,08	-0,07
TB8	Đường Trần Hưng Đạo	106.332	20.443	0,25	0,22	-0,03	0,16	-0,09	0,15	-0,1
TB9	Đường Phạm Thế Hiển	106.330	20.443	0,15	0,11	-0,04	0,06	-0,09	0,06	-0,09
TB10	Đường Phạm Đôn Lễ	106.336	20.453	0,35	0,27	-0,08	0,27	-0,08	0,21	-0,14
TB11	Đường Ngô Quang Bích	106.337	20.453	0,25	0,26	0,01	0,2	-0,05	0,17	-0,08
TB12	đường Nguyễn Thị Minh Khai	106.338	20.450	0,25	0,22	-0,03	0,18	-0,07	0,10	-0,15
TB13	Đường Hoàng Hoa Thám	106.340	20.449	0,25	0,21	-0,04	0,2	-0,05	0,18	-0,07
TB14	Đường Đường Kỳ Đồng	106.325	20.443	0,2	0,19	-0,01	0,13	-0,07	0,15	-0,05
TB15	Đường Phan Bá Vành	106.327	20.433	0,25	0,27	0,02	0,22	-0,03	0,14	-0,11
TB16	Đường Trần Phú	106.329	20.447	0,25	0,22	-0,03	0,19	-0,06	0,21	-0,04
TB17	Đường Lê Đại Hành	106.341	20.443	0,3	0,27	-0,03	0,25	-0,05	0,22	-0,08



Hình 18. Độ sâu ngập mô phỏng tại các vị trí theo các kịch bản.



Hình 19. Bản đồ mô phỏng ngập lụt tại thành phố Thái Bình theo các kịch bản: (a) theo mưa thực đo; (b) theo mưa dự báo trước 6h; (c) theo mưa dự báo trước 24h.

Kết quả mô phỏng ở bảng 6 và hình 18, hình 19 cho thấy so sánh giữa mô phỏng ngập lụt theo số liệu mưa thực đo tại trạm Thái Bình (KB1) từ ngày 8-9/9/2022 và số liệu ngập lụt thực đo được đánh giá theo chỉ tiêu Nash là 0,76, kết quả này tương đối phù hợp. Mô phỏng ngập lụt theo số liệu dự báo lượng mưa trước 06h từ mô hình WRF3km-IFS-DA (KB2) cho sai số độ sâu ngập từ 0-0,18 m, sai số trung bình là 0,07 m. Mô phỏng ngập lụt theo số liệu dự báo lượng mưa trước 24h từ mô hình WRF3km-IFS-DA (KB3) cho sai số độ sâu ngập từ 0-0,23 m, sai số trung bình là 0,09 m. Như vậy kết quả mô phỏng ngập lụt này cho thấy với thời hạn dự báo càng gần càng cho độ chính xác cao.

3.4. Thảo luận

Hầu hết các kết quả nghiên cứu đều chỉ ra rằng mô hình MIKE URBAN mô phỏng tốt ngập lụt trong các đô thị [12, 19–20, 31]. MIKE URBAN không những có thể được dùng để quản lý hệ thống thoát nước, lập kế hoạch thoát nước tổng thể, đánh giá khả năng chịu tải của hệ thống thoát nước mà có thể được sử dụng để dự báo ngập lụt cho khu vực đô thị. Từ

kết quả hiệu chỉnh, kiểm định và mô phỏng các trận mưa gây ngập úng cho thành phố Thái Bình có thể thấy rằng mô hình MIKE URBAN mô phỏng khá tốt các trận ngập úng do mưa lớn. Khi mưa lớn xảy ra với cường độ mưa khoảng 30 mm/h với thời đoạn mưa trên 30 phút một số tuyến phố bắt đầu xảy ra ngập úng. Có thể dùng bộ thông số sau khi đã hiệu chỉnh, kiểm định này để xây dựng các bản đồ ngập lụt tương ứng với các kịch bản dự báo mưa lớn khác nhau.

Dự báo ngập lụt có thể đạt được bằng cách sử dụng mô hình kết hợp giữa mô hình NWP và mô hình lượng mưa-dòng chảy. Phương pháp này kéo dài thời gian thực hiện dự báo và cung cấp các bản đồ ngập lụt dự báo với độ chính xác cao. Kết quả cho thấy hệ thống dự báo có hiệu suất tốt hơn đôi với các thời hạn dự báo gần (KB2) và kém chính xác hơn với các thời hạn dự báo xa (KB3), độ chính xác của các dự báo phụ thuộc rất lớn vào khả năng dự báo mưa lớn của các mô hình NWP.

Thành phố Thái Bình là một thành phố có tốc độ đô thị hóa, công nghiệp hóa nhanh. Hệ thống các công trình tiêu thoát nước đã xây dựng không theo kịp nhịp độ phát triển kinh tế, nhiều hệ thống tiêu thoát được xây mới nhưng không đồng nhất với hệ thống cũ làm cho tình hình ngập lụt xảy ra càng ngày càng nghiêm trọng. Từ kết quả nghiên cứu này có thể sử dụng các đầu vào mưa dự báo như mưa dự báo từ các mô hình, mưa ước lượng từ vệ tinh và rada cho mô hình MIKE URBAN sẽ là cốt lõi trong việc thiết lập hệ thống dự báo cảnh báo ngập lụt đô thị để thử nghiệm vào mùa mưa năm 2024 và sẽ được áp dụng vào năm 2025.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được bộ thông số mô hình MIKE URBAN mô phỏng ngập úng do mưa lớn cho thành phố Thái Bình có độ tin cậy khá tốt từ 0.76-0.82 do vậy có thể dùng bộ thông số này để tính toán, mô phỏng và dự báo ngập úng cho thành phố Thái Bình khi mưa lớn xảy ra.

Rất nhiều đô thị ở nước ta đã và đang đối mặt rất lớn với bài toán ngập lụt đô thị và dự báo, cảnh báo ngập lụt đô thị từ hệ thống dự báo tổ hợp mưa như các đô thị Hà Nam, Nam Định, Thái Bình, Ninh Bình,... mà vẫn chưa có hệ thống dự báo cảnh báo ngập lụt hỗ trợ để tạo ra bản tin dự báo, cảnh báo một cách kịp thời. Việc sử dụng dữ liệu mưa dự báo từ mô hình WRF3km-IFS-DA làm đầu vào cho mô hình MIKE URBAN có thể đưa ra được các dự báo trước 6 đến 24 giờ là một trong những điểm nổi bật của nghiên cứu.

Chất lượng dự báo ngập lụt đô thị phụ thuộc rất lớn vào chất lượng dự báo mưa lớn của các mô hình NWP. Nếu mô hình MIKE URBAN mô phỏng tốt ngập lụt đô thị nhưng dự báo mưa không chính xác thì cũng không thể cho kết quả dự báo ngập lụt tốt được. Do đó dự báo viên cần chọn nhưng mô hình dự báo mưa có độ tin cậy cao.

Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ xây dựng hệ thống cảnh báo ngập úng do mưa lớn dựa trên cách tiếp cận dự báo tổ hợp từ mưa mô hình, mưa ước lượng vệ tinh, mưa ước lượng từ radar, mưa từ hệ thống đo mưa tự động cho thành phố Thái Bình và hệ thống dự báo cảnh báo ngập lụt đô thị này sẽ được thử nghiệm vào mùa mưa năm 2024 và áp dụng vào năm 2025. Hệ thống đi vào vận hành sẽ hỗ trợ đắc lực cho dự báo viên và có thể đưa ra các thông điệp cảnh báo sớm cho người dân nhằm nâng cao hiệu quả phòng ngừa và giảm nhẹ thiệt hại do lũ lụt gây ra.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.T.H.; N.T.L.; Xử lý số liệu: D.T.D., D.T.N.H.; Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình: N.T.L.; Viết bản thảo bài báo: P.T.D.T.; V.T.T.H.; Chính sửa bài báo: D.T.H.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Nghiên cứu xây dựng hệ thống cảnh báo ngập úng do mưa lớn dựa trên cách tiếp cận dự báo tổ hợp cho một số đô thị khu vực Đồng bằng Bắc Bộ”, mã số đề tài TNMT.2023.06.04. Thuộc chương trình “Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp bộ về dự báo, cảnh báo thiên tai khí tượng thủy văn phục vụ công tác phòng chống thiên tai giai đoạn 2021-2025”.

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. Cường, H.Đ. Nghiên cứu ứng dụng sơ đồ đồng hóa số liệu 3DVAR cho mô hình WRF nhằm mục đích dự báo thời tiết ở Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 610, 37–41.
2. Benito, G.; Lang, M.; Barriendos, M.; Llasat, M.C.; Francés, F.; Ouarda, T.; Thorndycraft, V.; Enzel, Y.; Bardossy, A.; Coeur, D.; Bobée, B. Use of systematic, palaeoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation. *Nat. Hazards* **2004**, 31, 623–643.
3. Agarwal, S.; Kumar, S. Urban flood modeling using SWMM for historical and future extreme rainfall events under climate change scenario. *Indian J. Ecol.* **2020**, 47(11), 48–53.
4. Rossman, L.A.; Huber, W.C. Storm water management model reference manual volume I, hydrology. U.S. EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-15/162A, 2015.
5. Rossman, L.A.; Dickinson, R.E.; Schade, T.; Chan, C.C.; Burgess, E.; Sullivan, D.; Lai, F.H. SWMM 5 the next generation of EPA's storm water management model. *J. Water Manag. Model.* **2004**, 12, 339–358.
6. Wu, W.L.; Lu, L.J.; Huang, X.F.; Shangguan, H.D.; Wei, Z.Q. An automatic calibration framework based on the InfoWorks ICM model: The effect of multiple objectives during multiple water pollutant modeling. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2021**, 28, 31814–31830.
7. InfoWorks ICM. Version 3.0; Innovyze: Wallingford, UK, 2012.
8. HEC-RAS River Analysis System. Version 5.0. 2D modeling user's manual. Hydrologic Engineering Center: Davis, CA, USA, 2016.
9. Anni, A.H.; Cohen, S.; Praskiewicz, S. Sensitivity of urban flood simulations to stormwater infrastructure and soil infiltration. *J. Hydrol.* **2020**, 588, 125028.
10. Apirumanekul, C.; Mark, O. Modelling of urban flooding in Dhaka City-Bangladesh. Proceeding of 4th DHI Software Conference, 2001.
11. Henonin, J.; Russo, B.; Mark, O.; Gourbesville, P. Real-time urban flood forecasting and modelling – A state of the art. *J. Hydroinf.* **2013**, 15(3), 717–736.
12. Quang, N.H.; Weesakul, S.; Weesakul, U.; Chaliraktrakul, C. A real-time hydrological information system for bangkok. 2005.
13. Guangzha, C.; Jingming, H.; Nie, Z.; Shaoxiong, Y. High-resolution urban flood forecasting by using a coupled atmospheric and hydrodynamic flood models. *Front. Earth Sci.* **2020**, 8, 2020. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.545612>.
14. Davis, S.; Pentakota, L.; Saptarishy, N.; Mujumdar, P. A flood forecasting framework coupling a high resolution WRF ensemble with an urban hydrologic model. *Front. Earth Sci.* **2022**, 10, 2022. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.883842>.
15. Linh, N.M.; Đức, A.Đ. Đánh giá ảnh hưởng tiêu thoát lũ tỉnh Quảng Ngãi khi xây dựng tuyến đường cao tốc Đà Nẵng - Quảng Ngãi. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2013**, 13, 44–51.
16. Ôn, T.V.; Quân, L.V. Phương pháp xác định diện tích (hay dung tích) hồ điều hòa điều tiết nước mưa cho một khu đô thị mới. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2015**, 51, 20–24.
17. Hoàng, T.T. Nghiên cứu tính toán ngập ứng lưu vực quận 12 thành phố Hồ Chí Minh bằng mô hình Mike Flood. Trung tâm Ứng dụng Hệ thống Thông tin Địa lý TP.HCM, 2015.

18. Lượng, N.V. Nghiên cứu chi tiết hóa cấp độ rủi ro thiên tai do ngập lụt gây ra ở vùng đô thị và đồng bằng ven biển khu vực Bắc Trung Bộ. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, 2018-2020.
19. Hung, N.Q.; Liên, N.T. Ứng dụng mô hình Thủy văn đô thị 2D và thiết kế xanh cho hệ thống thoát nước thành phố Hà Tĩnh. *VNU J. Sci.: Earth. Environ. Sci.* **2021**, 37(3), 50–62.
20. Sở giao thông công chính. Báo cáo dự án thoát nước Thành phố Hà Nội (giai đoạn 1), UBND Tp. Hà Nội, 2015.
21. Đại, N.V.; Tuyên, N.K.; Thịnh, Đ.Q.; Long, P.B. Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tình hình ngập lụt ở thành phố Nam Định. *Tạp chí khoa học biến đổi khí hậu* **2018**, 5, 51–58.
22. Long, V.H.; Giang, N.V.; Hòa, P.V.; Hùng, N.T. Ứng dụng công nghệ điện toán đám mây GOOGLE EARTH ENGINE trong nghiên cứu lũ lụt tại Đồng Tháp, hạ lưu sông Mê Công. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2018**, 43, 1–11.
23. Cát, V.M. và cs. Hợp tác nghiên cứu xây dựng công nghệ dự báo lũ trung hạn kết nối với công nghệ điều hành hệ thống công trình phòng chống lũ cho đồng bằng sông Hồng - Thái Bình. Báo cáo kết quả thực hiện đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, 2007, tr. 297.
24. Niên giám thống kê tỉnh Thái Bình năm 2020.
25. Trục tuyến: <http://iwrp.gov.vn/d1860/tinh-hinh-ngap-lut-cac-do-thi-vung-dong-bang-bac-bo--thuc-trang-va-giai-phap.html>.
26. Trục tuyến: <https://baothaibinh.com.vn/tin-tuc/72/184258/mua-lon-gay-ngap-nhieu-tuyen-pho-tai-thanh-pho-thai-binh>.
27. Khiêm, M.V. và cs. Thử nghiệm ứng dụng ra đa kết hợp mô hình số trị trong dự báo mưa hạn cực ngắn. Trung tâm Dự báo khí tượng thủy văn quốc gia, 2020.
28. Collection System. Modelling of storm water drainage networks and sewer collection systems. Available online: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban/collection-systems>.
29. MIKEURBAN Tutorials. Available online: <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/MIKEURBANTutorials.pdf>.
30. MIKEURBAN Model Manager. Available online: <https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Cities/ModelManager.pdf>.
31. Trục tuyến: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:648427/fulltext01.pdf>.
32. Trục tuyến: <http://swfdp-sea.com.vn/>.

Applying rain forecasts from the WRF3KM-IFS-DA model to improve the effectiveness of urban flood forecasting and warning

Le Thi Hue^{1*}, Dao Tien Dat¹, Dinh Thi Huong Thom¹, Pham Thi Dieu Thuy¹, Nguyen Thu Lan¹, Do Thi Ngoc Hoa¹, Vu Thi Thanh Huyen¹

¹ Northern Delta and Midland regional Hydrometeorological Center;
minhhuekttv@gmail.com; daodat81@gmail.com; thomdth91@gmail.com;
phamdieuthuykttv@gmail.com; nguyenlandbbb@gmail.com; ngochoakttv@gmail.com;
vthuyen1999@gmail.com

Abstract: Numerical Weather Prediction (NWP) models are increasingly used to predict heavy rainfall events. However, research on the application of high-resolution rainfall forecasts from the NWP model in hydrology is still limited. This article presents the results of research on applying rain forecasts from the WRF3KM-IFS-DA model to improve the effectiveness of urban flood forecasting and warning. The study calibrated and verified the MIKE URBAN model to come up with an optimal set of parameters, then tested to simulate flooding in Thai Binh city for a specific rain event with the input rain boundary taken from WRF3KM-IFS-DA model under 3 scenarios: (1) Observation rain measured at Thai Binh meteorological station; (2) rain forecast with a forecast period of 6 hours in advance; (3) rain forecast with a forecast period of 24 hours in advance. Then evaluate the level of simulated flooding with the observation flooding that occurs.

Keywords: MIKE URBAN model; Calibration, validation; Urban flooding; Thai Binh city.