

Bài báo khoa học

Nghiên cứu ứng dụng mô hình PCSWMM trong mô phỏng ngập úng hệ thống thủy lợi Bắc Nam Hà

Bùi Tuấn Hải^{1*}, Lê Việt Sơn¹, Nguyễn Duy Quang¹, Phạm Văn Trinh¹, Bùi Thế Văn¹

¹ Phòng Quy hoạch Thủy lợi Bắc Bộ, Viện Quy hoạch Thủy lợi, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn; buituanhai@gmail.com; levietson2211@gmail.com; nguyenduyquang.wru@gmail.com; trinhpv274@gmail.com; vanbt53@wru.vn

*Tác giả liên hệ: buituanhai@gmail.com; Tel.: +84-989336330

Ban Biên tập nhận bài: 28/5/2021; Ngày phản biện xong: 12/7/2021; Ngày đăng bài: 25/9/2021

Tóm tắt: Hệ thống thủy lợi Bắc Nam Hà là một trong những hệ thống thủy lợi lớn nhất vùng Đồng bằng Bắc Bộ. Tiêu úng trong hệ thống Bắc Nam Hà thời gian qua luôn là một trong những vấn đề căng thẳng; hàng năm ngập úng gây ảnh hưởng lớn đến sản xuất nông nghiệp, đặc biệt là trong các năm gần đây như các năm 2016, 2017 và 2018. Nghiên cứu đã sử dụng mô hình PCSWMM để mô phỏng ngập úng hệ thống thủy lợi Bắc Nam Hà, mục đích xây dựng mô hình phục vụ cho công tác quản lý điều hành tiêu úng phục vụ sản xuất nông nghiệp. Kết quả mô phỏng, hiệu chỉnh mô hình với trận mưa trong tháng 10/2017 và kiểm định lại với trận mưa tháng 9/2003 cho kết quả khá tốt với việc so sánh đường quan hệ mực nước giữa thực đo và tính toán từ mô hình. Nghiên cứu đã xây dựng kết nối 1 chiều và 2 chiều trong mô hình PCSWMM, kết quả đã xây dựng bản đồ ngập lụt, úng với trận mưa tháng 7/2017.

Từ khóa: PCSWMM; Mô phỏng ngập úng; Hệ thống thủy lợi Bắc Nam Hà.

1. Mở đầu

Hệ thống thủy lợi Bắc Nam Hà (BNH) là một trong những hệ thống thủy lợi lớn nhất vùng Đồng bằng Bắc Bộ, được bao bọc bởi 4 sông lớn: sông Hồng, sông Đào, sông Đáy và sông Châu với tổng diện tích tự nhiên của hệ thống 100.261 ha trong đó có 60.000 ha diện tích đất canh tác. Tiêu úng trong hệ thống BNH thời gian qua luôn là một trong những vấn đề căng thẳng, hàng năm ngập úng gây ảnh hưởng lớn đến sản xuất nông nghiệp. Tiêu úng trong hệ thống BNH chủ yếu dùng động lực, với tình trạng thiết bị đã xuống cấp như hiện nay thì việc vận hành trong điều kiện thời tiết bình thường cũng đã rất khó khăn. Trường hợp lũ cao kết hợp triều cường như năm 1996, 2017 một số trạm bơm lớn cũng phải ngừng hoạt động như: trạm bơm Như Trác, Hữu Bị, Cốc Thành lại rơi vào thời điểm lúa mới cấy thì thiệt hại cho sản xuất nông nghiệp là không thể tránh khỏi.

Đặc biệt trong các năm gần đây, tình hình thiên tai đã gây ra thiệt hại rất lớn đối với sản xuất nông nghiệp thuộc hệ thống BNH theo báo cáo của Viện Quy hoạch Thủy lợi (2019) [1]: Diện tích ngập úng vụ mùa năm 2016 là 19.380 ha, năm 2014 là 4.295 ha. Tháng 10/2017, tỉnh Nam Định với diện tích lúa bị ngập lụt, úng là 29.265 ha, diện tích hoa màu, rau màu bị ngập là 3.377 ha. Tháng 7/2018, hệ thống BNH bị ngập khoảng 2.468 ha. Để có thể tìm ra giải pháp hạn chế, khắc phục tình trạng ngập lụt, úng hiện nay ở hệ thống BNH, cần phải có công cụ để mô phỏng ngập lụt cho toàn bộ hệ thống ứng với các kịch bản/phương án tính toán khác nhau một cách khoa học.

Trong những năm gần đây, khá nhiều công cụ mô hình thủy văn, thủy lực đã và đang được sử dụng trong các nghiên cứu trong và ngoài nước. Một trong những mô hình được sử dụng nhiều hiện nay trong giải quyết bài toán tiêu úng đó là mô hình SWMM của Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ. Mô hình SWMM [2] được đánh giá là một trong những mô hình được sử dụng rộng rãi trong thủy văn đô thị và chất lượng nước [3]. Trên thế giới, mô hình SWMM đã được nghiên cứu ứng dụng từ lâu. Các nghiên cứu sử dụng SWMM trong đánh giá vấn đề biến đổi khí hậu ảnh hưởng như thế nào đến cơ sở hạ tầng đô thị vốn đã xuống cấp ở nhiều khu vực [4–5]. Một số nghiên cứu so sánh giữa mô hình SWMM và các mô hình thủy văn khác [3, 6–8] đã chỉ ra ưu điểm và nhược điểm của mô hình trong mô phỏng chế độ thủy văn đô thị.

Mô hình SWMM đã được nghiên cứu ứng dụng khá nhiều trong giải quyết bài toán tiêu úng trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Một số kết quả nghiên cứu SWMM ở Việt Nam có thể kể đến Nghiên cứu mô phỏng thoát nước đô thị Huế trong trận mưa tháng 10 năm 2010 [9], một nội dung thuộc đề tài nghiên cứu khoa học [10], trong đó đã xác định bộ thông số thủy văn – thủy lực hợp lý cho xây dựng tập bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập úng do mưa. Kết quả từ nghiên cứu ứng dụng mô hình SWMM tính toán tiêu thoát nước lưu vực sông Tô Lịch [11] được tác giả Phạm Thị Hương Lan và nnk triển khai trong nghiên cứu đánh giá nhanh thủy văn (RHA) có sự tham gia của cộng đồng [12–13]. Ngoài ra, mô hình SWMM còn ứng dụng trong phân tích mạng lưới thoát nước khu đô thị mới ở Hồ Chí Minh [14]; Tính toán thủy lực mạng lưới thoát nước mưa đô thị ảnh hưởng triều cường [15]; Nghiên cứu phương pháp phân vùng ngập & thoát nước đô thị nội thành TP. Hồ Chí Minh [16].

Với phiên bản cập nhật mô hình SWMM, bổ sung giao diện GIS thân thiện hơn với người dùng là PCSWMM hiện đang được sử dụng ở rất nhiều nước trong nghiên cứu vấn đề tiêu nước mặt do mưa, mô phỏng dòng chảy 2 chiều [17] nghiên cứu sử dụng PCSWMM cho lưu vực sông Myponga, Nam Úc [18] nghiên cứu cho thung lũng Sorrento, San Diego, California. Đối với vùng nông thôn có thể kể đến nghiên cứu [19] đã áp dụng PCSWMM trong mô phỏng khu vực nông thôn lưu vực Ontario, Canada. Mô hình PCSWMM với rất nhiều cải tiến so với SWMM ngoài giao diện GIS và có ở việc mô phỏng thủy văn, thủy lực và mô phỏng dòng chảy ngập úng 2 chiều [20]. Do đó, việc nghiên cứu ứng dụng PCSWMM trong mô phỏng bài toán ngập lụt, úng cho hệ thống BNH là vấn đề cần được xem xét và đánh giá khả năng mô phỏng các trận ngập lụt, úng trong thực tế là cần thiết.

Mục tiêu của nghiên cứu là ứng dụng mô hình PCSWMM trong mô phỏng các trận ngập lụt, úng trong thực tế, từ đó để triển khai các nghiên cứu tiếp theo trong đề xuất các giải pháp cho tình trạng ngập úng hiện nay của hệ thống BNH.

2. Phương pháp nghiên cứu

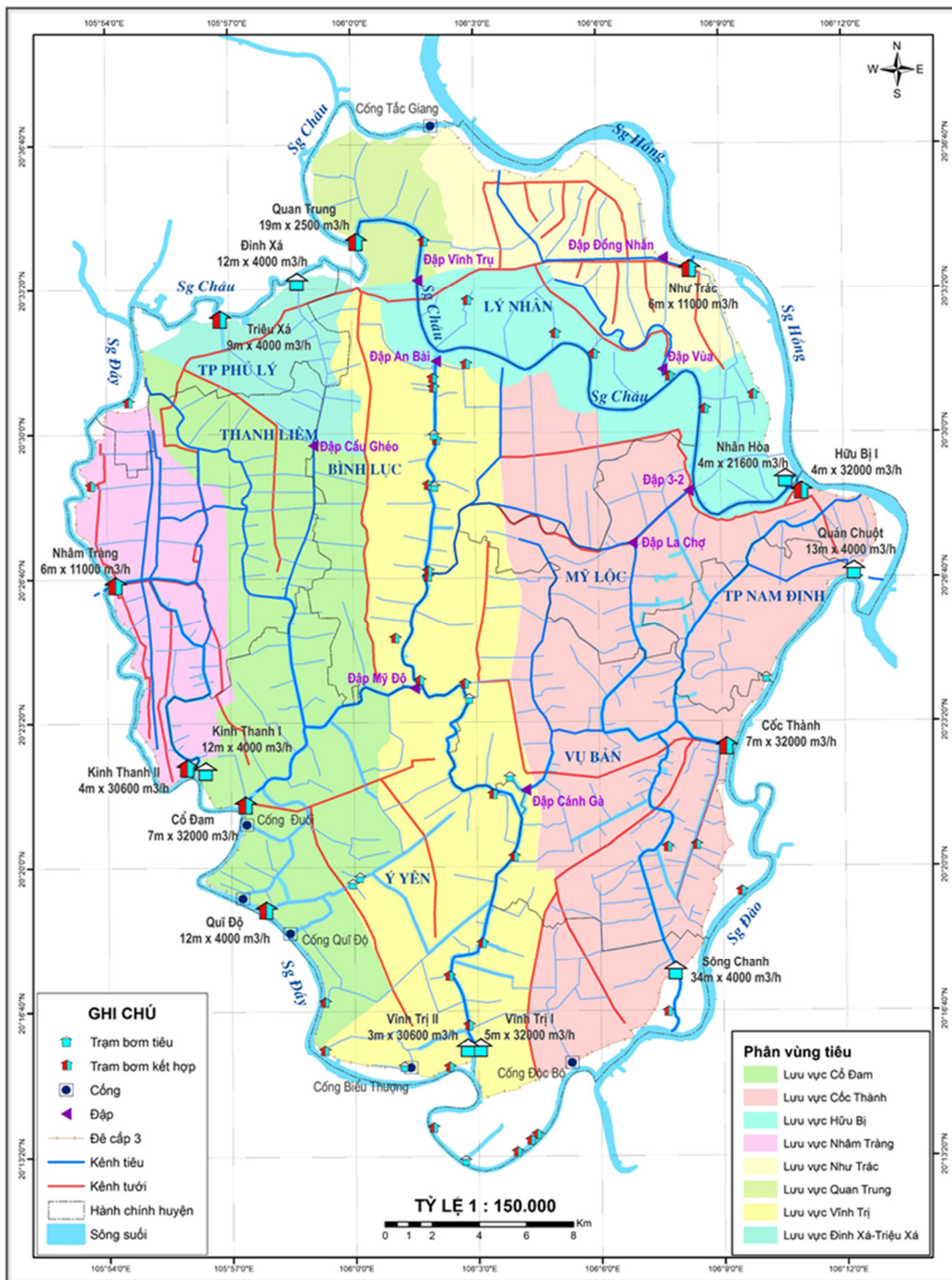
2.1 Khu vực nghiên cứu

Hệ thống thủy lợi BNH với tổng diện tích tự nhiên của hệ thống 100.261 ha trong đó phần diện tích trong đê là 85.326 ha gồm có 60.000 ha diện tích đất canh tác bao gồm 8 huyện, thành phố của 2 tỉnh Nam Định và Hà Nam. Tỉnh Nam Định gồm: thành phố Nam Định, huyện Mỹ Lộc, Vụ Bản, Ý Yên; tỉnh Hà Nam gồm: thành phố Phủ Lý, huyện Thanh Liêm, Bình Lục, Lý Nhân. Ngoài ra có 12.200 ha ở vùng trong bổi ngoài đê, ảnh hưởng đến việc tiêu của hệ thống [21].

Đến năm 2020, tổng diện tích đất tự nhiên của các huyện, thành phố thuộc hệ thống BNH là 100.261ha, trong đó: đất nông nghiệp là 62.883ha, chiếm 62,72%; Đất phi nông nghiệp là 35.743ha, chiếm 35,65%; Đất chưa sử dụng là 1.635ha, chiếm 1,63% [22]. Hệ thống kênh mương và công trình đầu mối tiêu hệ thống BNH khá hoàn chỉnh từ đầu mối, kênh chính đến kênh cấp III. Các trạm bơm tiêu đầu mối ra sông Hồng có trạm bơm (TB): Như Trác, Hữu Bị; bơm ra sông Đáy gồm các TB: Nhâm Tràng, Kênh Thanh, Cổ Đam, Quy Độ, Vĩnh Trị 1, Vĩnh Trị 2, Yên Bằng, Yên Quang; bơm ra sông Đào gồm các TB: Cốc Thành, Sông Chanh,

Quán Chuột; bơm ra sông Châu gồm Quang Trung, Đinh Xá, Triệu Xá. Xem chi tiết các công trình đầu mối tiêu ở hình 1.

BẢN ĐỒ HỆ THỐNG TIÊU THOÁT NƯỚC BẮC NAM HÀ



Hình 1. Bản đồ hệ thống thủy lợi BNH.

2.2. Mô hình PCSWMM

2.2.1. Giới thiệu mô hình PCSWMM

Mô hình PCSWMM (*Personal Computer Storm Water Management Model*) là một mô hình mô phỏng động lực học dòng chảy nước mưa, thường được sử dụng cho những mô

phòng đơn lẻ hoặc dài hạn về số lượng và chất lượng dòng chảy cho những khu vực mà diện tích đô thị là chủ yếu [20]. Thành phần dòng chảy mặt trong PCSWMM là kết quả của việc thu gom nước từ các bề mặt hứng nước (*Subcatchment*), đó là nơi nhận lượng mưa, hình thành dòng chảy và tải lượng ô nhiễm. Thành phần truyền tải của PCSWMM vận chuyển dòng chảy này thông qua một hệ thống những đường ống, kênh mương, thiết bị trữ nước/ xử lý, bơm và công trình điều tiết. PCSWMM theo dõi số lượng và chất lượng của dòng chảy sinh ra trong phạm vi mỗi lưu vực thu nước và theo dõi lưu lượng, độ sâu dòng chảy, chất lượng nước trong mỗi ống hoặc kênh trong suốt thời đoạn mô phỏng (bao gồm rất nhiều các bước thời gian). Phương trình thể hiện sự bảo toàn khối lượng và động lượng đối với dòng chảy tự do không ổn định trong kênh hoặc đường ống trong mô hình PCSWMM được áp dụng là phương trình Saint-Venant và có thể được biểu thị như sau:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \tag{2}$$

Trong đó x là khoảng cách (m); t là thời gian (giây); A là diện tích mặt cắt ngang (m²); Q là lưu lượng trong kênh hoặc đường ống (m³/s); H là mực nước trong kênh hoặc ống dẫn (Z + Y) (m); Z là độ cao của đáy kênh hoặc đáy ống dẫn (m); Y là độ sâu nước trong kênh hoặc của ống dẫn (m); S_f là độ dốc ma sát (tồn thất đầu trên một đơn vị chiều dài); g là gia tốc trọng trường (m/s).

Độ dốc ma sát S_f có thể được biểu thị theo phương trình Manning, được sử dụng để mô hình hóa dòng chảy đều:

$$S_f = \left(\frac{n}{1.486}\right)^2 \frac{Q|U|}{AR^{4/3}} \tag{3}$$

Trong đó n là hệ số nhám Manning; R là bán kính thủy lực của mặt cắt ngang dòng chảy (m); U là vận tốc dòng chảy, bằng Q/A (m/s).

Đối với mô hình 1 chiều (1D), PCSWMM sử dụng phương pháp sai phân ẩn-lùi Euler để làm tăng độ ổn định của mô hình [23]. Đối với mô hình 2 chiều (2D), PCSWMM 2D mở rộng cách tiếp cận dòng chảy động lực học hoàn toàn 1D trong PCSWMM – USEPA SWMM5 để lập mô hình dòng chảy bề mặt tự do 2 chiều (2D) [24]. Mô hình 2 chiều PCSWMM sử dụng các phương trình Saint-Venant để giải quyết từng thành phần của một ô tính toán, dọc theo một mạng lưới các môi nổi và các ống dẫn mở đại diện cho vấn đề.

PCSWMM 2D đại diện cho miền tính toán 2 chiều bằng lưới lục giác (hexagonal) hoặc lưới chữ nhật (*rectangular*) cho toàn bộ khu vực nghiên cứu và đại diện cho mỗi ô lưới tính toán 2 chiều (2D cells) với các nút tính toán 2 chiều (2D nodes). Cao độ đáy trung bình trong mỗi ô được sử dụng làm cao độ đáy nút tính toán (2D nodes). Các nút liền kề liên kết với nhau bởi các kênh hở chữ nhật hoặc trong một số trường hợp là các ống dẫn (2D conduits). Một diện tích bề mặt nhỏ thường là 0,1 m² được cung cấp cho các nút (2D nodes) và sau đó mỗi ô (2D cells) có một ống dẫn (2D conduits) được kết nối với diện tích bề mặt của mỗi ô để duy trì tính liên tục của tính toán. Chiều dài và chiều rộng của ống dẫn được điều chỉnh dựa trên tỷ lệ cụ thể phụ thuộc vào số lượng liên kết được kết nối với nút, được xác định theo kinh nghiệm từ các thử nghiệm kích bản, trường hợp tính toán khác nhau. Cuối cùng, PCSWMM tính toán vận tốc nước trung bình theo độ sâu cho mỗi ô (2D cells) thông qua tính toán tổng vectơ của các vận tốc liên quan đến mỗi dòng chảy rời khỏi ô (2D cells).

PCSWMM coi máy bơm như các liên kết có mối quan hệ được xác định trước giữa tốc độ dòng chảy Q và mực nước H hoặc một số thay thế phù hợp. Mối quan hệ này được xác định bởi Đường cong đặc tính bơm do người sử dụng cung cấp.

2.2.2. Thiết lập mô hình PCSWMM cho hệ thống BNH

- Lập sơ đồ tính toán trong PCSWMM

Sơ đồ tính toán cho hệ thống BNH trong PCSWMM bao gồm:

+ 273 tiêu lưu vực (*subcatchments*) liên kết với 24 trạm mưa (*rain gage*); Chi tiết thiết lập các tiêu lưu vực tiêu trong mô hình PCSWMM ở Hình 4a.

+ 377 nút (*junctions*); 12 trạm bơm tiêu trực tiếp ra các sông tiêu qua 12 cửa xả (*outfalls*) và các công trình điều tiết trên hệ thống. Chi tiết thiết lập các nút và cửa xả trong mô hình PCSWMM ở Hình 4b.

+ 355 đoạn kênh tiêu (*conduits*) được khảo sát năm 2020 từ 27 tuyến kênh tiêu nội đồng hệ thống BNH với tổng chiều dài các tuyến khảo sát là khoảng 323 km. Chi tiết thiết lập các kênh tiêu trong mô hình PCSWMM ở Hình 4c.

+ Liên kết trong mô hình 1 chiều PCSWMM: các tiêu lưu vực tiêu được liên kết với 24 trạm mưa chuyên dụng của Công ty Khai thác công trình thủy lợi (KTCTTL) BNH (với nguyên lý các tiêu lưu vực sẽ liên kết với trạm mưa gần nhất); các tiêu lưu vực tiêu này được kết nối vào 377 nút tiêu; các nút tiêu được liên kết bởi các hệ thống kênh tiêu (*conduits*) và chảy qua các trạm bơm ra cửa xả tại 12 vị trí.

- Quyết định số 5470/QĐ-BNN-TCTL ngày 28/12/2016 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn ban hành Quy trình vận hành hệ thống BNH, trong đó có một số nội dung chính liên quan đến Vận hành tiêu nước như sau:

+ Quy trình hướng dẫn chi tiết trình tự vận hành các trạm bơm và các đập điều tiết phân vùng tiêu tương ứng với các trường hợp lượng mưa trên hệ thống và mực nước lũ ngoài sông.

+ Quy trình cũng quy định rõ mực nước không chế tại các vị trí trạm bơm và các điểm đo nội đồng tương ứng với các thời kỳ sinh trưởng của cây lúa.

+ Quy trình cũng quy định mực nước tối đa ngoài sông cho phép vận hành trạm bơm.

- Thiết lập vận hành công trình trong PCSWMM:

+ Vận hành trạm bơm: 13 trạm bơm đầu mỗi tiêu thuộc hệ thống BNH được thiết lập vận hành theo đường đặc tính bơm thực tế của các máy bơm. Các đường đặc tính bơm này được thiết lập ở dạng Pump Curve trong mô hình PCSWMM.

Vận hành trạm bơm trong mô hình PCSWMM có thể được thiết lập ở mô đun Control Rules, các điều kiện đưa vào Control Rule bao gồm: thời gian mô phỏng (SIMULATION TIME); mực nước tại điểm nút (DEPTH) hoặc lưu lượng trên một đoạn kết nối (FLOW); kết quả thực hiện sẽ ra lệnh cho bơm hoạt động (STATUS = ON) hoặc ngắt máy bơm (STATUS = OFF).

Trong nghiên cứu này, vận hành bơm mới chỉ đưa vào dạng đường quan hệ lưu lượng mực nước tại vị trí trạm bơm như trong hình 2. Việc thiết lập Control Rules xây dựng các kịch bản vận hành bơm sẽ tiến hành trong nghiên cứu tiếp sau của nghiên cứu này.

+ Vận hành cống xả trạm bơm: 13 cống xả (*Outfalls*) tại vị trí các trạm bơm đầu mỗi tiêu, trong điều kiện vận hành thực tế các trận mưa, các cống xả mở liên tục, mực nước ngoài sông được lấy theo số liệu thực tế tại công trình do Công ty KTCTTL BNH cung cấp.

+ Vận hành các đập điều tiết trên hệ thống: trong hệ thống BNH có 8 đập điều tiết Mỹ Đô, La Chợ, Vùa, Đập 3-2, Vĩnh Trụ, An Bài, Cánh Gà, Cầu Ghéo để phân vùng tiêu cho toàn bộ hệ thống, trong điều kiện thực tế khi xảy ra mưa lớn, các đập điều tiết này được đóng lại để đảm bảo phân vùng tiêu riêng biệt, khi cần thiết mới mở để tiêu hỗ trợ giữa các vùng tiêu. Thiết lập đập điều tiết sử dụng loại Orifices trong mô hình PCSWMM.

- Liên kết mô phỏng 1 chiều và 2 chiều trong PCSWMM

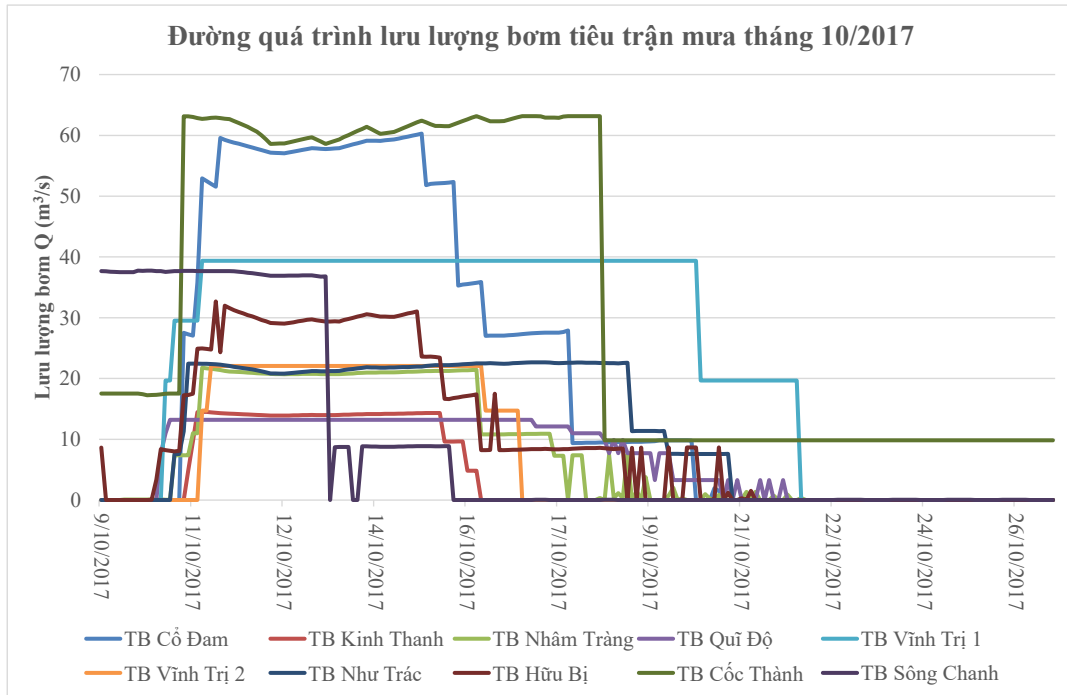
Để mô phỏng diễn biến ngập lụt, ứng hệ thống BNH, nghiên cứu đã sử dụng liên kết giữa mạng lưới thủy lực kênh tiêu 1 chiều và mô phỏng 2 chiều các khu ngập trong mô hình PCSWMM (Hình 4d) để mô phỏng diễn biến ngập lụt, ứng trên hệ thống theo thời gian diễn biến từng trận mưa. Lưới hai chiều được xây dựng dựa trên các thông số như sau:

+ Lưới tính toán: dạng lưới lục giác.

+ Ô lưới tính toán: Toàn hệ thống BNH chia thành 4.084 ô lưới tính toán.

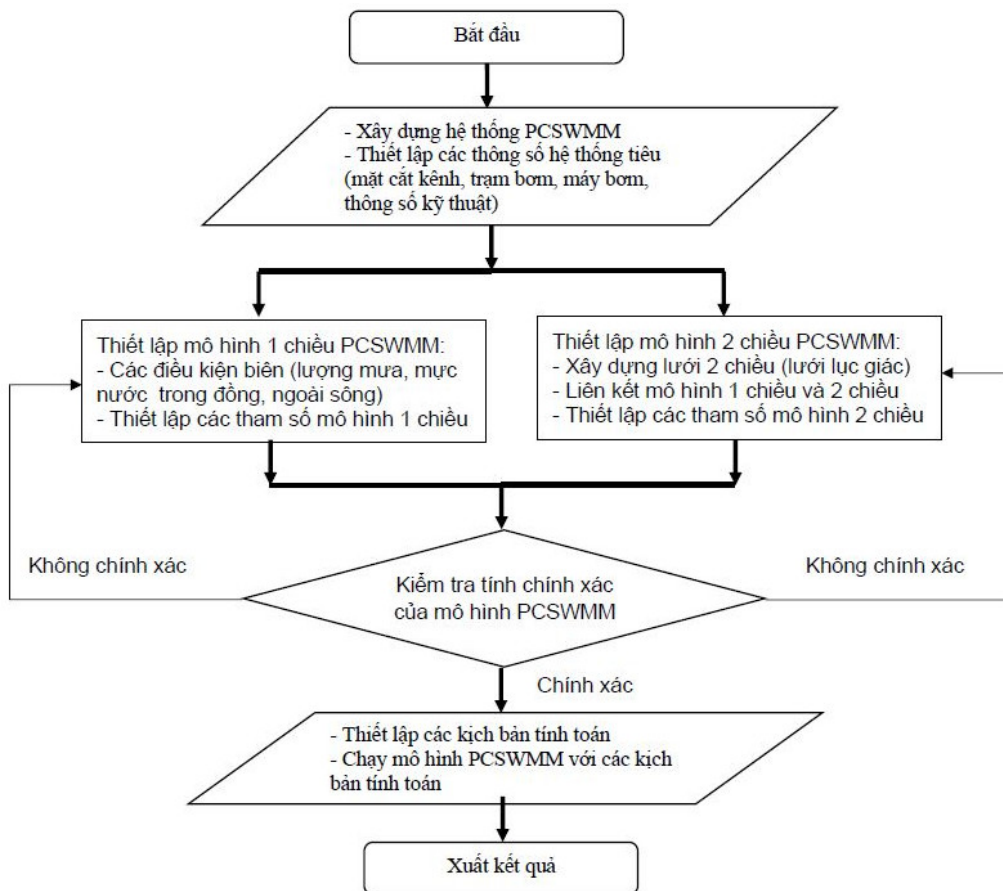
+ Cao độ địa hình: Được nội suy từ bản đồ địa hình 1/2.000 và 1/10.000, hệ tọa độ VN2000, được cung cấp bởi Trung tâm Thông tin dữ liệu và Đo đạc bản đồ đo năm 2010.

+ Số liên kết giữa 1 chiều tại nút tiêu (Junctions) và ô lưới 2 chiều (2D cells): 347 liên kết (dạng Orifices).

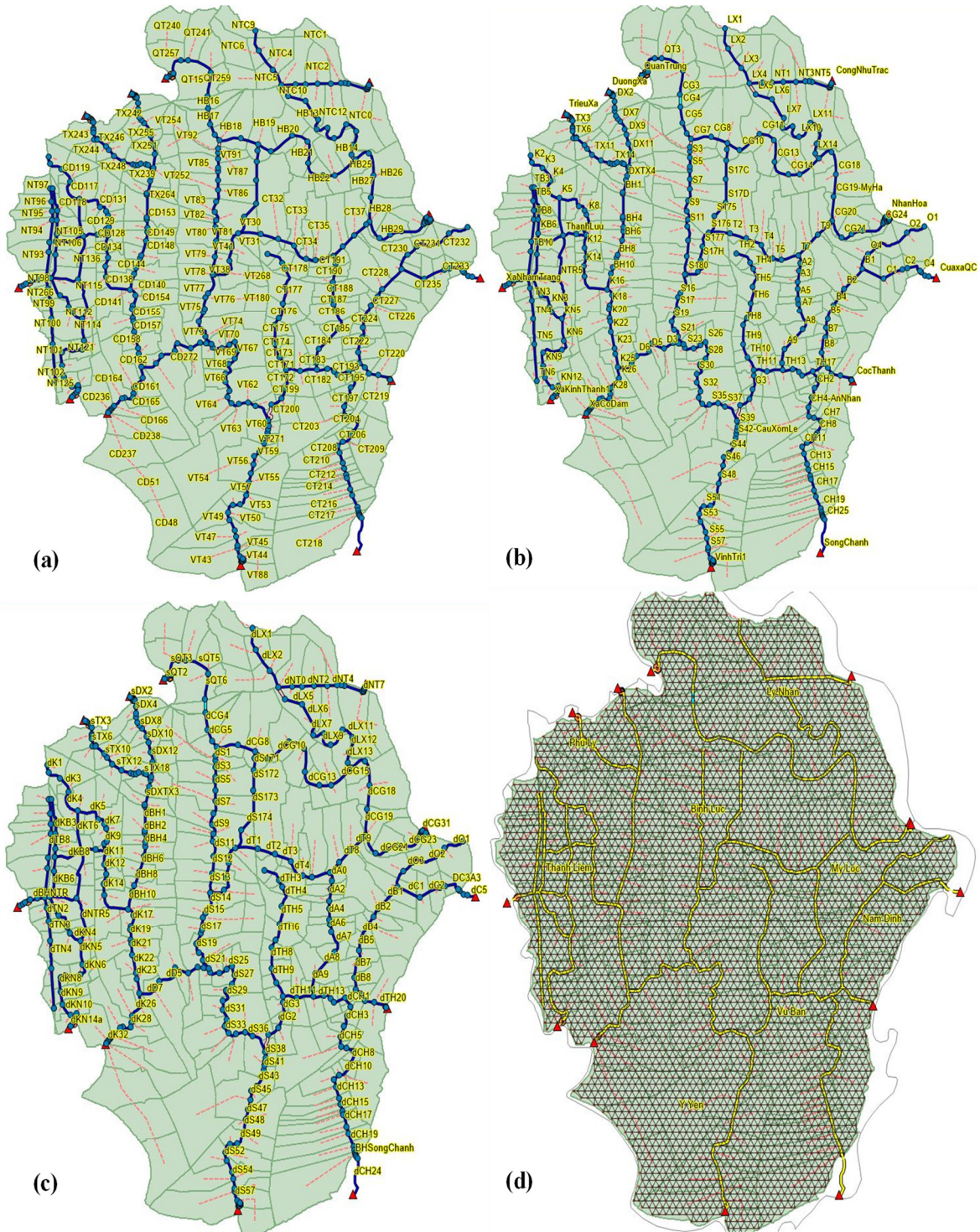


Hình 2. Lưu lượng bơm tiêu thực tế đưa vào mô hình PCSWMM.

- Sơ đồ khối tính toán dòng chảy cho hệ thống được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ khối tính toán dòng chảy cho hệ thống BNH.



Hình 4. (a) Thiết lập các tiêu lưu vực tiêu (Subcatchments) hệ thống thủy lợi BNH trong PCSWMM; (b) Thiết lập các nút tiêu (Junctions) và cửa xả (Outfalls) hệ thống thủy lợi BNH trong PCSWMM; (c) Thiết lập các tuyến kênh tiêu (Conduits) hệ thống thủy lợi BNH trong PCSWMM; (d) Thiết lập ô lưới 2 chiều (2D cells) trong PCSWMM.

2.3. Mô phỏng hiệu chỉnh và kiểm định mô hình PCSWMM

Để đảm bảo bộ mô hình kết nối 1 chiều và 2 chiều PCSWMM hoạt động chính xác, mô phỏng tốt trận ngập lụt trong thực tế, nhóm nghiên cứu lựa chọn trận mưa tháng 10/2017 để mô phỏng và hiệu chỉnh các tham số của mô hình. Trận mưa tháng 10/2017 gây ra ngập lụt nghiêm trọng cho hệ thống BNH, ảnh hưởng 29.256 ha diện tích nông nghiệp tỉnh Nam Định.

Bảng 1. Lượng mưa thực đo tháng 10/2017 khu vực Hà Nam thuộc hệ thống BNH.

Ngày	Khu vực Hà Nam (T10/2017)						
	Lý Nhân	Như Trác	Thanh Liêm	Nhâm Tráng	Kinh Thanh	Bình Lục	Bình quân
1	4,0	12,0	9,0	26,0	24,0	32,0	17,8
2			10,0			4,0	
3	69,0	77,0	14,0	17,0	12,0	13,0	33,7
4	3,0	21,0	109,0	134,0	75,0	55,0	66,2
5	13,0	18,0	12,0	15,0	12,0	7,0	12,8
6				7,0			1,2
7	28,0	31,0	51,0	40,0	28,0	45,0	37,2
8	11,0	8,0	12,0	12,0	1,0	8,0	8,7
9							
10	227,0	213,0	235,0	245,0	250,0	195,0	227,5
11	154,0	98,0	142,0	103,0	95,0	121,0	118,8
12		20,0			10,0		5,0
13		5,0	4,0	8,0	5,0	3,0	4,2

Bảng 2. Lượng mưa thực đo tháng 10/2017 khu vực Nam Định thuộc hệ thống BNH.

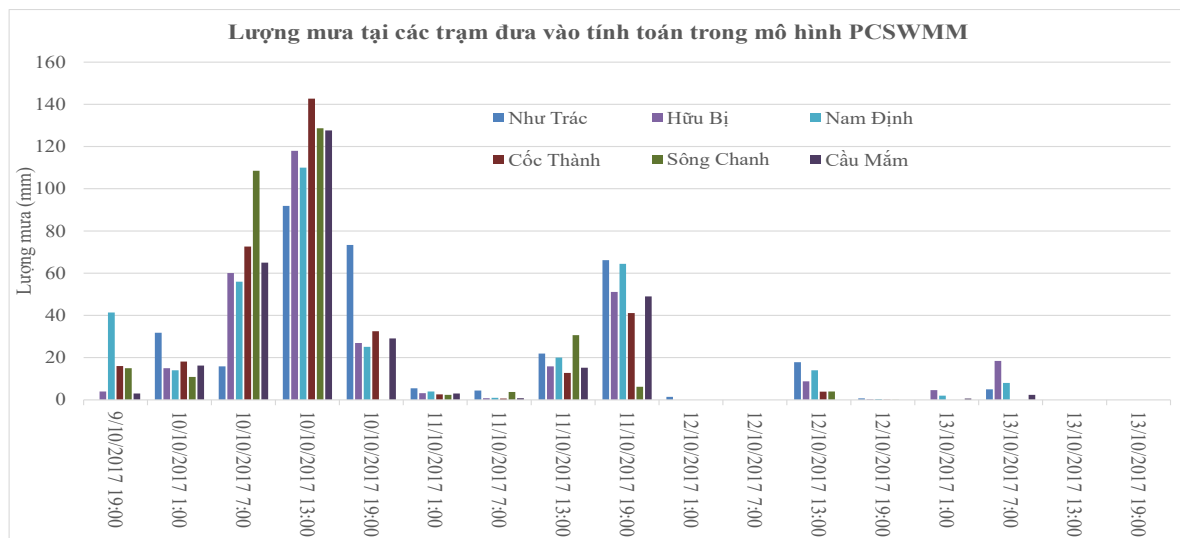
Ngày	Khu vực Nam Định (T10/2017)										
	Hữu Bị	Thành Phố	Cốc Thành	Gôi	Dần	Sông Chanh	Vĩnh Trĩ	Cổ Đàm	Ý Yên	Quĩ Độ	BQ
1		2,0	5,0	1,0	3,0			15,0	14,0	15,0	5,5
2											
3	95,0	41,0	61,0	58,0	66,0	40,0	41,0	10,0	14,0	18,0	44,4
4	8,0	7,0	41,0	62,0	69,0	24,0	10,0	74,0	36,0	52,0	38,3
5		10,0	15,0	30,0	25,0	6,0	29,0	12,0	14,0	22,0	16,3
6	6,0		21,0	15,0	17,0		5,0	4,0	12,0	10,0	9,0
7	79,0	67,0	64,0	49,0	58,0	42,0	20,0	30,0	41,0	53,0	50,3
8	11,0	6,0	3,0	1,0	4,0		2,0	7,0	2,0		3,6
9	4,0	5,0	16,0	13,0	3,0	15,0			33,0		8,9
10	220,0	207,0	266,0	252,0	238,0	248,0	197,0	282,0	246,0	242,0	239,8
11	71,0	75,0	57,0	93,0	68,0	43,0	70,0	111,0	71,0	126,0	78,5
12	9,0		4,0			4,0	20,0			9,0	4,6
13	23,0	18,0		7,0	3,0			7,0	12,0	16,0	8,6

Để kiểm định lại mô hình PCSWMM, nhóm nghiên cứu lựa chọn trận mưa tháng 9/2003 để kiểm định lại mô hình.

Bảng 3. Lượng mưa thực đo tháng 9/2003 thuộc hệ thống BNH.

Ngày	Khu vực Hà Nam (T9/2003)						Khu vực Nam Định (T9/2003)						
	Lý Nhân	Như Trác	Thanh Liêm	Nhâm Tràng	Bình Lục	Hữu Bị	Cốc Thành	GóI	Dần	Sông Chanh	Vinh Trị	Cổ Đam	Ý Yên
1				5		15							
2				47								22	
3								2	4,5	13	3		
4				28		45	23	15	15				
5	90	98		21						17	13	17	12
6		3	40		32	20						28	
7	7	27					8	27	40	27	15	23	57
8	3		34	187	5	90	32	31	14	205	23	17	26
9	153	231,5	258	146	140	256	260	217,5	341	194	180	190	221
10	80	82,5	80	16	89	20	146	102	103	14	120	55	57
11	10	8	20		22	15		5,5	18	2	35,5	2	10
12	19	2,5					20	20,5	25	19	22	15	27
13	4	2	36	75	29	34	70	128	52,5	149	81	65	85
14	21	17	41	10	25	8,5	15	31	13,7		61	42	40
22							2						
29	16	10,5											
30			43	7	62	30		25,5	10	30	6	29	28
Tổng	403	482	552	542	404	533,5	576	605	636,7	670	559,5	505	563

Để so sánh, đánh giá giữa số liệu mực nước tại vị trí trạm bơm và tại các vị trí đập điều tiết trong hệ thống thực đo và mô phỏng, kiểm định, trong nghiên cứu này đã sử dụng hệ số tương quan Pearson r, hệ số xác định R², hệ số hiệu quả của mô hình Nash–Sutcliffe (NSE), Sai số toàn phương trung bình RMSE và Sai số tuyệt đối MAE. Giá trị mưa đưa vào mô hình PCSWMM sẽ nội suy từ lượng mưa 6h/op tại các trạm mưa Quốc gia tại Nam Định, Hà Nam, Ninh Bình, Hưng Yên (đây là 4 trạm mưa bao phủ lên toàn bộ hệ thống BNH).

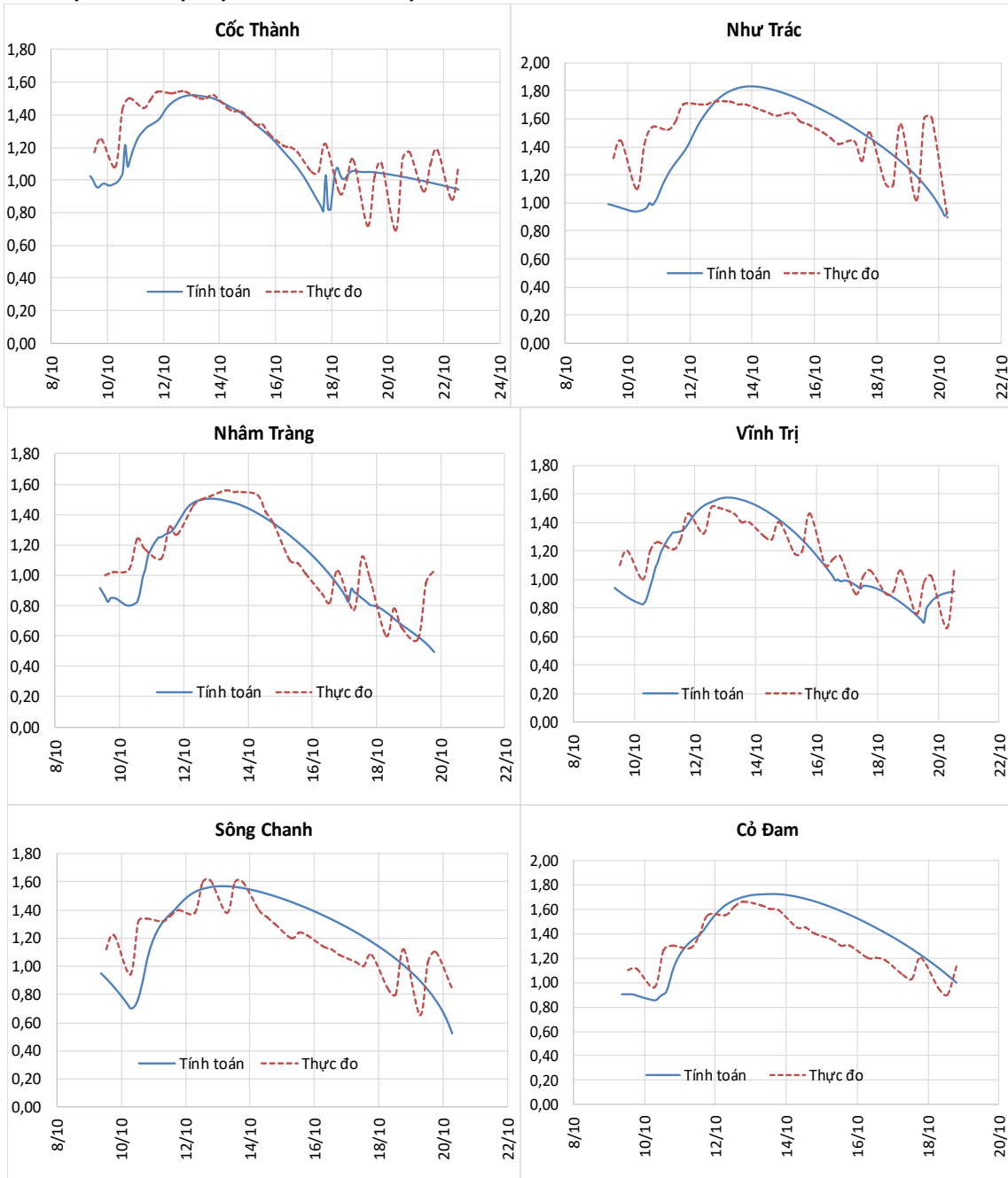


Hình 5. Giá trị mưa 6h/op đưa vào tính toán trong mô hình PCSWMM trận mưa tháng 10/2017 tại vị trí các trạm đo mưa chuyên dùng hệ thống BNH.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Kết quả mô phỏng, hiệu chỉnh mô hình PCSWMM với trận mưa tháng 10 năm 2017

Quá trình mô phỏng, hiệu chỉnh mô hình PCSWMM kết nối 1 chiều và 2 chiều, trong nghiên cứu này sử dụng số liệu thực đo tại bể hút các trạm bơm chính trong hệ thống BNH, bao gồm trạm bơm Cốc Thành, Như Trác, Nhâm Tràng, Vĩnh Trị, Sông Chanh và Cỏ Đam. Quá trình hiệu chỉnh mô hình sử dụng số liệu trận mưa thực đo từ ngày 08/10 đến 22/10 trên phạm vi hệ thống BNH. Đường quá trình mực nước thực đo và tính toán từ mô hình tại vị trí 06 trạm bơm được thể hiện trong hình 6, kết quả cho thấy mô hình đã mô phỏng khá tốt quá trình mực nước tại vị trí bể hút các trạm bơm.



Hình 6. So sánh giữa giá trị thực đo và tính toán kết quả mô phỏng hiệu chỉnh mô hình trận mưa tháng 10/2017 tại vị trí các trạm bơm chính hệ thống BNH.

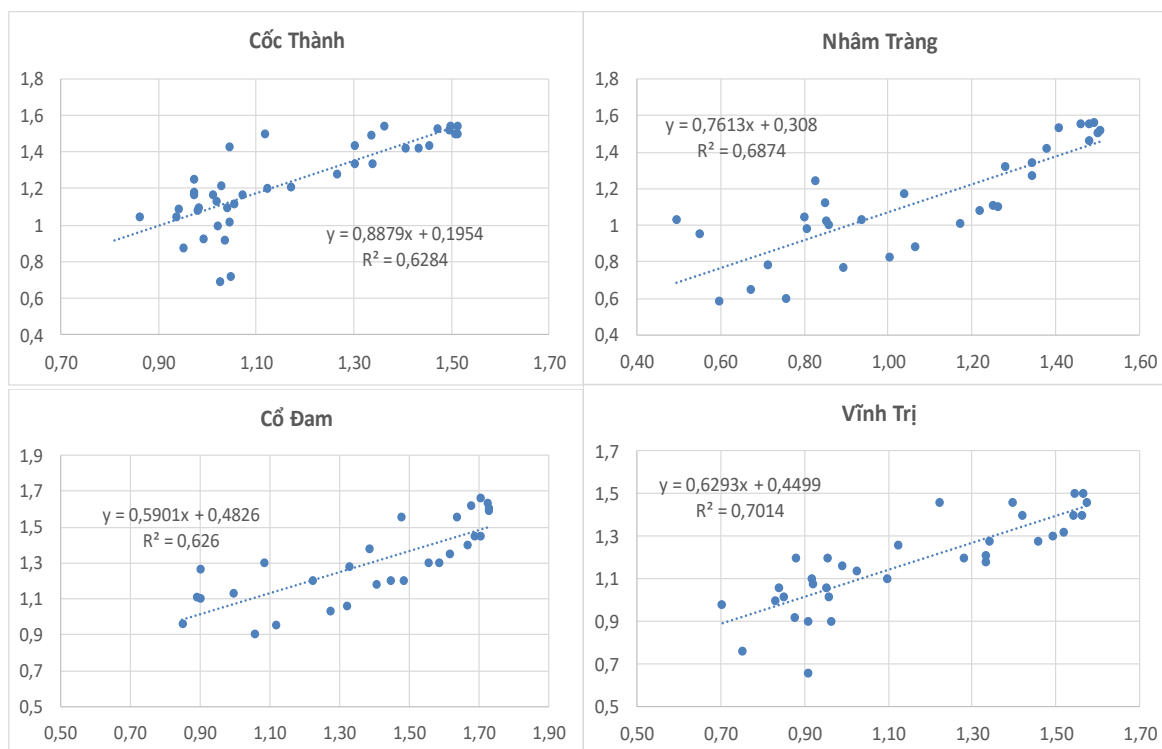
Ngoài ra, nghiên cứu cũng sử dụng 5 bộ chỉ số để đánh giá chất lượng mô hình đó là chỉ số r , R^2 , NSE, RMSE và MAE. Kết quả tính toán chi tiết các chỉ số trong bảng 4. Chỉ số r tại vị trí 4 trạm bơm dao động trong khoảng 0,79 đến 0,84; chỉ số R^2 dao động trong khoảng 0,63 đến 0,70; chỉ số NSE dao động trong khoảng 0,17 đến 0,59; sai số RMSE dao động trong khoảng 0,16 m đến 0,20 m và sai số MAE dao động trong khoảng 0,12 m đến 0,18 m.

Bảng 4. Kết quả tính toán các chỉ số đánh giá mô hình.

Chỉ số	Cốc Thành	Nhâm Tràng	Vĩnh Trị	Cổ Đam
r	0,79	0,83	0,84	0,79
R^2	0,63	0,69	0,70	0,63
NSE	0,54	0,59	0,44	0,17
RMSE (m)	0,16	0,18	0,16	0,20
MAE (m)	0,12	0,14	0,13	0,18

Qua kết quả tính toán, có thể thấy rằng khi tính cho chỉ số r và R^2 cho kết quả khá tốt; tuy nhiên chỉ số NSE cho kết quả khá thấp, đặc biệt là tại vị trí trạm bơm Vĩnh Trị và Cổ Đam, điều này có thể lý giải cho mực nước thực tế tại các trạm bơm có biến động rất lớn do quá trình vận hành của con người, trong khi đó mực nước được mô phỏng từ mô hình được tính toán từ các phương trình liên tục, động lượng (hệ phương trình Saint Venant) có xu thế là đường cong trơn, không mô phỏng được chế độ thủy lực của dòng chảy xiết và xoáy tại bể hút các trạm bơm. Vì vậy kết quả tính toán sẽ khác rất nhiều so với số liệu quan trắc thực tế, điều này có thể thấy trên bảng 4. Nếu có số liệu quan trắc mực nước trên hệ thống kênh nội đồng để so sánh thì có thể NSE sẽ cao hơn.

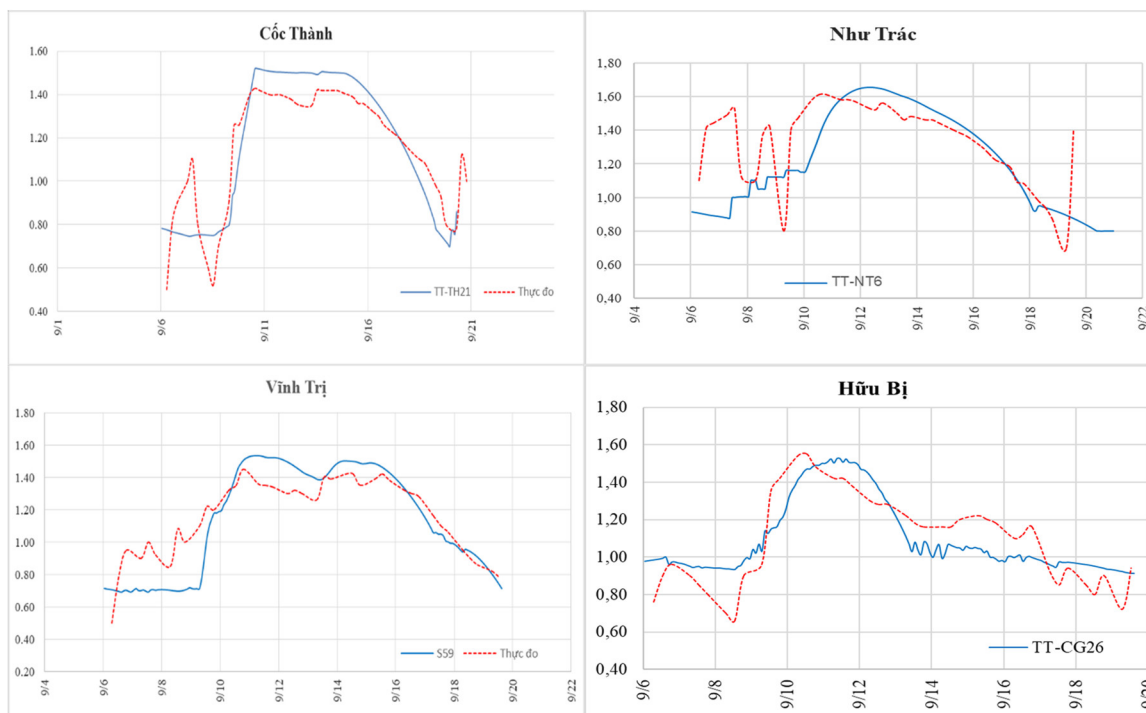
Nghiên cứu đã xây dựng các đường quan hệ tương quan giữa mô phỏng và thực đo và đã tính toán hệ số R^2 chi tiết trong hình 7.



Hình 7. Đường quan hệ tương qua giữa mô phỏng và thực đo tại vị trí các trạm bơm.

3.2. Kết quả kiểm định mô hình PCSWMM với trận mưa tháng 9 năm 2003

Kết quả kiểm định lại các thông số mô hình PCSWMM thông qua tính toán với trận mưa tháng 9/2003, kết quả mực nước giữa tính toán và thực đo ở hình 8.



Hình 8. So sánh giữa giá trị thực đo và tính toán kiểm định mô hình tại vị trí các trạm bơm chính hệ thống BNH trận mưa tháng 9/2003.

Dựa vào kết quả kiểm định mực nước tại các vị trí trạm bơm và cầu ta nhận thấy: Kết quả kiểm định tại trạm trong ngày thời gian từ 6/9 đến 20/9/2003 chênh lệch phần đỉnh giữa tính toán và thực đo không quá 25 cm. Đường biểu diễn quá trình mực nước tính toán và thực đo là tương đồng. Mô hình đủ điều kiện để mô phỏng cho diễn biến ngập lụt, ứng trên hệ thống BNH.

3.3. Kết quả mô phỏng ngập ứng hệ thống BNH

Kết quả liên kết giữa mạng lưới thủy lực kênh tiêu 1 chiều và ô lưới 2 chiều trong mô hình PCSWMM đã mô phỏng được diễn biến ngập lụt, ứng trên toàn hệ thống BNH theo bước thời gian từng giờ (Hình 9).

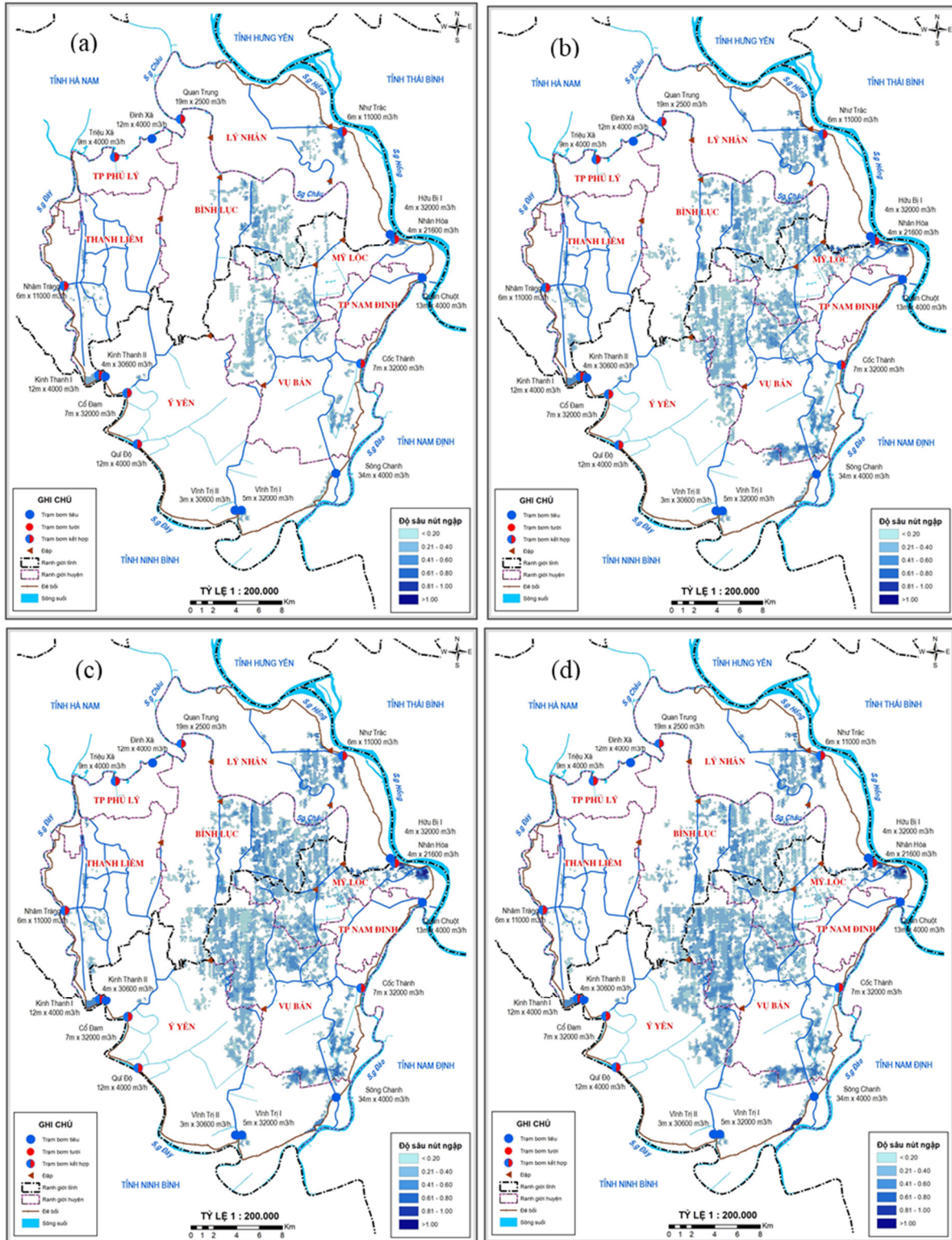
4. Kết luận

Nghiên cứu đã sử dụng mô hình PCSWMM để mô phỏng ngập ứng hệ thống thủy lợi BNH. Kết quả mô phỏng, hiệu chỉnh mô hình với trận mưa trong tháng 10/2017. Với trận mưa 10/2017, kết quả chỉ ra chỉ số r đạt 0,79–0,84; chỉ số R^2 đạt 0,63–0,70; chỉ số NSE đạt 0,17–0,59; sai số RMSE trong khoảng 0,16 m đến 0,20 m và sai số MAE trong khoảng 0,12 m đến 0,18m. Nghiên cứu đã kiểm định lại thông số mô hình bằng trận mưa tháng 9/2003, kết quả chỉ ra mô hình phù hợp cho mô phỏng ngập lụt, ứng. Nghiên cứu đã xây dựng kết nối 1 chiều và 2 chiều trong mô hình PCSWMM, kết quả đã xây dựng bản đồ ngập ứng tương ứng với trận mưa tháng 10/2017, đã mô phỏng diễn biến trận mưa từ 13/10 đến 21/10 trên hệ thống BNH. Kết quả nghiên cứu phục vụ dự báo ngập lụt ứng, kết quả tính toán mực nước và bản đồ ngập từ mô hình có thể được sử dụng phục vụ công tác chỉ đạo điều hành tiêu nước phục vụ sản xuất nông nghiệp.

Do đây là nghiên cứu thử nghiệm áp dụng mô hình PCSWMM trong mô phỏng diễn biến ngập lụt, ứng trong hệ thống thủy lợi ở Việt Nam, và do hạn chế về số liệu chi tiết khu vực ngập lụt, ứng nội đồng ở hệ thống BNH để kiểm định lại kết quả từ mô hình nên kết quả mô phỏng từ mô hình có thể không chính xác như trong thực tế.

Hiện này, việc xây dựng bản đồ ngập lụt, ứng của nghiên cứu còn một số tồn tại, do chưa thu thập được đầy đủ số liệu tại nội đồng, kết quả mô phỏng 2 chiều mới dựa trên mực nước tại các vị trí trên kênh trục tiêu.

Trong giai đoạn tiếp theo, sẽ nghiên cứu xây dựng kịch bản vận hành trạm bơm dựa trên mô đun Control Rules của mô hình PCSWMM, và đưa ra các bản đồ ngập lụt, ứng tương ứng với các kịch bản tính toán.



Hình 9. Quá trình diễn biến ngập hệ thống BNH trận mưa tháng 10/2017: (a) 07h ngày 11/10, (b) 07h ngày 13/10, (c) 07h ngày 15/10, (d) 07h ngày 17/10.

Đóng góp cho nghiên cứu: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: B.T.H.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: L.V.S., B.T.H.; Thu thập, phân tích, xử lý số liệu: N.D.Q., P.V.T.; Viết bản thảo bài báo: B.T.H., B.T.V.; Chỉnh sửa bài báo: L.V.S.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn: “Nghiên cứu dự báo tình hình ngập úng trên hệ thống thủy lợi BNH nhằm hỗ trợ ra quyết định vận hành bơm tiêu nước theo thời gian thực”, chủ trì thực hiện là Viện Quy hoạch Thủy lợi.

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. Viện Quy hoạch Thủy lợi, Báo cáo tổng kết nhiệm vụ Dự báo nguồn nước và xây dựng kế hoạch sử dụng nước phục vụ sản xuất nông nghiệp sông Châu, 2019.
2. Rossman, L.A. SWMM (stormwater management model), version 5, user manual,, Washington, DC: Environmental Protection Agency, 2004.
3. Obropta, C.C.; Kardos, J.S. Review of urban stormwater quality models: Deterministic, stochastic, and hybrid approaches. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **2007**, *43*(6), 1508–1523.
4. Grimm, N.B.; Faeth, S.H.; Golubiewski, N.E.; Redman, C.L.; Wu, J.; Bai, X.; Briggs, J.M. Global change and the ecology of cities. *Science* **2008**, *319*, 756–760.
5. Rosengerg, E.A. and et. al., Precipitation extremes and the impacts of climate change on stormwater infrastructure in Washington State. *Clim. Change* **2010**, *102*(1–2), 319–349.
6. Dietz, M.E. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water Air Soil Pollut.* **2007**, *186*(1–4), 351–363.
7. Elliott, A.; Trowsdale, S. A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environ. Modell. Software* **2007**, *22*(3), 394–405.
8. Tsihrintzis, V.A.; Hamid, R. Modeling and management of urban stormwater runoff quality: A review. *Water Resour. Manag.* **1997**, *11*(2), 136–164.
9. Ngọc, Đ.X.; Tuyên, T.H.; Tùng, H.T. Mô phỏng thoát nước đô thị Huế trong trận mưa tháng 10 năm 2010. 2015.
10. Sở Giao thông Vận tải Thừa Thiên Huế, Ứng dụng mô hình hóa và GIS để cảnh báo nruy cơ ngập lụt cục bộ một số tuyến đường chính ở thành phố Huế. 2015.
11. Hương, P.T.L.; Văn C.T.; Nam, N.V. Nghiên cứu ứng dụng mô hình SWMM tính toán tiêu thoát nước lưu vực sông Tô Lịch. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2015**, *652*, 11–15.
12. Lan, P.T.H.; Quy, Đ.T. Đánh giá hiệu quả điều hòa thoát nước và đề xuất giải pháp quản lý bảo vệ hồ Hà Nội theo phương pháp đánh giá nhanh thủy văn (RHA) có sự tham gia của cộng đồng. *Hội thảo Khoa học thường niên Đại học Thủy lợi*, 2013.
13. Hương, P.T.L.; Văn C.T.; Nam, N.V. Khả năng ứng dụng phương pháp đánh giá nhanh thủy văn (RHA) có sự tham gia của cộng đồng trên lưu vực sông ở Việt Nam. *Hội thảo Khoa học thường niên Đại học Thủy lợi*, 2014.
14. Lân, N.T. Ứng dụng mô hình thủy văn EPA SWMM, sóng động lực trong phân tích mạng lưới thoát nước khu đô thị mới Lê Minh Xuân, huyện Bình Chánh, TP. Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ* **2020**, *18*, 90–95.
15. Sáu, P.N.; Nghiên, T.Đ. Tính toán thủy lực mạng lưới thoát nước mưa đô thị ảnh hưởng triều cường. *Tạp chí Cầu đường Việt Nam* **2012**, *10*, 42.
16. Hiếu, T.V. Nghiên cứu phương pháp phân vùng ngập và thoát nước đô thị nội thành TP. Hồ Chí Minh, 2003.

17. Akhter, M.S.; Hewa, G.A. The Use of PCSWMM for Assessing the Impacts of Land Use Changes on Hydrological Responses and Performance of WSUD in Managing the Impacts at Myponga Catchment, South Australia. *Water* **2016**, *8*, 511. <https://doi.org/10.3390/w8110511>.
18. Bagheri, K.; Requieron, W.; Tavakol, H. A Comparative Study of 2–Dimensional Hydraulic Modeling Software, Case Study: Sorrento Valley, San Diego, California, *J. Water Manage. Model* **2020**, 1–11.
19. Talbot, M.; McGuire, O.; Olivier, C.; Fleming, R. Parameterization and Application of Agricultural Best Management Practices in a Rural Ontario Watershed Using PCSWMM. *J. Water Manage. Model* **2016**, 1–10.
20. Computational Hydraulics International (CHI). PCSWMM User Manual, 2019.
21. Dũng, L.Đ. Luận án tiến sĩ kỹ thuật “Nghiên cứu xây dựng cơ sở khoa học đề xuất giải pháp nhằm nâng cao năng lực và hiệu quả của hệ thống tiêu BNH trong điều kiện biến đổi khí hậu nước biển dâng”, Đại học Thủy lợi, Hà Nội, 2017.
22. Niên giám thống kê tỉnh Nam Định và Hà Nam năm 2020.
23. Ascher, U.; Petzold, L. Computer Method for Ordinary Differential Equations and Differential-Algebraic Equations. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), Philadelphia, 1998.
24. James, R.; Finney, K.; Perera, N.; James, W.; Peyron, N. SWMM5/PCSWMM Integrated 1D-2D modeling. In Fifty Years of Watershed Modelin—Past, Present and Future, edited by A. S. Donigian, Richard Field and Michael Baker Jr. New York: Engineering Conferences International. ECI Symposium Series, 2012.

Study on application of PCSWMM model in flooding simulation of Bac Nam Ha irrigation system

Bui Tuan Hai^{1*}, Le Viet Son¹, Nguyen Duy Quang¹, Pham Van Trinh¹, Bui The Van¹

¹ Division of Northern Water Resources Planning, Institute of Water Resources Planning, Ministry of Agriculture and Rural Development, Hanoi, Vietnam; buituanhai@gmail.com; levietson2211@gmail.com; nguyenduyquang.wru@gmail.com; trinhpv274@gmail.com; vanbt53@wru.vn

Abstract: Bac Nam Ha Irrigation System is one of the largest irrigation systems in the Northern Delta region. The problem of drainage in the Bac Nam Ha system has always been one of the stressful issues, every year it is flooded greatly affecting agricultural production, especially in recent years such as 2016, 2017 and 2018. The research has used PCSWMM model to simulate inundation of Bac Nam Ha irrigation system, purpose building a model to serve management and drainage of flood drainage for agricultural production. Results of simulation, calibration and validation of the model with the rain in October 2017 and September 2003 give quite good results with the comparison of the water relations relation between real measurements and calculations from the model. The study used the coefficient of r , R^2 , NSE and errors of RMSE, MAE to evaluate the model. The study established a one-way and two-way connection in PCSWMM model, resulting in a flooded map corresponding to the rains.

Keywords: PCSWMM; Flooding simulation; Bac Nam Ha irrigation system.