

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP HIỆU CHỈNH MÔ HÌNH TOÁN SWMM VÀ LỰA CHỌN PHÂN PHỐI MƯA TRONG THIẾT KẾ HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC MƯA ĐÔ THỊ - ỨNG DỤNG CHO KHU VỰC THUỘC ĐÔ THỊ HỒNG HẠC, TỈNH BẮC NINH

Nguyễn Thanh Thủy^{1*}, Nguyễn Lan Hương², Nguyễn Việt Anh²

Tóm tắt: Trong Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 7957:2008 và bản cập nhật TCVN 7957:2023 đưa ra ba công thức để xác định cường độ mưa thiết kế, đồng thời đề xuất áp dụng mô hình thủy lực nhằm kiểm tra kích thước cống được tính toán sơ bộ theo công thức này. Tuy nhiên, việc sử dụng mô hình thủy lực trong thực tế gặp phải hai khó khăn chính: (i) yêu cầu có biểu đồ phân phối mưa thiết kế phù hợp và (ii) yêu cầu hiệu chỉnh và kiểm định các thông số của mô hình. Trong nghiên cứu này, tác giả đã thực hiện kiểm định chéo giữa kết quả mô phỏng của mô hình SWMM và giá trị lưu lượng cực đại được xác định theo công thức cường độ mưa giới hạn – phương pháp hiện đang được tin cậy và sử dụng rộng rãi trong thiết kế hệ thống thoát nước tại Việt Nam. Bên cạnh đó, nghiên cứu tiến hành mô phỏng với ba dạng mô hình mưa thiết kế khác nhau nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng của mô hình mưa thiết kế đến kết quả mô phỏng. Kết quả nghiên cứu đã đề xuất quy trình kiểm định chéo các thông số nhạy của mô hình SWMM có tính khả thi trong ứng dụng thiết kế. Đồng thời, nghiên cứu kiến nghị sử dụng phương pháp Chicago hay trận mưa điển hình được xác định theo mưa 10 phút lớn nhất trong xác định biểu đồ mưa thiết kế.

Từ khóa: Thiết kế hệ thống thoát nước mưa, SWMM, hiệu chỉnh, phân phối mưa.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mô hình SWMM được sử dụng rộng trong mô phỏng thoát nước mưa đô thị (Niazi et al., 2017). Các thông số của mô hình được (i) hiệu chỉnh thủ công hoặc (ii) hiệu chỉnh tự động. Hiệu chỉnh thủ công sẽ tiến hành thử dần trong khi hiệu chỉnh tự động sẽ sử dụng các hàm thuật toán tối ưu để tự động thực hiện các mô phỏng với các bộ giá trị của các thông số. Với ưu điểm tìm được các giá trị của bộ thông số cho các chỉ số đánh giá như NSE và R2 lớn nhất hay RMSE và MSE nhỏ nhất, nhiều nghiên cứu đã tiến hành nghiên cứu ứng dụng các thuật toán trí tuệ nhân tạo, ... để hiệu chỉnh thông số của mô hình SWMM (Annus et al., 2021; Shahed Behrouz et al., 2020; Zhong et al., 2023). Tuy nhiên, các nghiên cứu này đều dựa trên việc so sánh giữa quá trình lưu lượng tính toán từ mô hình và quá trình lưu lượng thực đo.

Trong trường hợp không có số liệu thực đo, một số nghiên cứu như đã lựa chọn 1 vị trí trên dòng hồ để hiệu chỉnh mô hình (Swilla et al., 2024). Giá trị lưu lượng tại vị trí này được đo đạc trực tiếp hoặc ước tính từ giá trị lưu lượng thực đo tại 1 dòng hồ khác. Cách ước tính này chỉ phù hợp trong trường

hợp hiệu chỉnh cho 1 khu vực đô thị đã được xây dựng hay các lưu vực tương tự nhau cả về điều kiện mặt đệm và khí tượng. Ngoài ra, phương pháp này chỉ phù hợp với trường hợp dòng chảy từ thượng lưu nhỏ để lưu lượng tại vị trí hiệu chỉnh phản ánh được đặc trưng của dòng chảy từ khu vực đô thị.

Đối với các khu vực được quy hoạch xây dựng đô thị, sau khi xây dựng đô thị, điều kiện mặt đệm thay đổi lớn nên lưu lượng đã được đo đạc trên các kênh, sông tiếp nhận trực tiếp sẽ có giá trị thiên nhỏ và không sử dụng được trong hiệu chỉnh, kiểm định mô hình. Bên cạnh đó, việc lựa chọn lưu vực tương tự về điều kiện mặt đệm và khí tượng rất khó thực hiện. Tiêu chuẩn Quốc gia về tính toán Thoát nước – Mạng lưới và Công trình bên ngoài năm 2008 (TCVN7957:2008) và bản cập nhật năm 2023 (TCVN7957:2023) đưa ra 3 phương pháp tính cường độ mưa lớn nhất thiết kế. Trong đó, công thức cường độ giới hạn được các đơn vị thiết kế hệ thống thoát nước mưa ở Việt Nam sử dụng phổ biến nhất. Vì vậy, nghiên cứu sẽ sử dụng phương pháp kiểm định chéo, cụ thể so sánh giữa kết quả lưu lượng dòng chảy lớn nhất tại cửa ra của tiểu lưu với kết quả lưu lượng thiết kế lớn nhất tính theo công thức cường độ giới hạn. Bên cạnh đó, trong tính toán thiết kế có một số phương pháp xây dựng mô hình phân phối mưa, nghiên cứu sẽ phân tích ảnh hưởng của các mô hình phân phối mưa đến kết quả mô phỏng.

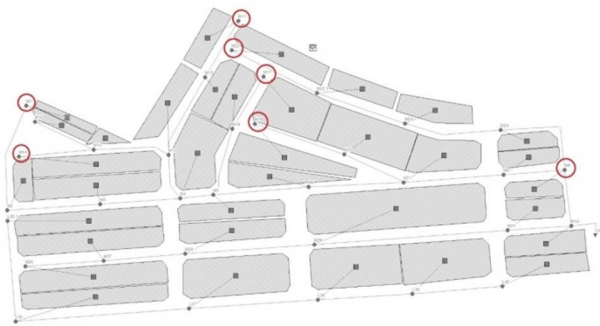
¹Trường Đại học Thủy lợi

²Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

* Tác giả liên hệ

Phương pháp được ứng dụng trong mô phỏng thiết kế thoát nước bằng mô hình SWMM một khu vực thuộc khu đô thị Hồng Hạc, tỉnh Bắc Ninh.

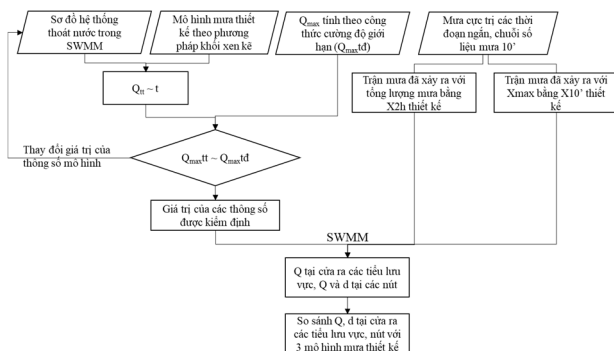
Hồng Hạc nằm ở phía Tây Nam tỉnh Bắc Ninh, tiếp giáp với huyện Gia Lâm thuộc Hà Nội, có tổng diện tích khoảng 200 ha. Khu vực nghiên cứu có địa hình bằng phẳng với độ cao từ 4,5 đến 5,0 mét với khí hậu nhiệt đới gió mùa. Theo số liệu tại trạm Láng, lượng mưa trung bình hàng năm khoảng 1700mm, tập trung chủ yếu từ tháng 5 đến tháng 10. Đất tại khu vực dự án trước khi khởi công chủ yếu là đất nông nghiệp, đất vườn và đất hoang. Một hệ thống thoát nước đã được thiết kế để xử lý tình trạng ngập lụt của khu vực dự án dựa trên chu kỳ lặp lại 3 năm, trong đó kích thước cống được lựa chọn căn cứ vào lưu lượng tối đa và thời gian tập trung nước, theo hướng dẫn của tiêu chuẩn TCVN 7957:2008 (Hình 1).



Hình 1. Sơ đồ hệ thống thoát nước trong khu vực nghiên cứu trong mô hình SWMM

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu tiến hành thực hiện 3 nội dung chính (i) xác định các mô hình mưa thiết kế, (ii) kiểm định mô hình (iii) và thực hiện các mô phỏng để phân tích đánh giá như sơ đồ được trình bày trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ thực hiện nghiên cứu

2.1. Phân phối mưa thiết kế

Trong mô phỏng ngập lụt đô thị, phương pháp Chicago hay còn gọi là phương pháp khối xen kẽ

được sử dụng phổ biến. Vì vậy, nghiên cứu sử dụng phương pháp Chicago để xác định chuỗi số liệu mưa đầu vào cho mô hình. Bên cạnh đó, trận mưa điển hình cũng thường được sử dụng trong thủy văn thiết kế. Do đó, nghiên cứu sẽ tiến hành xây dựng mô hình mưa thiết kế theo trận mưa điển hình (i) có lượng mưa 10 phút lớn nhất bằng mưa 10 phút ứng với tần suất thiết kế và (ii) tổng lượng mưa bằng mưa thời khoảng đó ứng với tần suất thiết kế. Theo TCVN7957:2023, thời khoảng mưa tối đa là 150-180 phút. Khu vực nghiên cứu có diện tích nhỏ nên chọn thời khoảng mưa là 120 phút.

2.2. Cơ sở lý thuyết mô hình SWMM

2.2.1. Mô phỏng mưa dòng chảy

Mô hình SWMM mô phỏng mưa dòng chảy trên các tiểu lưu vực theo phương pháp hồ chứa phi tuyến (Rossman Lewis A. & Huber Wayne C., 2016). Dòng chảy đến bao gồm dòng chảy sinh ra từ mưa lượng mưa và bất kỳ lưu vực phụ thượng nguồn. Dòng chảy ra bao gồm thấm, bốc hơi và dòng chảy mặt. Sức chứa của "hồ chứa" này là tổn thất tích đọng, là lưu trữ bề mặt tối đa được cung cấp bởi ao, làm ướt bề mặt và cất giữ trên tầng lá cây. Dòng chảy bề mặt sinh ra trên một đơn vị diện tích, Q , chỉ xảy ra khi độ sâu của nước trong "hồ chứa" vượt quá tổn thất tích đọng, d_s . Độ sâu của nước trên tiểu lưu vực (d) liên tục được cập nhật theo thời gian bằng cách giải phương trình cân bằng nước trên tiểu lưu vực. Đối với đất không thấm, lượng thấm sẽ bằng 0.

Khi $d > d_s$

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \alpha(d - d_s)^{5/3} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\alpha = \frac{1.49WS^{1/2}}{An} \quad \text{Eq. 2}$$

Khi $d \leq d_s$

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f \quad \text{Eq. 3}$$

a) Thấm

Mô hình cho phép tính thấm theo năm công thức thực nghiệm. Trong đó, phương pháp Horton, Horton sửa đổi, Green-Ampt và Green-Ampt sửa đổi cho phép tính thấm cho các loại đất khác nhau với các thông số là thuộc tính của đất mà không xét tới loại hình sử dụng đất. Phương pháp số đường cong cho phép tính thấm theo từng loại hình sử dụng đất và loại đất (Rossman & Simon, 2022).

b) Bốc hơi

Mô hình cho phép nhập số liệu bốc hơi dưới dạng hằng số, chuỗi số liệu theo thời gian hoặc tính theo nhiệt độ. Nghiên cứu thực hiện đánh giá cho các trận mưa diễn ra trong thời gian 2 tiếng nên lượng bốc hơi rất nhỏ, không đáng kể xấp xỉ bằng 0.

c) Dòng chảy trên bề mặt lưu vực

Dòng chảy trên bề mặt lưu vực được tính theo công thức Manning (Rossman, 2017).

$$Q = \frac{1}{n} W S^{1/2} (d - d_s)^{5/3} \quad \text{Eq. 4}$$

2.2.2. Mô phỏng thủy lực

Mô phỏng thủy lực hệ thống thoát nước: nước từ các tiểu lưu vực sẽ được thu vào hệ thống cống ngầm thoát nước qua các ga thu. Dòng chảy trong ống được mô tả ở 2 trạng thái bao gồm chảy không áp và chảy có áp. Trong trường hợp dòng chảy có áp, 1 lượng nước có thể tràn ngược lên miệng cống thu.

a) Dòng chảy không áp:

Diễn toán dòng chảy trong cống trong EPA-SWMM được xác định bởi hệ phương trình Saint Venant cho dòng không ổn định.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad \text{Eq. 5}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_o \right) + gAS_f = 0 \quad \text{Eq. 6}$$

b) Dòng chảy có áp

Đối với các cống chính, mô hình sử dụng phương trình Hazen-Williams hoặc Darcy-Weisbach khi xảy ra dòng chảy có áp suất. Nghiên cứu sử dụng phương trình Hazen-Williams. Lượng nước dâng lên tại các hồ ga được ước tính theo phương pháp Preissmann slot.

2.3. Kiểm định mô hình SWMM

Gao et. al đã sử dụng phương pháp dò tìm Morris (Zhong et al., 2023) để xác định được 7 thông số nhạy nhất trong mô hình mô phỏng của SWMM bao gồm: N_{imperv} , N_{perv} , D_{imperv} , D_{perv} và Min_rate , Max_rate , $Decay_rate$ (Gao et al., 2023). Trong đó, 3 thông số cuối là 3 thông số mô phỏng thấm theo phương pháp Horton. Phương pháp thấm Horton có nhược điểm là chỉ xét tới loại đất mà không xét tới ảnh hưởng của sử dụng đất. Vì vậy, nghiên cứu lựa chọn phương pháp số đường cong để tính thấm trong tính toán mưa dòng chảy trên các tiểu lưu vực với thông số là số đường cong CN. Các thông số được lựa chọn hiệu chỉnh và kiểm định có khoảng giá trị như trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số nhập của mô hình SWMM

STT	Ký hiệu thông số	Khoảng giá trị	Tên thông số
1	N_{imperv}	0.01-0.05	Hệ số nhám Manning N ở khu vực không thấm
2	N_{perv}	0.05-0.4	Hệ số nhám Manning N ở khu vực thấm
3	D_{imperv}	0.2-10	Độ sâu lớp nước tồn thất tích đọng ở khu vực không thấm
4	D_{perv}	2-20	Độ sâu lớp nước tồn thất tích đọng ở khu vực thấm
5	CN	30-100	Số đường cong

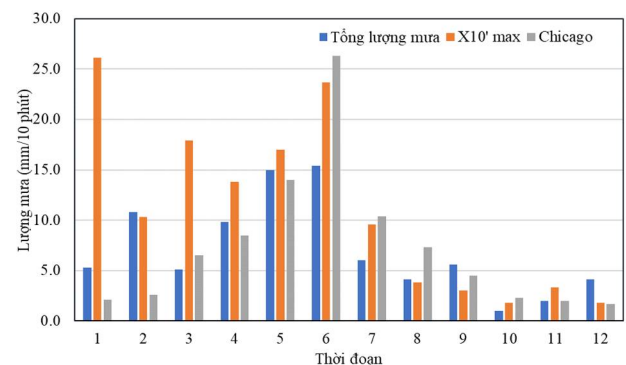
Giá trị các thông số của các tiểu lưu vực được xác định dựa trên so sánh kết quả giữa lưu lượng lớn nhất (Q_{max_SWMM}) tại các nút này nằm ở thượng lưu của các tuyến cống chỉ nhận nước từ 1 tiểu lưu vực với giá trị lưu lượng lớn nhất được tính theo công thức cường độ giới hạn (Q_{max_td}).

2.4. Dữ liệu đầu vào và các kịch bản tính toán

Nghiên cứu thực hiện 3 mô phỏng ứng với mô hình mưa thiết kế với chu kỳ lặp lại $T = 3$ năm được xác định theo phương pháp Chicago (TH1), theo trận mưa điển hình về tổng lượng mưa (TH2) và theo trận mưa điển hình về mưa 10 phút lớn nhất ($X_{10'_{max}}$) (TH3). Trong đó, dữ liệu mưa trong mô phỏng TH1, mô hình mưa đã được xác định trong nghiên cứu trước của tác giả (Nguyễn Thanh Thủy & nnk, 2025). Để thiết lập hệ thống thoát nước trong mô hình SWMM, bản vẽ và số liệu thiết kế hệ thống thoát nước cho khu đô thị Hồng Hạc được thu thập và sử dụng.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

3.1. Phân phối mưa thiết kế



Hình 3. Biểu đồ mô hình mưa thiết kế theo (i) trận mưa điển hình theo tổng lượng mưa lớn nhất, (ii) trận mưa điển hình theo lượng mưa 10 phút lớn nhất và (iii) phương pháp Chicago

Dựa vào số liệu thực đo tại trạm, trận mưa điển hình được chọn trong TH2 là từ 20h10' tới 22h ngày 11/6/1989 và trận mưa điển hình trong TH3 được chọn là từ 02h50' tới 04h40' ngày 07/07/1994 (Hình 3). $X_{10'_{max}}$ trong mô hình phân phối mưa

ở TH2 nhỏ hơn giá trị tương ứng trong TH1 và TH3 là 10 mm với thời gian xuất hiện ở chính giữa thời khoảng mưa. Trong khi đó, $X_{10'_{max}}$ trong mô hình phân phối mưa ở TH3 có giá trị bằng $X_{10'_{max}}$ trong mô hình phân phối mưa ở TH1 với thời gian xuất hiện ở đầu thời đoạn đầu. Lượng mưa các thời đoạn trong 50 phút đầu tiên được xác định theo cả 2 trận mưa điển hình đều lớn hơn các giá trị tính theo phương pháp Chicago.

3.3. Kết quả kiểm định chéo

Bảng 2. Kết quả kiểm định chéo của các thông số mô hình SWMM

Nút	Q_{max_td} (m^3/s)	Q_{max_SWMM} (m^3/s)	ΔQ (%)
M1	0.132	0.14	6
M11	0.114	0.12	5
M14	0.076	0.08	5
M17	0.058	0.06	3
M19	0.11	0.12	9
M22	0.143	0.14	-2

Q_{max_SWMM} được so sánh với Q_{max_td} tại 6 nút nằm ở thượng lưu của các tuyến cống chỉ nhận nước từ 1 tiểu lưu vực bao gồm M1, M11, M14, M17, M19 và M22 (Bảng 2). Kết quả tính toán trong mô hình SWMM có xu thế thiên lớn, với độ lệch Q_{max} lớn

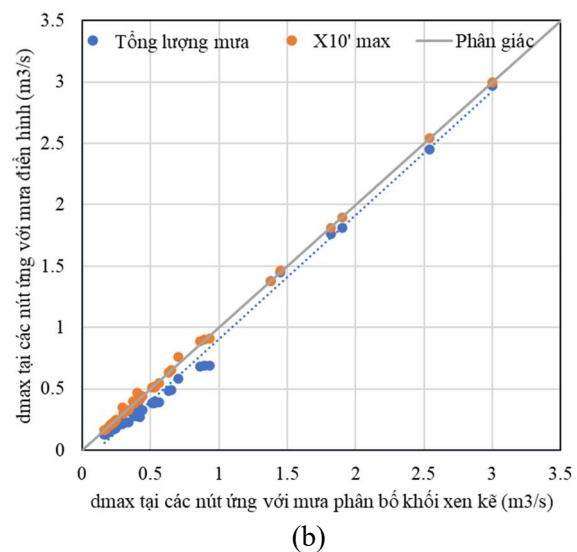
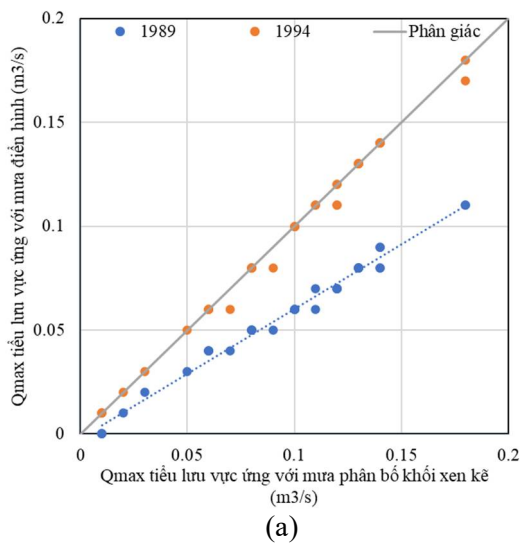
nhất (ΔQ) là 9%, ngoại trừ Q_{max} tại nút M22 có ΔQ là -2%. Nhìn chung, kết quả tính toán của 2 phương pháp là phù hợp với độ lệch ΔQ nhỏ.

3.4. Kết quả mô phỏng với các mô hình mưa thiết kế

Kết quả mô phỏng với mô hình mưa thiết kế với 2 trận mưa điển hình được so sánh với kết quả mô phỏng mưa thiết kế theo phương pháp Chicago cho giá trị lưu lượng lớn nhất tại cửa ra của các tiểu lưu vực, độ sâu dòng chảy lớn nhất tại các nút (Hình 4) và đường quá trình mực nước tại nút M9 và M10 (Hình 5).

Lưu lượng lớn nhất tại cửa ra của các tiểu lưu vực (Q_{catch_max}) trong TH3 tương đương với các giá trị được tính trong TH1 với phần lớn các điểm nằm trên đường phân giác góc phần tư thứ nhất (Hình 4 a). Trong khi đó Q_{catch_max} trong TH2 nhỏ hơn các giá trị tương ứng trong TH1 với đường đi qua trung tâm các nhóm điểm nằm dưới đường phân giác góc phần tư thứ nhất. Mức độ chênh lệch tỉ lệ thuận với diện tích của tiểu lưu vực.

Sự chênh lệch giữa độ sâu dòng chảy lớn nhất tại các nút (d_{max}) trong TH3 và TH1 là rất nhỏ với các điểm tập trung xung quanh đường phân giác (Hình 4b). Trong khi đó, d_{max} có xu hướng thiên nhỏ trong TH2 với đường trung tâm đi qua nhóm điểm nằm dưới đường phân giác.

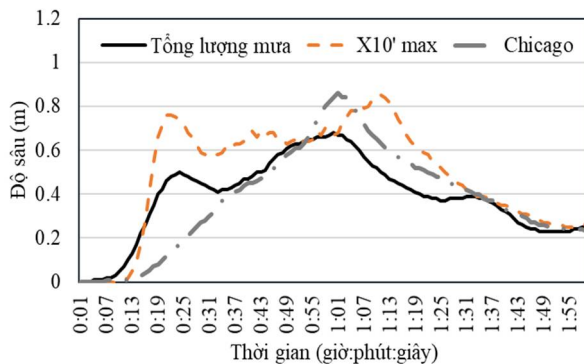


Hình 4. So sánh (a) Q_{max} tại cửa ra các tiểu lưu vực và (b) d_{max} tại các nút được tính với các mô hình mưa thiết kế

Thời gian xuất hiện d_{max} trong cả 3 mô phỏng đều xuất hiện khoảng giữa trận mưa (Hình 5). Trong mô phỏng TH1 và TH2 thời gian xuất hiện d_{max} gần với

thời gian xuất hiện $X_{10'_{max}}$. Trong mô phỏng TH3, mặc dù thời điểm xuất hiện thời điểm xuất hiện $X_{10'_{max}}$ ở thời đoạn đầu, d_{max} xuất hiện ở giữa trận

do $X_{10'}$ lại tăng kết hợp nước từ các tuyến phía trên đổ về. Mô hình phân phối mưa theo trận mưa điển hình có cường độ mưa duy trì trong một khoảng thời gian (cụ thể, TH3 có $X_{10'}$ lớn hơn 9,5mm trong 70 phút, TH2 trong 40 phút) nên độ sâu dòng chảy tại nút M9 cao trên 0,4m trong 75 phút trong TH3 và 61 phút trong TH2 trong khi chỉ đạt 58 phút ở TH1.



Hình 5. Đường quá trình độ sâu dòng chảy tại nút M9 được tính toán với các mô hình mưa thiết kế

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Annus, I., Vassiljev, A., Kändler, N., & Kaur, K. (2021). *Automatic calibration module for an urban drainage system model*. Water (Switzerland), 13(10). <https://doi.org/10.3390/w13101419>
- Gao, J., Liang, J., Lu, Y., Zhou, R., & Lu, X. (2023). *Automatic SWMM Parameter Calibration Method Based on the Differential Evolution and Bayesian Optimization Algorithm*. Water (Switzerland), 15(20). <https://doi.org/10.3390/w15203582>
- Niazi, M., Nietch, C., Maghrebi, M., Jackson, N., Bennett, B. R., Tryby, M., & Massoudieh, A. (2017). *Storm Water Management Model: Performance Review and Gap Analysis*. Journal of Sustainable Water in the Built Environment, 3(2). <https://doi.org/10.1061/jswbay.0000817>
- Rossman, L. A. (2017). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume II*. www.epa.gov/water-research
- Rossman, L. A., & Simon, M. A. (2022). *Storm Water Management Model User's Manual Version*. www.epa.gov/water-research
- Rossman Lewis A., & Huber Wayne C. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume I-Hydrology (Revised) Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division*.
- Shahed Behrouz, M., Zhu, Z., Matott, L. S., & Rabideau, A. J. (2020). *A new tool for automatic calibration of the Storm Water Management Model (SWMM)*. Journal of Hydrology, 581, 124436. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124436>
- Swilla, L., Katambara, Z., & Lingwanda, M. (2024). *Calibration and verification of a hydrological SWMM model for the ungauged Kinyerezi River catchment in Dar es Salaam, Tanzania*. Modeling Earth Systems and Environment, 10(2), 2803–2818. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01929-6>
- Zhong, B., Wang, Z., Yang, H., Xu, H., Gao, M., & Liang, Q. (2023). *Parameter Optimization of SWMM Model Using Integrated Morris and GLUE Methods*. Water (Switzerland), 15(1). <https://doi.org/10.3390/w15010149>

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã đề xuất và thực hiện phương pháp kiểm định chéo mô hình trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước cho một khu vực thuộc đô thị Hồng Hạc tỉnh Bắc Ninh. Nghiên cứu đưa ra các bước cụ thể, đơn giản và dễ thực hiện trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước.

Kết quả mô phỏng với 3 mô hình mưa thiết kế cho thấy tính toán theo trận mưa điển hình về mưa 10 phút lớn nhất cho kết quả bất lợi nhất với độ sâu dòng chảy lớn nhất tại các nút tương tự nhưng thời gian duy trì mực nước cao tại các nút lớn hơn với mô hình thiết kế được xác định theo phương pháp Chicago. Vì vậy, trong tính toán thiết kế hệ thống thoát nước mưa, phương pháp Chicago hay trận mưa điển hình về mưa 10 phút lớn nhất nên được sử dụng. Trong mô phỏng ngập lụt với các trận mưa có tần suất nhỏ hơn tần suất thiết kế, việc sử dụng trận mưa điển hình về mưa 10 phút lớn nhất sẽ cho kết quả bất lợi hơn với thời gian ngập lớn hơn.

Abstract:
**PROPOSING A METHOD FOR CALIBRATING THE SWMM MODEL
AND SELECTING RAINFALL DISTRIBUTIONS IN THE DESIGN OF URBAN
STORMWATER DRAINAGE SYSTEMS – APPLICATION TO AN AREA
IN THE HONG HAC URBAN CITY, BAC NINH PROVINCE**

Both the Vietnamese Standard TCVN 7957:2008 and its updated version, TCVN 7957:2023, recommend the use of the limiting rainfall intensity formula to determine design rainfall intensity, in conjunction with hydraulic modeling to verify the dimensions of culverts preliminarily estimated using this formula. However, the practical application of hydraulic models faces two major challenges: (i) the selection of an appropriate design rainfall distribution and (ii) the calibration and validation of model parameters. In this study, a cross-validation was conducted between the simulation results of the SWMM model and the peak discharge values calculated using the limiting rainfall intensity formula. In addition, simulations were performed using three different types of design rainfall models to evaluate the influence of rainfall representation on simulation outcomes. The results propose a feasible cross-validation procedure for sensitive parameters of the SWMM model in design applications. Furthermore, the study recommends the use of a representative storm defined by the maximum rainfall depth over a 10-minute duration in cases where a conservative design principle is adopted.

Keywords: Design urban stormwater drainage systems, SWMM, calibration, design rainfall distribution.

Ngày nhận bài: 31/12/2025

Ngày chấp nhận đăng: 27/02/2026