

Bài báo khoa học

Đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập tại Thành phố Thủ Đức theo cách tiếp cận xác suất của tổ hợp

Lê Song Giang¹, Nguyễn Hoàng Thanh Bình¹, Nguyễn Ngọc Minh Phú², Nguyễn Thị Thanh Hoa^{1,3*}

¹ Trường Đại học Bách Khoa HCM; lsgiang@hcmut.edu.vn

² Sở Xây dựng Tp. Hồ Chí Minh; nnmphu.sxd@tphcm.gov.vn

³ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; ntthoa@hcmunre.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ntthoa@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-907242510

Ban Biên tập nhận bài: 10/12/2023; Ngày phản biện xong: 30/1/2024; Ngày đăng bài: 25/5/2024

Tóm tắt: Các đô thị nằm ở vùng đất thấp chịu ảnh hưởng thủy triều, ngập lụt xảy ra do sự kết hợp của nhiều yếu tố, bao gồm lượng mưa, mực nước triều và đôi khi là dòng chảy tràn vào từ sông. Bài báo trình bày một phương pháp mới trong đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập lụt tại Tp. Thủ Đức, đó là sử dụng xác suất của tổ hợp lượng mưa - mực nước (R-H) để làm điều kiện biên cho mô hình hệ thống thoát nước. Tất cả các yếu tố gây ngập thuộc nhóm khí tượng - thủy văn trong tính toán sẽ được đại diện chỉ bởi 2 thông số: lượng mưa trên khu vực (R) và mực nước tại cửa tiêu thoát của hệ thống thoát nước (H). Dựa trên dữ liệu quan trắc, xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) sẽ được xây dựng. Để đảm bảo độ tin cậy, mô hình thủy lực là loại tích hợp 1D sông/kênh - 1D cống/đường - 2D tràn. Kết hợp mô hình thủy lực với xác suất tổ hợp (R-H) tạo ra phương pháp đánh giá linh hoạt và toàn diện, giúp cung cấp một cái nhìn chi tiết về tình trạng ngập lụt trong các đô thị vùng đất thấp. Sử dụng phương pháp này nguy cơ và rủi ro ngập lụt cho Thành phố Thủ Đức đã được đánh giá một cách rõ ràng và đáng tin cậy.

Từ khóa: Nguy cơ ngập; Xác suất tổ hợp; Mô hình thủy lực tích hợp; Thành phố Thủ Đức.

1. Mở đầu

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu, ngập lụt đô thị đang trở thành một thách thức ngày càng nghiêm trọng, đặt ra nhu cầu cấp bách về việc đánh giá và quản lý nguy cơ cũng như rủi ro ngập lụt [1, 2]. Thành phố Thủ Đức, một trong những đô thị phát triển nhanh chóng tại Việt Nam, không phải là ngoại lệ khi phải đối mặt với những thách thức ngập lụt ngày càng phức tạp. Địa hình Thành phố tương đối phức tạp. Phía Bắc là gò đồi với độ cao trung bình từ 5m đến 25m. Tuy nhiên xuôi về phía Nam và phía Tây, địa hình thấp dần [3] và khu vực này thường xuyên bị ngập mỗi khi mưa hoặc triều cường. Theo Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ thuật [4], trong năm 2023, các tuyến đường ngập thường xuyên gồm Quốc Hương, Tô Ngọc Vân, Đặng Thị Rành, Hồ Văn Tư, Kha Vạn Cân, Dương Văn Cam, Võ Văn Ngân, Lê Văn Việt, Hiệp Bình, Quốc Lộ 13, Tỉnh Lộ 43, Nguyễn Duy Trinh, Đỗ Xuân Hợp, Lã Xuân Oai với độ ngập trung bình từ 10-25 cm. Thông tin từ các phương tiện truyền thông cho thấy tình hình ngập còn nghiêm trọng hơn. Chỉ cần trận mưa với lượng mưa khoảng 30-50 mm là đã khiến các tuyến đường này ngập từ 10-40 cm và kéo dài từ 1-3 giờ [5, 6]. Cá biệt có nơi ngập tới 60 cm. Tp. Thủ Đức cần có những nghiên cứu sâu sắc, đa chiều để xây dựng các phương pháp hiệu quả trong việc quản lý và giảm thiểu các hậu quả tiêu cực của ngập lụt. Một trong số các hướng nghiên cứu phục vụ mục tiêu đó là đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập lụt của Tp. Thủ Đức.

Nguy cơ ngập lụt được định nghĩa là khả năng xảy ra thảm họa ở mức độ nghiêm trọng [7] và có thể được biểu thị dưới dạng hàm số của cả mức độ nghiêm trọng và xác suất ngập lụt. Mô hình toán thủy lực là công cụ phổ biến nhất trong việc xây dựng bản đồ nguy cơ ngập [8] trong đó các điều kiện biên được áp đặt sao cho ngập lụt xảy ra tương ứng với các tần suất xác định. Đối với vấn đề rủi ro, theo nghiên cứu [9] là khả năng xảy ra tổn thất và điều này phụ thuộc vào ba yếu tố: nguy cơ, tính dễ bị tổn thương và mức độ phơi bày. Nếu bất kỳ yếu tố nào trong ba yếu tố rủi ro này gia tăng thì rủi ro cũng tăng [10].

Đã có nhiều nghiên cứu về nguy cơ cũng như rủi ro ngập lụt đô thị của các tác giả nước ngoài cũng như trong nước. Mặc dù ngập đô thị là hậu quả của sự ảnh hưởng đồng thời của nhiều yếu tố (như mưa, triều, lũ, nước dâng do bão...) nhưng trong đa phần các nghiên cứu xác suất ngập được tính theo xác suất của chỉ một yếu tố được chọn ra. Chẳng hạn [11] chỉ xét xác suất của mưa. Ở khía cạnh khác, các nghiên cứu như [10–13] tập trung vào đánh giá xác suất xảy ra lũ. Cũng đã có những nỗ lực để xây dựng bản đồ nguy cơ và rủi ro ngập dưới tác động tổng hợp của hai yếu tố [14–16] nhưng lại tập trung vào lưu lượng thượng lưu và mực nước triều ngoài biển. Mưa - yếu tố quan trọng trong ngập lụt đô thị - không được xét tới. Mục đích của bài báo này là giới thiệu một cách tiếp cận mới trong thiết lập bản đồ nguy cơ và rủi ro ngập là sử dụng xác suất tổ hợp (R-H). Tất cả các yếu tố gây ngập lụt được quy thành hai yếu tố là mưa trên khu vực (R) và mực nước tại cửa tiêu thoát của hệ thống thoát nước (H). Từ dữ liệu quan trắc, xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) được xây dựng và được sử dụng làm điều kiện biên cho mô hình thủy lực. Xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) được xây dựng theo phương pháp đường đẳng tần suất thực nghiệm của tổ hợp lượng mưa - mực nước [17]. Mô hình thủy lực là loại tích hợp 1D sông/kênh - 1D cống/đường - 2D dòng tràn trên mặt được xây dựng bằng phần mềm F28 [18]. Áp dụng cho Thành phố Thủ Đức, nguy cơ và rủi ro ngập lụt tại đây đã được đánh giá một cách rõ ràng và tin cậy.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp mô hình toán

Mô hình toán là một công cụ hữu ích trong nghiên cứu ngập lụt. Nó cho phép thực hiện các tính toán mô phỏng các kịch bản để từ đó có thể rút ra các số liệu phục vụ cho các phân tích. Do tính đa dạng của dòng chảy, mô hình toán hệ thống thoát nước sẽ là loại mô hình tích hợp. Phần mềm F28 [18] được sử dụng để xây dựng mô hình toán. Các mô hình con tham gia trong mô hình tích hợp gồm mô hình con 1D cho dòng chảy trong sông/kênh; mô hình con 1D cho dòng chảy trong cống và trên mặt đường; và mô hình con 2D cho dòng tràn trên mặt đất.

Các mô hình con được tích hợp lại với nhau bằng các liên kết để tạo thành một mô hình thống nhất. Có hai loại liên kết được sử dụng là liên kết bằng siêu nút và liên kết bằng dòng tràn. Siêu nút là nút chung của một vài mô hình con. Thể tích của siêu nút được tạo thành từ thể tích của các nút tham gia. Mực nước của siêu nút được tính toán từ phương trình bảo toàn khối lượng. Trong khi đó liên kết bằng dòng tràn được áp dụng để kết nối mô hình con 1D và 2D ở bờ sông và giữa mô hình con 1D-đường và mô hình con 2D tại lề đường. Lưu lượng tràn từ mô hình 1D và 1D-đường sang mô hình 2D hoặc ngược lại được tính bằng công thức đập tràn. Truyền động lượng giữa các mô hình con cũng được tính toán để đảm bảo độ chính xác của mô hình tổng thể. Bản thân mô hình 1D- cống/đường cũng là một mô hình tích hợp gồm 2 mô hình con là mô hình dòng chảy một chiều trong ống cống (1Dc) và mô hình dòng chảy 1 chiều trên đường (1Dd).

Mô hình hệ thống thoát nước Tp. Thủ Đức được thiết lập cục bộ trên địa bàn Tp. Thủ Đức. Để giải quyết vấn đề điều kiện biên, mô hình Tp. Thủ Đức được tích hợp vào mô hình hệ thống sông Sài Gòn - Đồng Nai (SGĐN) [11]. Mô hình SGĐN cũng là một mô hình tích hợp 1D-2D, trong đó, các sông rạch được mô phỏng bằng mô hình 1D, còn cửa sông và các vùng trũng ngập được làm mô hình 2D. Sau khi tích hợp, mô hình thu được có thể xem vẫn

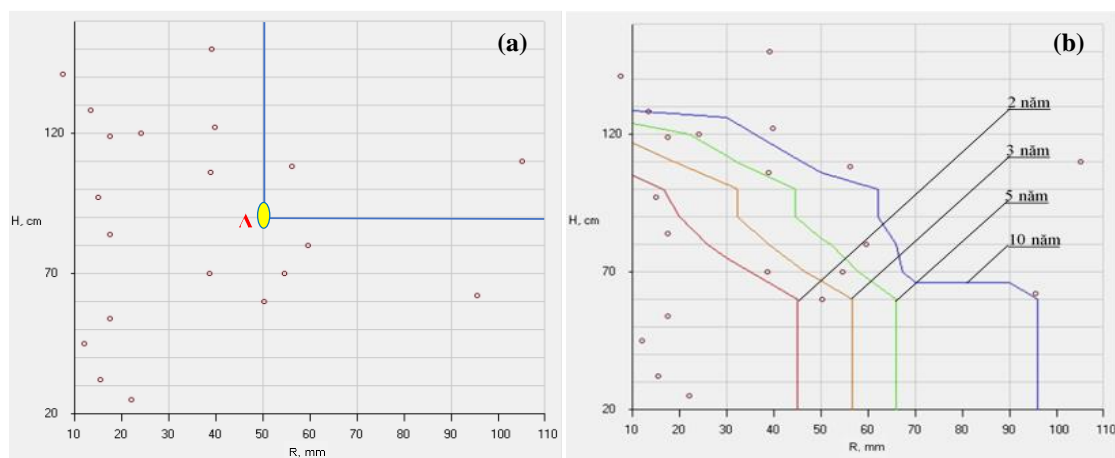
là mô hình SGĐN nhưng với khác biệt là khu vực Tp. Thủ Đức được làm mô hình chi tiết. Việc tích hợp mô hình Tp. Thủ Đức vào mô hình SGĐN được tiến hành giống như tích hợp các mô hình con với nhau. Việc kế thừa mô hình SGĐN không chỉ giảm bớt công sức nhập dữ liệu lưới tính của các mô hình con mà còn giảm bớt công đoạn hiệu chỉnh mô hình ở quy mô tổng thể.

Mô hình SGĐN sử dụng các biên lưu lượng áp đặt tại các nút thượng lưu của mô hình con 1D gồm Trị An, Phước Hòa, Dầu Tiếng và Vàm Cỏ Đông, Vàm Cỏ Tây theo số liệu quan trắc và biên mực nước áp đặt trên các nút biên biển từ Vũng Tàu tới Gò Công được tính theo quy luật tương quan với mực nước tại trạm Vũng Tàu.

2.2. Phương pháp xây dựng xác suất tổ hợp lượng mưa - mực nước (R-H)

Nếu chỉ xét các nguyên nhân tự nhiên, ngập là kết quả tác động trực tiếp của 2 yếu tố là lượng mưa trên khu vực và mực nước ở cửa tiêu thoát. Đối với Tp. Thủ Đức, lượng mưa sẽ được lấy theo trạm Phước Long và số liệu mực nước được lấy theo trạm Phú An. Như vậy tần suất xảy ra ngập sẽ chính là tần suất xuất hiện tổ hợp (R-H) với R là lượng mưa tại trạm Phước Long và H là mực nước tại trạm Phú An. Lượng mưa trận tại trạm Phước Long được quan trắc trong 15 năm, từ 2009-2023 bởi Cty TNHH MTV Thoát nước đô thị Tp. Hồ Chí Minh. Số liệu gồm lượng mưa và thời gian mưa. Trong khi đó mực nước tại trạm Phú An được quan trắc từng giờ. Từ thời gian xảy ra trận mưa, mực nước tại trạm Phú An trong thời gian xảy ra trận mưa sẽ được xác định.

Việc xây dựng các đường cong đồng mức xác suất tổ hợp (R-H) được tiến hành theo phương pháp trình bày trong tài liệu [17] và được xây dựng riêng rẽ cho các trận mưa có thời gian mưa là 60 phút, 90 phút và 120 phút. Đầu tiên các tổ hợp (R-H) quan trắc được đưa lên đồ thị như trên Hình 1a. Sau đó không gian (R-H) được chia lưới và số lượng các tổ hợp có giá trị vượt ngưỡng tại các mắt lưới được xác định. Từ đó xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) vượt ngưỡng (R-H) tại các mắt lưới cũng được tính toán. Từ xác suất xảy ra tổ hợp (R-H) vượt ngưỡng tại các mắt lưới, bằng phép nội suy, ta có thể vẽ được các đường cong đẳng xác suất (hoặc đường cong đồng chu kỳ lặp lại) của tổ hợp (R-H) như trên Hình 1b. Tuy nhiên các đường cong đẳng xác suất vẽ trực tiếp từ số liệu quan trắc như trên sẽ không cho phép ngoại suy cho các tần suất hiếm với độ tin cậy cao. Vì vậy thực tế hàm xác suất lý luận của tổ hợp (R-H) sẽ được xác định và các đường cong đồng mức xác suất sẽ được vẽ theo hàm này.



Hình 1. (a) Các tổ hợp Lượng mưa trận trạm Phước Long - mực nước trạm Phú An trong 15 năm; (b) Đường đồng mức chu kỳ vượt ngưỡng của tổ hợp (R-H) trạm Phước Long-Phú An.

2.3. Quy trình xây dựng bản đồ nguy cơ ngập và tính toán rủi ro ngập.

Đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập sẽ được thực hiện theo quy trình gồm 5 giai đoạn cùng với các bước như sau:

(1): Xây dựng các đường cong đẳng tần suất của tổ hợp lượng mưa và mực nước (R-H) của trạm mưa và mực nước đại diện;

(2): Xây dựng mô hình toán hệ thống thoát nước;

(3): Tính toán mô hình để nhận được kết quả tính mực nước tại trạm Phú An trong khoảng thời gian một vài ngày;

(4): Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt. Công việc này được tiến hành theo các bước:

- Bước 1: Xét một chu kỳ lặp lại của tổ hợp (R-H) và xét trận mưa có thời gian mưa nào đó. Trên đường cong đẳng chu kỳ lặp lại của tổ hợp (R-H) tương ứng thời gian của trận mưa lấy 4 điểm (R-H) sao cho các điểm này đại diện cho đường cong;

- Bước 2: Với mỗi giá trị R đã được xác định từ bước 1, xây dựng mô hình trận mưa;

- Bước 3: Với mỗi giá trị H đã được xác định từ bước 1, xác định thời điểm (ngày và giờ) xảy ra mực nước này ở trạm Phú An.

- Bước 4: Nhập trận mưa tính toán vào mô hình. Đặt thời điểm xảy ra mưa trùng thời điểm xảy ra mực nước H đã được xác định ở bước 3, thực hiện tính toán mô phỏng ngập lụt.

- Bước 5: Từ kết quả mô phỏng xác định độ ngập sâu nhất tại các mặt cắt trên đường (mô hình 1Dc/1Dd) và tại các nút 2D.

- Bước 6: Thực hiện các bước 2 đến bước 5 cho 3 tổ hợp (R-H) còn lại. Từ kết quả tính ngập sâu nhất trong từng tổ hợp, xác định độ ngập lớn nhất trong 4 tổ hợp.

- Bước 7: Thực hiện các bước 2 đến bước 6 cho 2 thời gian của một trận mưa còn lại. Từ kết quả tính ngập sâu nhất của 3 thời gian mưa khác nhau xác định độ ngập lớn nhất. Vẽ phân bố độ ngập tính được này ta thu được bản đồ nguy cơ ngập đối với chu kỳ ngập đang xét.

- Bước 8: Thực hiện các bước 1 đến bước 7 cho các chu kỳ ngập khác. Kết quả là ta có được các bản đồ nguy cơ ngập đối với các chu kỳ ngập khác nhau.

(5): Xác định rủi ro do ngập lụt. Thiệt hại do ngập lụt được xác định dựa trên bản đồ nguy cơ ngập và bản đồ phân bố các đối tượng dễ bị tổn thương. Trong những năm qua đã có nhiều nghiên cứu về rủi ro theo nhiều hướng khác nhau, chẳng hạn như đánh giá thông qua phân tích thiệt hại kinh tế trực tiếp hoặc tiếp cận rủi ro về môi trường – xã hội. Bài báo này sử dụng phương pháp đánh giá rủi ro định lượng về kinh tế cùng với bộ đơn giá thiệt hại do ngập cho Tp. HCM do Haskoning thiết lập [20] để ước lượng chi phí bị thiệt hại trực tiếp hữu hình do ngập. Như vậy thiệt hại do ngập cho từng chu kỳ lặp lại sẽ được tính bằng cách nhân diện tích ngập với giá trị của hàm thiệt hại tương ứng với từng loại đối tượng ngập và độ sâu ngập. Thiệt hại trung bình hàng năm (EAD) được tính toán theo công thức [21].

$$EAD = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_{i+1}} \right) (D_i + D_{i+1}) \quad (1)$$

Trong đó D_i là tổn thất tương ứng với chu kỳ lặp lại T_i thứ i .

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Mô hình tích hợp hệ thống thoát nước Tp. Thủ Đức

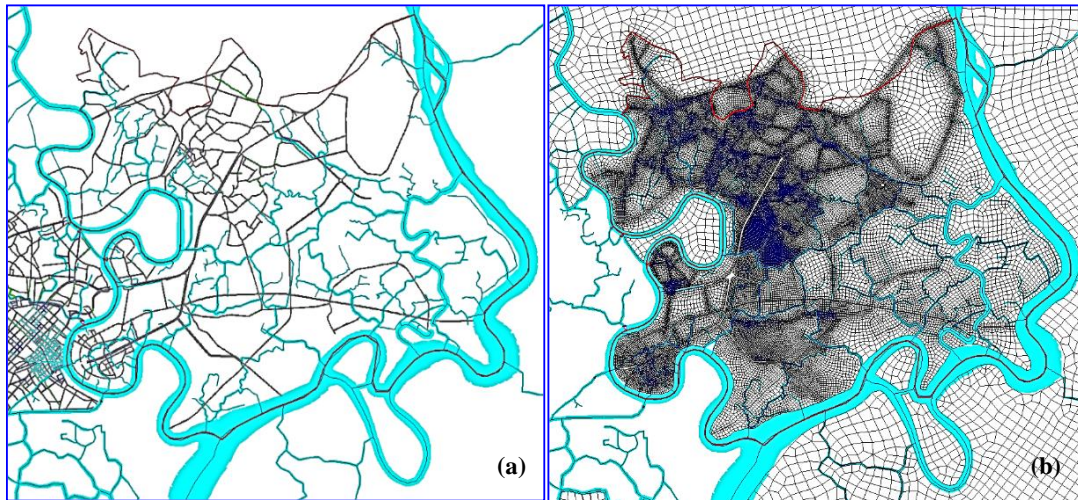
Theo phương pháp được trình bày trong mục 2.1, mô hình hệ thống thoát nước TP. Thủ Đức tích hợp trong mô hình sông SGĐN đã được xây dựng. Lưới tính của các mô hình con 1D-sông/kênh, 1Dc-cống/đường và 2D khu vực Tp. Thủ Đức được trình bày trên Hình 2.

Các mô hình con của mô hình tích hợp SGĐN có các thông số như sau:

- Mô hình con 1D: gồm 1114 nhánh với 968 nút, 9770 mặt cắt và 8656 đoạn tính. Chiều dài các đoạn tính khoảng từ 41 m đến 636 m trong đó chiều dài các đoạn ngắn nhất là ở khu vực Tp. Thủ Đức.

- Mô hình con 1Dc/1Dd: gồm 4499 nhánh cống/ đường 1D với 3625 nút, 39150 mặt cắt và 34651 đoạn. Chiều dài các đoạn tính khoảng 30-40 m.

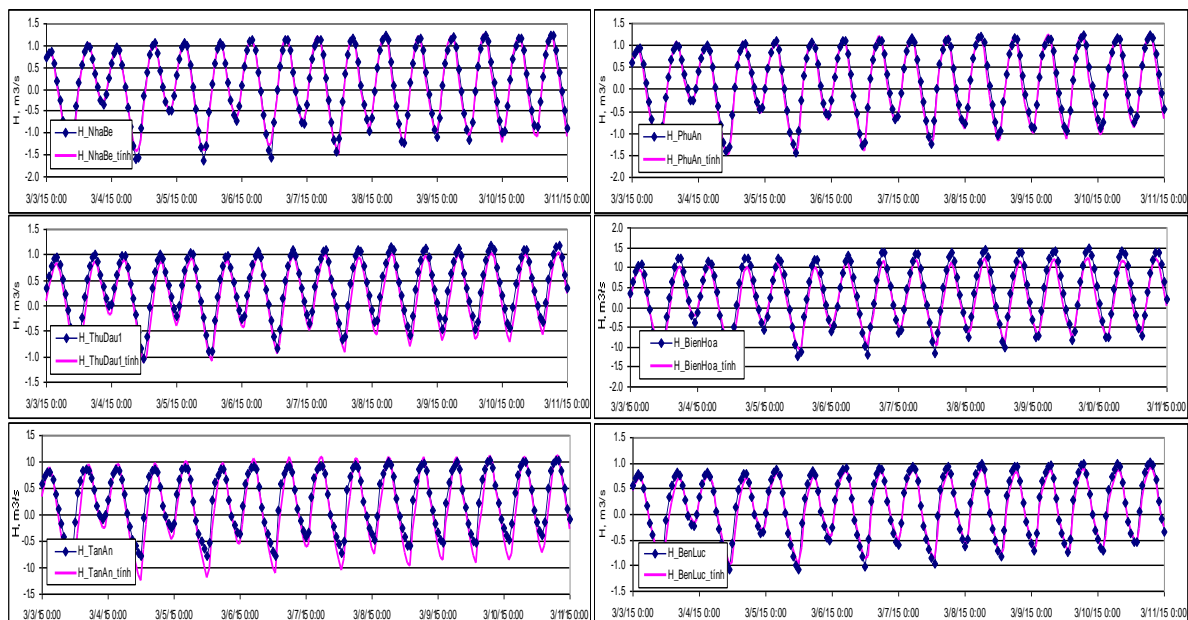
- Mô hình con 2D: Mô hình 2D chỉ phủ lưới tính tới mép bờ sông và mép đường. Mô hình con này có 134802 phần tử tứ giác với 151106 nút. Chiều dài các cạnh phần tử tứ giác tương đương với kích thước đoạn tính của mô hình 1D và mô hình 1Dc/1Dd.



Hình 2. (a) Lưới tính của các mô hình con 1D và 1Dc/1Dd; (b) và của mô hình con 2D.

Mô hình đã được hiệu chỉnh trước khi sử dụng để đảm bảo độ tin cậy của kết quả tính toán. Tiêu chí đánh giá kết quả hiệu chỉnh là sự phù hợp giữa kết quả tính toán lưu lượng và mực nước với số liệu đo đạc, đặc biệt là khi áp dụng mô hình 1D cho sông và kênh. Đối với mô hình 1Dc/1Dd cống, đường hiệu chỉnh được định hình thông qua thông số từ các sự kiện mưa xảy ra trên khu vực.

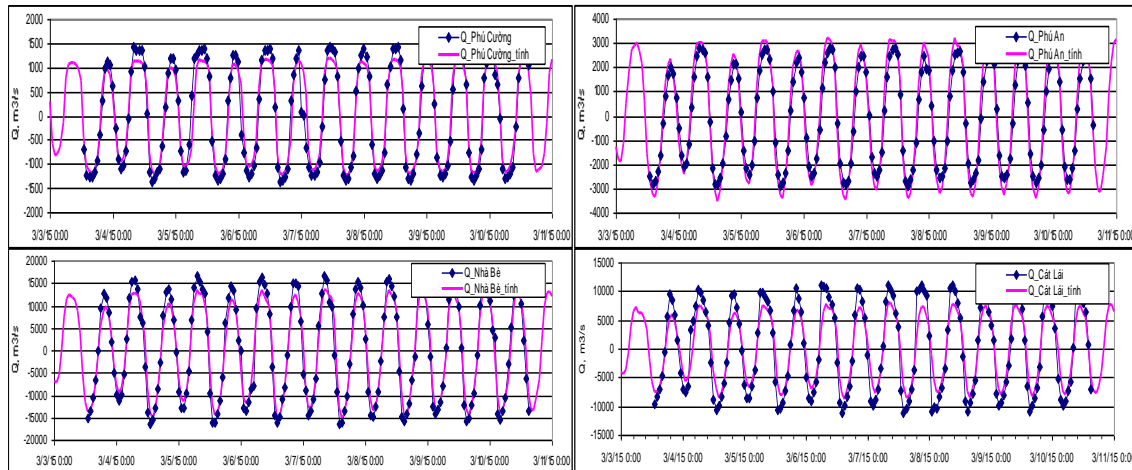
- Hiệu chỉnh mô hình 1D sông, kênh. Mô hình đã được thực hiện theo số liệu của 10 đợt quan trắc thực hiện bởi các đề tài, dự án khác nhau. Thông số hiệu chỉnh là hệ số nhám của mô hình 1D sông/kênh và hệ số nhám của mô hình 2D vùng cửa sông. Hình 3 và Hình 4 giới thiệu một trong số các so sánh kết quả tính toán. Đợt quan trắc này được thực hiện vào tháng 3/2015 trên sông SGĐN [19]. Bảng 1 trình bày kết quả đánh giá hiệu quả hiệu chỉnh mô hình thông qua hệ số Nash-Sutcliffe cũng của đợt quan trắc này.



Hình 3. Mực nước tính toán và thực đo vào tháng 3/2015.

Bảng 1. Hệ số Nash - Sutcliffe của kết quả tính lưu lượng và mực nước đợt tháng 3/2015.

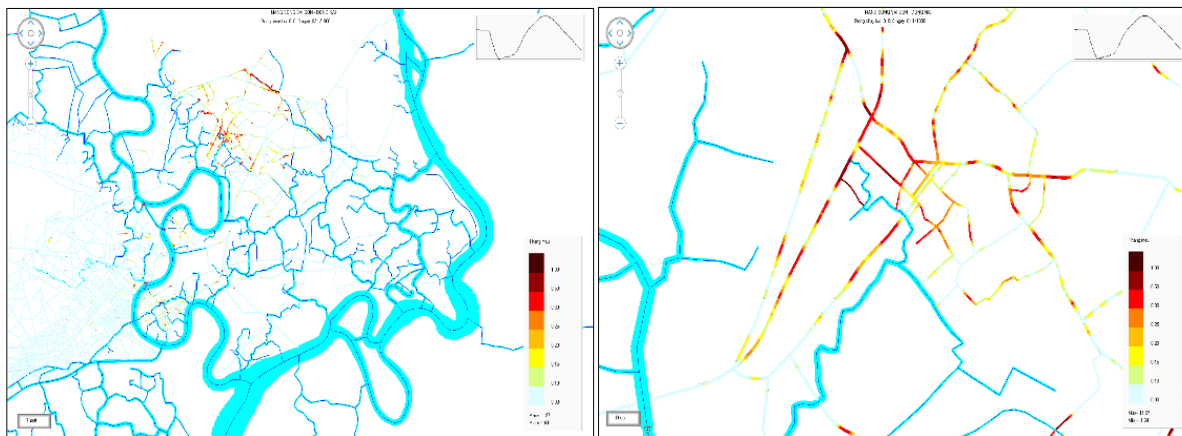
Hệ số Nash-Sutcliffe	Phú Cường	Nhà Bè	Phú An	Cát Lái	Biên Hòa
Trạm Q	0,94	0,93	0,93	0,84	0,71
Trạm H	0,98	0,94	0,78	0,87	0,72



Hình 4. Lưu lượng tính toán và thực đo [19] vào tháng 3/2015.

Hệ số Nash-Sutcliffe rất cao chứng tỏ mô hình đã được hiệu chỉnh rất tốt. Kết quả hiệu chỉnh đã xác định được hệ số nhám của các nhánh sông/kênh 1D ở trong khoảng từ $n = 0,016$ tới $n = 0,06$ tùy nhánh. Đối với mô hình 2D, hệ số nhám cũng được xác định trong khoảng từ $n = 0,015$ tới $0,018$ tùy vùng.

- Hiệu chỉnh mô hình 1Dc/1Dd cống, đường: Mô hình 1Dc/1Dd đã được hiệu chỉnh theo số liệu tham khảo từ Công ty Thoát nước đô thị TP. HCM quan trắc được trong 4 trận mưa xảy ra trong các ngày 02/06/2022; 22/06/2022; 15/8/2022; 06/09/2022. Thông số hiệu chỉnh là hệ số nhám của mô hình 1Dc, của mô hình 1Dd và hệ số nhám của mô hình 2D cho các vùng ngập do mưa, triều. Hình 5 thể hiện độ ngập trên các tuyến đường trong trận mưa vào chiều 22/6/2022.



Hình 5. Mức độ ngập tính toán trong trận mưa chiều ngày 22/06/2022 (đơn vị thang màu: mét).

So sánh độ ngập giữa kết quả quan trắc và tính toán tại các tuyến đường thuộc đại bản Tp. Thủ Đức được trình bày ở Bảng 2.

So sánh ngập tại Bảng 2 cho thấy kết quả tính toán bằng mô hình và quan trắc khá tương đồng. Tuy nhiên, các giá trị tính toán về độ ngập của một số tuyến đường như Tô Ngọc Vân, Dương Văn Cam có sự chênh lệch đáng kể so với dữ liệu quan trắc. Bên cạnh sai số của phương pháp toán thì một nguyên nhân không thể không nói tới là sai số xuất phát từ sự sai lệch về cao độ địa hình của các tuyến đường này giữa mô hình với thực tế. Ngoài ra, có một nguyên nhân khác nữa là giá trị quan trắc được lấy tại một điểm còn kết quả của mô hình 1Dd là giá trị đại diện tại mặt cắt. Sự không đồng nhất giữa hai giá trị có thể xuất phát từ yếu tố địa hình cục bộ tại điểm quan trắc.

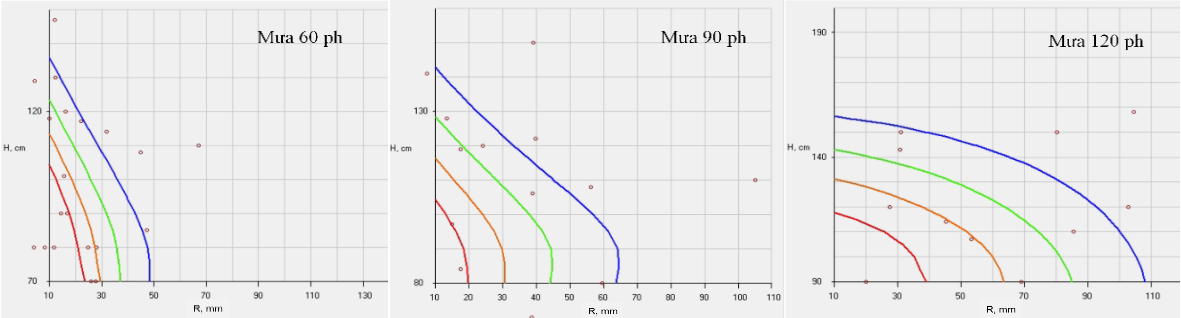
Hiệu chỉnh đã xác định được hệ số nhám của cống là $n = 0,013$, của đường là $n = 0,022$ và của các vùng trũng ngập 2D là $n = 0,2-0,5$ tùy khu vực.

Bảng 2. Kết quả so sánh ngập trong 1 trận mưa chiều ngày 22/06/2022 tại các tuyến đường.

TT	Tên đường thuộc địa bàn Tp. Thủ Đức	Phạm vi ngập		Độ sâu ngập (m)		
		Từ	Đến	Quan trắc	Tính toán	Sai số
1	Quốc Hương	Lê Văn Miến	Đường 65	0,20	0,27	0,07
2	Nguyễn Văn Hường	Trước Hoàng Anh Gia Lai		0,20	0,21	0,01
3	Tô Ngọc Vân	Đường ray xe lửa	Phạm Văn Đồng	0,30	0,64	0,34
4	Đặng Thị Rành	Dương Văn Cam	Tô Ngọc Vân	0,20	0,34	0,14
5	Hồ Văn Tư	Kha Vạn Cân	Hẻm 45	0,20	0,28	0,08
6	Kha Vạn Cân	Dương Văn Cam	Bưu điện Thủ Đức	0,20	0,25	0,05
7	Võ Văn Ngân	Đặng Văn Bi	Chợ Thủ Đức	0,20	0,37	0,17
8	Dương Văn Cam	Hẻm 17	Số nhà 49	0,20	0,63	0,43
9	Quốc lộ 13	Giày Gia Định	Ngã 3 Hiệp Bình	0,10	0,00	-0,1
10	Hiệp Bình	Đường số 1	Trường THCS Hiệp Bình	0,10	0,16	0,06
11	Đỗ Xuân Hợp	Trước UBND P, Phước Bình		0,15	0,25	0,1

3.2. Xác suất tổ hợp (R-H) của trạm Phước Long

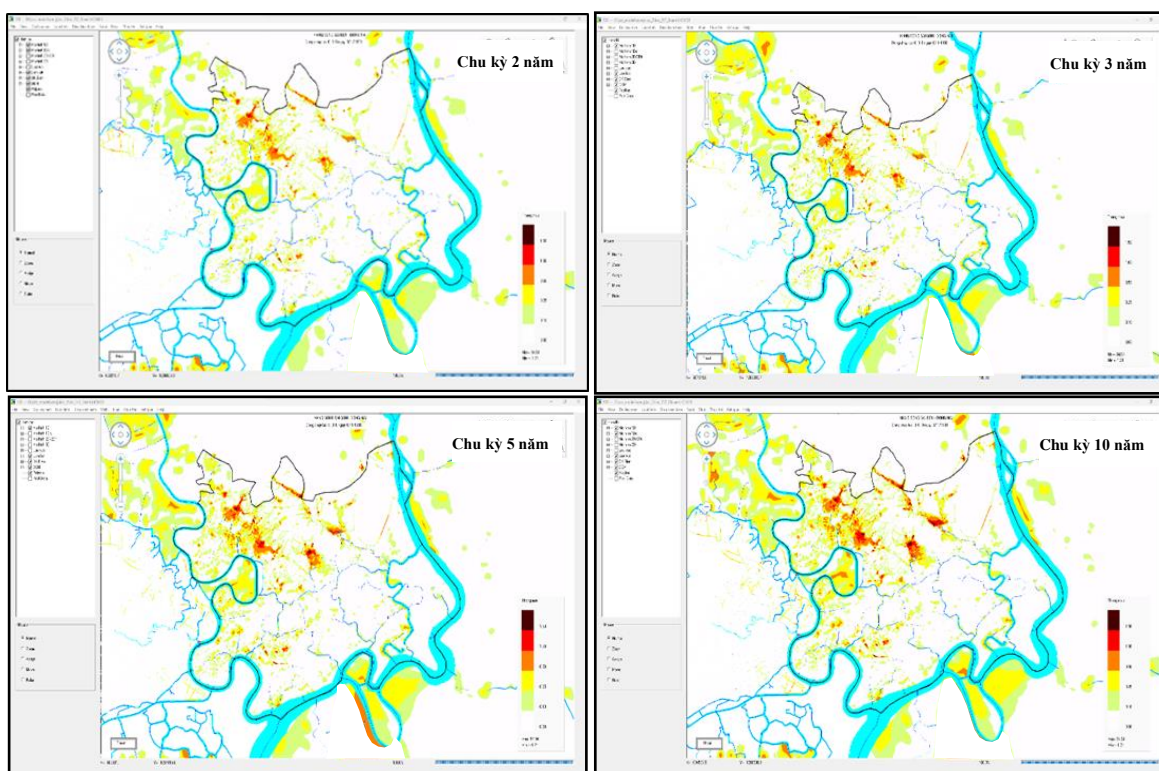
Từ số liệu quan trắc mưa tại trạm Phước Long trong 15 năm (2009-2023) và số liệu quan trắc mực nước tại trạm Phú An tương ứng với thời gian xảy ra mưa, tần suất các tổ hợp lượng mưa - mực nước (R-H) cho 3 thời đoạn mưa là 60 phút, 90 phút, 120 phút đã được phân tích. Hình 6 giới thiệu các đường cong đồng tần suất tương ứng các chu kỳ lặp lại là 2 năm, 3 năm, 5 năm và 10 năm cho các tổ hợp này.



Hình 6. Các đường tần suất tổ hợp (R-H) của trạm Phước Long cho trận mưa có thời gian kéo dài khác nhau.

3.3. Nguy cơ và rủi ro ngập của Tp. Thủ Đức

Với mỗi một chu kỳ ngập sẽ có ba đường cong tương ứng với 3 thời gian kéo dài trận mưa khác nhau. Trên mỗi đường cong sẽ lấy ra 4 điểm tổ hợp (R-H) để làm điều kiện tính toán mô phỏng ngập. Như vậy cho mỗi chu kỳ ngập sau khi thực hiện tính toán mô phỏng ta sẽ có 12 kịch bản ngập. Mức độ ngập tương ứng với chu kỳ ngập tại từng điểm là giá trị lớn nhất lấy ra từ kết quả tính mô phỏng của 12 phương án. Mức độ ngập sau đó được đưa lên bản đồ để cho thấy nguy cơ ngập ở chu kỳ lặp lại tương ứng. Hình 7 giới thiệu nguy cơ ngập ở Tp. Thủ Đức với các chu kỳ lặp lại 2 năm, 3 năm, 5 năm và 10 năm. Kết quả mô phỏng của mô hình toán số cho thấy diễn biến ngập phân bố phù hợp đặc điểm địa hình, địa mạo khu vực. Dựa trên kết quả mô phỏng ngập lụt qua 4 chu kỳ, thấy rằng các vị trí ngập trên bản đồ duy trì đồng nhất qua mỗi chu kỳ với sự biến động chỉ xảy ra đối với giá trị độ sâu ngập và diện tích ngập. Tp. Thủ Đức chiếm khoảng gần 50% diện tích của thành phố, là khu vực có rủi ro ngập lụt cao nhất. Trong khu vực này, các đoạn trung tâm thường gặp giá trị độ sâu ngập từ 0,5 m đến hơn 1,5 m. Đặc điểm này đặt ra nhu cầu quan tâm đặc biệt đối với việc quản lý ngập lụt trong khu vực đô thị nằm ở vùng đất thấp. Diện tích ngập (Bảng 3) trong các khu vực bị ngập gia tăng theo chu kỳ từ T = 2 năm đến T = 10 năm. Các khu vực bị ngập đặc trưng bởi địa hình thấp, trũng, đất trồng cây hoặc ao hồ nuôi thủy sản. Trong thời gian mưa nước tập trung tại những khu vực này gây ra tình trạng ngập ở các khu vực đô thị lân cận. Đồng thời, sự trào nước ngược lên mặt đường do một số tuyến cống cũng tạo ra các “lòng chảo” trữ nước.



Hình 7. Phân bố nguy cơ ngập của Tp. Thủ Đức ở các chu kỳ.

Bảng 3. Diện tích ngập (ha) theo từng chu kỳ lặp lại của Tp. Thủ Đức.

Độ sâu ngập (m)	Diện tích ngập (ha)			
	T = 2 năm	T = 3 năm	T = 5 năm	T = 10 năm
≥ 1,50	6,44	9,07	18,15	26,60
≥ 1,00	56,63	78,27	118,70	180,98
≥ 0,50	431,66	503,47	640,55	791,14
≥ 0,25	1288,66	1467,79	1719,37	1995,51
≥ 0,10	2641,81	2897,13	3241,86	3614,38
≥ 0,00	17730,90	17730,90	17730,90	17730,90

Khu vực phía Đông Bắc của Tp. Thủ Đức xảy ra ngập lụt từ đoạn đường Nguyễn Tri Phương qua đoạn Suối Cái, đến đường Trường Đại học Kinh tế Luật (phường Linh Xuân, Tp. Thủ Đức) và Suối Cái đoạn đường Vận Hành (phường Linh Trung, Tp. Thủ Đức). Độ sâu của nước ngập tăng theo chu kỳ lặp lại. Mặc dù đây là khu vực có địa hình cao và ít chịu tác động của triều cường, vẫn tồn tại nguy cơ ngập đô thị do địa hình dốc, mật độ đô thị hóa cao, rác thải tại đoạn Suối Cái, gây trở ngại cho quá trình thoát nước từ đó gây ngập. Tính toán theo công thức (1) đã xác định được hiện tại trung bình mỗi năm Tp. Thủ Đức bị thiệt hại 21.622 tỷ VNĐ do ngập.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày một phương pháp đánh giá nguy cơ và rủi ro ngập lụt cho Thành phố Thủ Đức, sử dụng phương pháp tổ hợp xác suất lượng mưa - mực nước (R-H) để đặt điều kiện biên cho mô hình hệ thống thoát nước. Phương pháp này thích hợp đối với các đô thị có địa hình thấp và chịu ảnh hưởng của thủy triều. Nơi đó, ngập lụt xuất phát từ sự kết hợp của mưa lớn, triều cường và đôi khi do dòng chảy tràn từ sông. Kết quả tính toán chỉ ra các vị trí có nguy cơ và mức độ ngập lụt cao tại Thành phố Thủ Đức, đặc biệt là khu vực chợ Thủ Đức, phường Tam Bình và khu vực Tăng Nhơn Phú A. Những kết quả này cung cấp thông tin quan trọng để hiểu rõ tình trạng ngập lụt tại Thủ Đức, hỗ trợ quản lý đô thị trong việc thực hiện các biện pháp xử lý ngập lụt một cách hợp lý.

Mặc dù so với các nghiên cứu khác cùng loại, nghiên cứu này đã áp dụng một mô hình toán số khá chi tiết cùng với cách tiếp cận xác suất tổ hợp đa biến, kết quả nghiên cứu vẫn tồn tại những sai số do sự phức tạp của bài toán. Trong phạm vi của nghiên cứu này, một số yếu tố ảnh hưởng chưa có điều kiện để xem xét đầy đủ như các địa vật chắn ngang dòng chảy 2D, hoặc hạn chế số lượng các trạm đo mưa để có thể cung cấp một cách chi tiết phân bố mưa trên một khu vực rộng lớn như Tp. Thủ Đức. Điều này đặt ra một thách thức, và nhóm nghiên cứu đang tập trung hoàn thiện trong các giai đoạn nghiên cứu tiếp theo.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng và phương pháp: L.S.G.; Nhập số liệu xây dựng mô hình: N.H.T.B., N.T.T.H.; Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình: N.T.T.H.; Chạy mô hình tính toán các phương án và xử lý kết quả tính: N.H.T.B.; Viết bản thảo bài báo: N.N.M.P.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.T.H.

Lời cảm ơn: Bài báo được hoàn thành với sự hỗ trợ kinh phí của Đề tài Nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước, mã số Đề tài KC-4.0-09/19-25. Nhóm giả cũng chân thành cảm ơn Công ty trách nhiệm hữu hạn một thành viên Thoát nước đô thị TP. Hồ Chí Minh đã cho phép sử dụng số liệu quan trắc.

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. Sun, X.; Li, R.; Shan, X.; Xu, H.; Wang, J. Assessment of climate change impacts and urban flood management schemes in central Shanghai. *Int. J. Disaster Risk Reduct* **2021**, 65, 102563. doi: 10.1016/j.ijdr.2021.102563.
2. Li, C.; et al. Review on urban flood risk assessment. *Sustainability* **2023**, 15(1), 765. doi: 10.3390/su15010765.
3. Cổng Thông tin Điện tử Tp.HCM. “Địa hình”, Điều kiện tự nhiên, 2013. Trục tuyến: <https://tphcm.chinhphu.vn/ia-hinh-1014580.htm> (accessed Jan. 11, 2024).
4. Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ Thuật. Báo cáo tình hình ngập nước trên địa bàn thành phố tháng 12 và năm 2023. 2024.
5. Báo Tuổi Trẻ Online. TP.HCM mưa trắng trời, nhiều tuyến đường lênh láng - Tuổi Trẻ Online. 2022. Trục tuyến: <https://tuoitre.vn/tp-hcm-mua-trang-troi-nhieu-tuyen-duong-lenh-lang-20220602162805361.htm>
6. Báo Tuổi Trẻ Online. Mưa lớn, nhiều tuyến đường ở thành phố Thủ Đức ngập nặng. 2022. Trục tuyến: <https://baotintuc.vn/anh/tp-ho-chi-minh-hang-loat-tuyen-duong-o-thanh-pho-thu-duc-ngap-nang-sau-con-mua-to-keo-dai-20220513203051234.htm>
7. Di Baldassarre, G.; Castellarin, A.; Montanari, A.; Brath, A. Probability-weighted hazard maps for comparing different flood risk management strategies: A case study. *Nat. Hazards* **2009**, 479–496. doi: 10.1007/s11069-009-9355-6.
8. Karmakar, S.; Sherly, M.A.; Mohanty, M. Urban flood risk mapping: A state-of-the-art review on quantification. *Current Practices Future Challenges* **2022**, 125–156. doi: 10.1007/978-981-19-0412-7_5.
9. Crichton, D. The risk triangle. *Nat. Disaster Manage.* **1999**, pp. 102–103.
10. Barredo, J.I.; Engelen, G. Land use scenario modeling for flood risk mitigation. *Sustainability* **2010**, 2(5), 1327–1344. doi: 10.3390/su2051327.
11. Giang, L.S. Nghiên cứu đề xuất lựa chọn chiến lược quản lý ngập lụt thích hợp trên cơ sở các dự án đã, đang và dự kiến triển khai tại TP. Hồ Chí Minh. Ho Chi Minh, 2017.
12. Apel, H.; Aronica, G.T.; Kreibich, H.; Thielen, A.H. Flood risk analyses - How detailed do we need to be?. *Nat. Hazard* **2009**, 49(1), 79–98. doi: 10.1007/s11069-008-9277-8.

13. Karmakar, S.; Simonovic, S.P.; Peck, A.; Black, J. An Information System for Risk-Vulnerability Assessment to Flood. *J. Geogr. Inf. Syst.* **2010**, 02(03), 129–146. doi: 10.4236/JGIS.2010.23020.
14. Moftakhari, H.; Schubert, J.E.; AghaKouchak, A.; Matthew, R.A.; Sanders, B.F. Linking statistical and hydrodynamic modeling for compound flood hazard assessment in tidal channels and estuaries. *Adv. Water Resour.* **2019**, 128, 28–38. doi: 10.1016/j.advwatres.2019.04.009.
15. Combined Coastal and Riverine Floodplain. Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping Combined Coastal and Riverine. 2015.
16. Thư, T.T.V. Xây dựng bản đồ rủi ro ngập lụt cho TP. Hồ Chí Minh theo phương pháp tích hợp. Trung tâm Quản lý nước và Biến đổi Khí hậu, 2015.
17. Giang, L.S.; Bình, N.H.T.; Hoa, N.T.T.; Thịnh, D.N. Xây dựng đường cong tổ hợp lượng mưa - mực nước (I-H) phục vụ thiết kế hệ thống thoát nước mặt ở thành phố Hồ Chí Minh. *Can Tho Univ. J. Sci.* **2023**, 59, 213–220. doi: 10.22144/ctu.jvn.2023.123.
18. Giang, L.S. Xây dựng mô hình toán tổng hợp cho tính toán thoát nước đô thị Tp. HCM. Báo cáo đề tài Nghiên cứu khoa học mã số B2007-20-13TĐ, 2011.
19. Nghi, V.V. Đánh giá mức độ khan hiếm tài nguyên nước ngọt cho TP.HCM bằng chỉ số áp lực về nước WSI theo các kịch bản quy hoạch phát triển đến năm 2030 trong điều kiện biến đổi khí hậu khi nước biển dâng và đề xuất các giải pháp tổng thể giảm thiểu. HCM, 2016.
20. Netherland, H. Dự án chống ngập khu vực Thành phố Hồ Chí Minh - Báo cáo cuối cùng. Tập 2: Tích hợp chiến lược quản lý rủi ro ngập lụt. 2013.
21. Olsen, A.S.; Zhou, Q.; Linde, J.J.; Arnbjerg-Nielsen, K. Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments. *Water* **2015**, 7(1), 255–270. doi: 10.3390/w7010255.

Assessment of flood hazard and risks in Thu Duc city using probability approach of combination

Giang Song Le¹, Binh Thanh Hoang Nguyen¹, Nguyen Ngoc Minh Phu², Hoa Thanh Thi Nguyen^{1,3*}

¹ Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT); lsgiang@hcmut.edu.vn

² HCMC Construction Department; nnmphu.sxd@tphcm.gov.vn

³ Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; ntthoa@hcmunre.edu.vn

Abstract: For urban areas situated in low-lying regions affected by tidal influences, flooding occurs due to the combination of various factors, including rainfall, tidal water levels, and sometimes the overflow from rivers. This article presents a new approach to assessment of flood risk in Thủ Đức City. That is to use the probability of the combination of rainfall - water level (R-H) as boundary conditions for the drainage system model. All flood-causing factors belonging to the meteorological and hydrological group in the calculation will be represented by only two parameters: rainfall in the area (R) and water level at the outlet of the drainage system (H). Based on monitoring data, the probability of the combination (R-H) will be built. To ensure reliability, the hydraulic model is an integrated type of 1D river/canal - 1D sewer/road - 2D overflow. The combination of hydraulic modeling with a combinatorial probabilistic (R-H) approach has created a flexible and comprehensive assessment method, capable of providing a complete view of flooding in lowland urban areas. Using this method, flood hazard and risk for Thu Duc City have been clearly and reliably assessed.

Keywords: Flood risk; Combination probability; Integrated hydraulic model; Thu Duc City.