

Bài báo khoa học

Mô phỏng và xây dựng bản đồ ngập lụt hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai

Lê Thanh Quảng^{1*}, La Đức Dũng², Trần Ngọc Anh³

¹ Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ; lequangwru@gmail.com

² Tổng cục Khí tượng Thủy văn; dunglakttv@gmail.com

³ Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội; tranngocanh@hus.edu.vn

*Tác giả liên hệ: lequangwru@gmail.com; Tel.: +84–359285776

Ban Biên tập nhận bài: 15/1/2023; Ngày phản biện xong: 20/2/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2023

Tóm tắt: Ngập lụt khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai chịu tác động bởi 4 nguyên nhân chính: mưa, thủy triều, xả lũ hồ chứa, lũ thượng nguồn bên phía Cam Pu Chia tràn về. Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình MIKE FLOOD để mô phỏng và xây dựng bản đồ ngập lụt cho khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai. Bộ thông số mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định với các chuỗi số liệu của các năm lũ lớn 1999 và 2000 cho kết quả tương quan tốt giữa số liệu tính toán và thực đo. Từ đó bộ mô hình được sử dụng để mô phỏng và đánh giá ngập lụt theo các kịch bản ảnh hưởng của tổ hợp các tác nhân gây ngập lụt: xả lũ hồ chứa, lũ thượng nguồn, mưa lớn và triều cường. Dựa trên kết quả tính toán thủy lực và xây dựng bản đồ ngập lụt sẽ xác định được mức độ ảnh hưởng của các tác nhân gây ngập tới từng khu vực cụ thể, từ đó hỗ trợ cho các cơ quan hữu quan đưa ra các giải pháp chống ngập thích hợp cho từng vùng, đồng thời làm cơ sở cho công tác quy hoạch phát triển kinh tế xã hội một cách bền vững.

Từ khóa: MIKE FLOOD; Ngập lụt.

1. Đặt vấn đề

Khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai nằm trên địa phận của 5 tỉnh: TPHCM, Đồng Nai, Bình Dương, Tây Ninh, Long An. Khu vực này là nơi tập trung đông dân cư với nhiều đô thị lớn, đồng thời là trung tâm kinh tế của cả nước. Hàng năm khu vực này luôn phải đối mặt và chịu ảnh hưởng của nhiều loại hình thiên tai khác nhau nhưng tiêu biểu nhất là lũ và ngập lụt. Trung bình mỗi năm xảy ra từ 1 đến 2 trận lũ, gây thiệt hại đáng kể cho khu vực. Trận lũ năm 1952 và năm 2000 là hai trận lũ lớn từng xảy ra trong lịch sử, bão lũ đã tàn phá và gây ngập lụt nghiêm trọng cho khu vực Nam Bộ, cuốn trôi nhiều nhà cửa và tài sản của người dân, nghiêm trọng nhất là có nhiều người chết và mất tích do lũ lụt. Hiện tượng ngập lụt do mưa lớn và triều cường ở các khu đô thị xảy ra thường xuyên, gây thiệt hại kinh tế và làm đảo lộn đời sống sinh hoạt của người dân. Hiện nay đã có nhiều biện pháp phòng chống ngập lụt được đề ra, nhiều công trình chống ngập được đầu tư xây dựng; tuy nhiên vẫn chưa đáp ứng được yêu cầu chống ngập thực tế nên ngập lụt vẫn xảy ra thường xuyên. Vì vậy, việc nghiên cứu đánh giá mức độ ngập lụt cho khu vực là vô cùng quan trọng, đây là cơ sở để xây dựng quy trình vận hành hồ chứa, đề ra các biện pháp phòng chống ngập lụt và hạn chế tác động do ngập lụt gây ra; đồng thời cũng là cơ sở để quy hoạch phát triển kinh tế-xã hội một cách bền vững.

Trong những năm gần đây, việc ứng dụng mô hình toán trong dự báo, cảnh báo và đánh giá ngập lụt được áp dụng rất nhiều trên thế giới [1–3], một số mô hình phổ biến hiện đang được sử dụng như: MIKE, HEC, DELFT3D... Ở Việt Nam, việc sử dụng mô hình toán để mô phỏng ngập lụt đã có từ lâu và ứng dụng cho nhiều hệ thống sông [4–13], một số mô hình được xây dựng và phát triển bởi chuyên gia trong nước [9–10], còn lại phần lớn ứng dụng những mô hình nước ngoài để mô phỏng ngập lụt mà tiêu biểu nhất là bộ mô hình MIKE [11–13]; do khả năng ứng dụng rộng rãi cho nhiều bài toán thủy lực, giao diện dễ sử dụng, tốc độ tính toán nhanh nên được sử dụng trong nhiều nghiên cứu về ngập lụt. Hiện nay, đã có một số nghiên cứu ứng dụng mô hình toán để mô phỏng và đánh giá ngập lụt cho khu vực thuộc hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai [14–18]. Tuy nhiên những nghiên cứu trước thường chỉ tập trung mô phỏng ngập lụt trong một phạm vi nhỏ, đồng thời các kịch bản xả lũ hồ chứa không còn quá phù hợp với những quy định mới trong quy trình vận hành liên hồ chứa được ban hành trong những năm gần đây [19–22]. Vì vậy, nghiên cứu đã ứng dụng mô hình MIKE FLOOD để mô phỏng ngập lụt tương ứng với các kịch bản cụ thể, đồng thời sử dụng kết quả đó để đánh giá mức độ ngập lụt cho khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai là phần lưu vực được giới hạn từ sau hồ Trị An, Dầu Tiếng, Phước Hòa và từ thượng lưu sông Vàm Cỏ Đông, Vàm Cỏ Tây ra tới cửa biển, diện tích khu vực khoảng 14000 km² thuộc địa phận của 5 tỉnh: TPHCM, Đồng Nai, Bình Dương, Tây Ninh, Long An (Hình 1). Vùng nghiên cứu thuộc khu vực nhiệt đới gió mùa cận xích đạo, một năm có hai mùa rõ rệt: mùa mưa và mùa khô. Mùa mưa thường bắt đầu từ tháng 5 đến hết tháng 11, lũ thường xuất hiện trong giai đoạn mùa mưa từ tháng 8 đến tháng 11; mùa khô từ tháng 12 tới tháng 5 năm sau; lượng mưa trung bình nhiều năm khoảng 2200 mm.



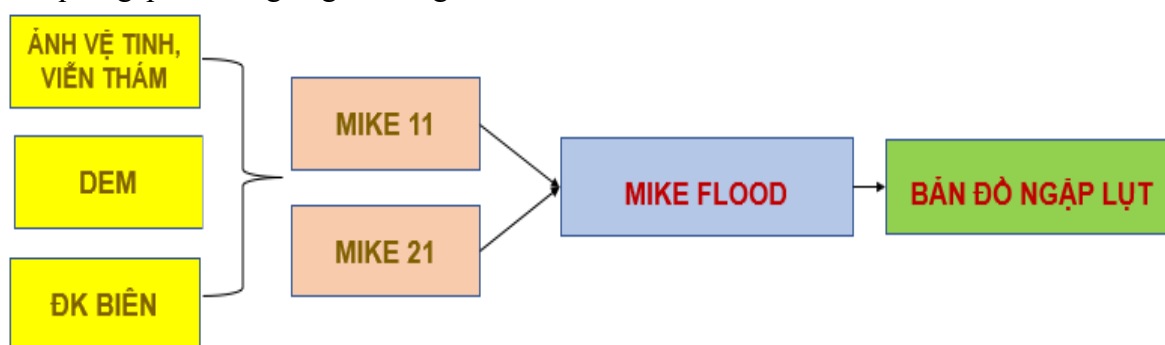
Hình 1. Bản đồ khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai.

Khu vực nghiên cứu có mạng lưới sông ngòi dày đặc, các sông lớn thuộc khu vực như: sông Đồng Nai, sông Sài Gòn, sông Vàm Cỏ Đông, sông Vàm Cỏ Tây, sông Bé; ngoài vai trò cung cấp nguồn nước, sông ngòi khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai còn là tuyến đường thủy quan trọng kết nối các khu vực khác ở trong và ngoài nước. Phía thượng lưu là ba hồ chứa lớn: hồ Trị An, hồ Dầu Tiếng, hồ Phước Hòa; các hồ chứa có vai trò đặc biệt quan trọng trong việc cung cấp nước ngọt, phát điện và đẩy mặn trong mùa khô. Vào giai đoạn mùa khô, các sông trên khu vực chịu ảnh hưởng mạnh của bán nhật triều Biển Đông; tới giai đoạn mùa mưa từ tháng 8 đến tháng 11, khu vực còn chịu ảnh hưởng mạnh của việc xả lũ hồ chứa và lũ thượng nguồn bên phía Cam Pu Chia tràn về, càng về hạ lưu thì ảnh hưởng của lũ càng yếu và ảnh hưởng của thủy triều càng mạnh.

Địa hình của khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai chuyển tiếp từ đồi núi sang trung du tới đồng bằng, thấp dần từ thượng lưu về hạ lưu. Ngập lụt của khu vực nghiên cứu là do tổ hợp của một hoặc một số tác nhân gây ngập: xả lũ hồ chứa, lũ thượng nguồn bên phía Cam Pu Chia tràn về, mưa lớn và triều cường. Khu vực trung du và đồng bằng phía sau hồ chứa Trị An, Dầu Tiếng, Phước Hòa có địa hình tương đối cao nên phần lớn bị ngập do xả lũ hồ chứa với lưu lượng lớn vượt quá khả năng tiêu thoát lũ của lòng sông. Khu vực đồng bằng ven biển, ngập lụt chủ yếu do tác động của triều cường. Còn khu vực ở giữa, nơi chuyển tiếp từ trung du sang đồng bằng ven biển thì ngập lụt do chịu ảnh hưởng của tổ hợp tác động: mưa, lũ thượng nguồn, xả lũ hồ chứa, thủy triều. Trong những năm gần đây, đã có những quy định cụ thể về việc vận hành liên hồ chứa, nhiều công trình chống ngập lụt được đầu tư xây dựng. Tuy nhiên, việc đầu tư xây dựng và thiếu đồng bộ, chưa đáp ứng được yêu cầu thực tế, công tác quản lý vận hành còn chưa chặt chẽ nên hiệu quả chống ngập chưa cao.

2.2. Công cụ tính toán

Kế thừa bộ dữ liệu mô hình hình thủy lực cho vùng hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai của trường đại học Thủy Lợi và Viện quy hoạch Thủy Lợi miền Nam, nhóm nghiên cứu đã cập nhật bổ sung và phát triển xây dựng bộ mô hình MIKE FLOOD cho khu vực để phục vụ tính toán mô phỏng ngập lụt (Hình 2). Kết hợp với công nghệ GIS để xây dựng bản đồ ngập lụt và phân tích kết quả ngập lụt tương ứng với từng kịch bản.



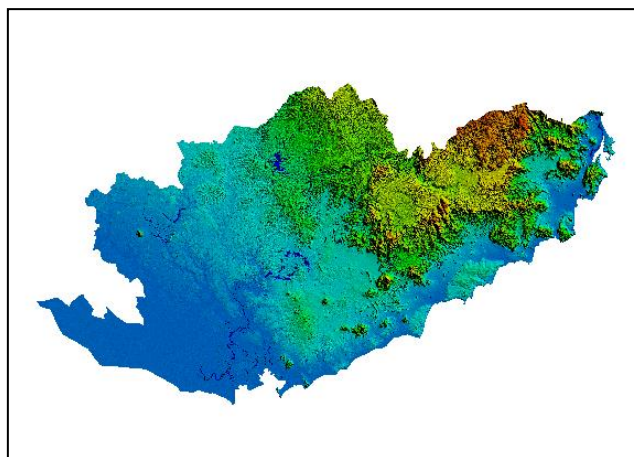
Hình 2. Sơ đồ nghiên cứu tính toán thủy lực và ngập lụt.

2.3. Thu thập và xử lý dữ liệu

2.3.1. Tài liệu địa hình, viễn thám

Dữ liệu bản đồ cao độ số (DEM) có độ phân giải $30\text{m} \times 30\text{m}$, tài liệu mặt cắt ngang chủ yếu được kế thừa từ “Dự án đê biển Vũng Tàu–Gò Công” và cập nhật thêm từ các đề tài dự án của cơ sở 2 trường Đại học Thủy Lợi từ năm 2000 đến nay, dữ liệu địa hình đáy biển khu vực vịnh Gành Rái được lấy từ nguồn dữ liệu địa hình toàn cầu GEBCO (Hình 3).

Dữ liệu ảnh viễn thám về mức độ ngập lụt được lấy từ bản đồ ngập lụt trực tuyến của đại học Liên Hợp Quốc (UNU) để so sánh với kết quả mô phỏng ngập lụt trong quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.



Hình 3. Bản đồ cao độ số (DEM) lưu vực sông Đồng Nai.

2.3.2. Tài liệu khí tượng thủy văn

Tài liệu khí tượng, thủy văn dùng làm biên mô hình tính bao gồm các biên thượng lưu (lưu lượng), biên nhập lưu khu giữa (tính từ mưa, bốc hơi trong MIKE NAM), biên hạ lưu (mực nước). Tài liệu khí tượng thủy văn được thu thập từ số liệu quan trắc của Đài Khí tượng Thủy văn khu vực Nam Bộ, đảm bảo tính liên tục, độ tin cậy và chính xác.

Biên trên là lưu lượng xả của các hồ chứa: Trị An, Dầu Tiếng, Phước Hòa và lưu lượng trên sông Vàm Cỏ Đông tại trạm thủy văn Cần Đăng, lưu lượng trên sông Vàm Cỏ Tây tại trạm thủy văn Mộc Hóa, số liệu liên tục từ năm 1980–2010. Ngoài ra, trên một số sông suối nhỏ, số liệu lưu lượng mực nước được giả thiết là một giá trị mặc định.

Biên dưới là mực nước trạm hải văn Vũng Tàu, sử dụng mực nước của các trạm: Biên Hòa, Thủ Dầu Một, Phú An, Nhà Bè, Tân An, Bến Lức để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

Số liệu mưa, bốc hơi: dùng chuỗi số liệu mưa ngày và số liệu bốc hơi ngày thời đoạn từ 1980–2010 của 18 trạm đo mưa và 12 trạm đo bốc hơi để tính toán lưu lượng nhập khu giữa trong mô hình thủy văn MIKE NAM (Hình 4).



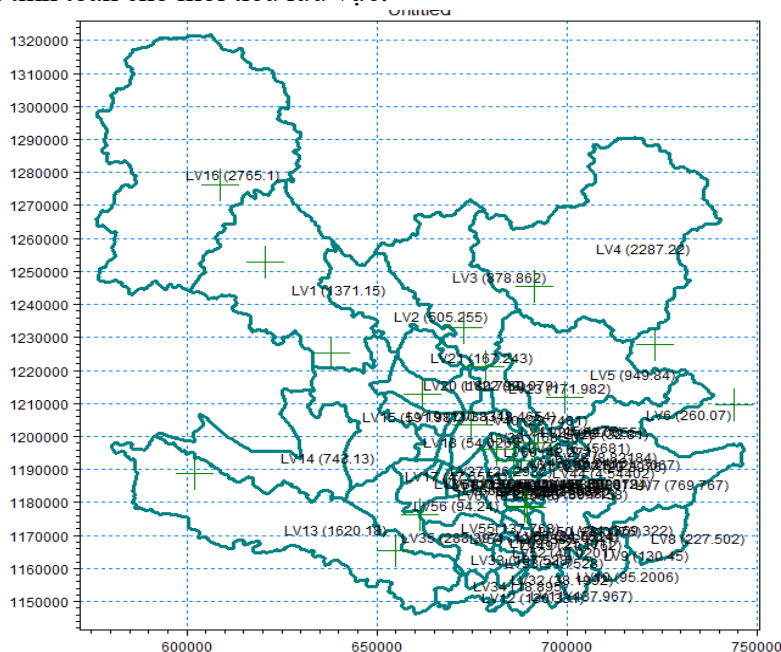
Hình 4. Vị trí các trạm khí tượng thủy văn trên khu vực nghiên cứu.

2.4. Thiết lập mô hình

Nghiên cứu sử dụng module thủy văn MIKE NAM để tính toán dòng chảy nhập khu giữa và sử dụng công cụ MIKE FLOOD kết nối các module thủy lực MIKE11, MIKE21FM để mô phỏng ngập lụt, công cụ GIS được sử dụng để xử lý số liệu đầu vào, xây dựng và phân tích bản đồ ngập lụt.

2.4.1. Tính toán dòng chảy nhập lưu khu giữa bằng mô hình MIKE NAM

Lưu vực của các sông suối trong mô hình được chia thành 69 tiểu lưu vực, diện tích mỗi tiểu lưu vực từ 4 đến 2300 km² (Hình 5). Lượng mưa, bốc hơi dùng tính là các trạm nằm trong khu vực nghiên cứu và vùng lân cận có ảnh hưởng. Sử dụng phương pháp đa giác Thiessen để xác định lượng mưa tính toán cho mỗi tiểu lưu vực.



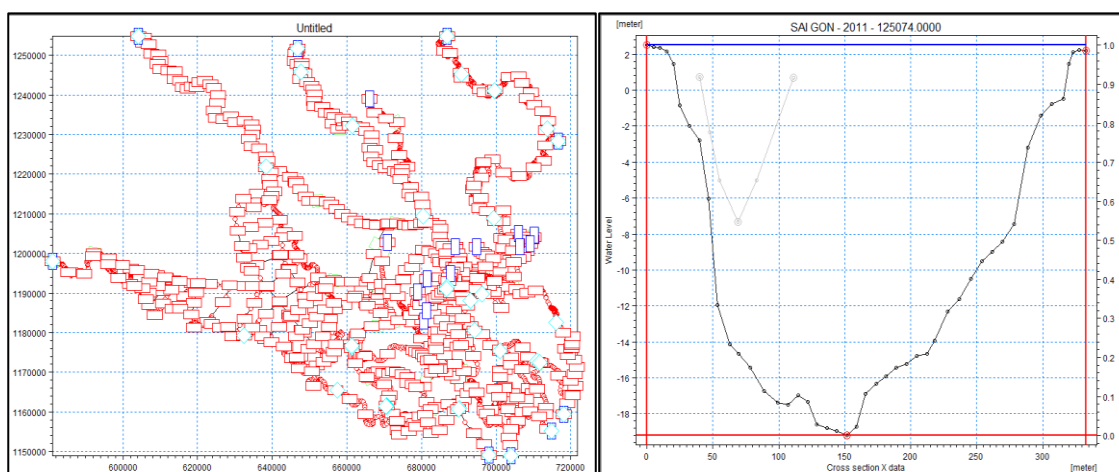
Hình 5. Phân chia các tiểu lưu vực trong mô hình MIKE NAM.

2.4.2. Sơ đồ tính toán thủy lực

Khu vực nghiên cứu là hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai được giới hạn bởi các biên thượng từ hồ Dầu Tiếng, Trị An, hồ Phước Hòa, Mộc Hóa và Cần Đăng. Sơ đồ thủy lực tính từ phía sau đập hồ Dầu Tiếng trên sông Sài Gòn, sau chân đập hồ thủy điện Trị An trên sông Đồng Nai, sau hồ Phước Hòa trên sông Bé, trên sông Vàm Cỏ Đông lấy từ sau trạm thủy văn Cần Đăng, trên sông Vàm Cỏ Tây từ Mộc Hóa ra tới biển Đông tại các cửa: Soài Rạp, Đồng Tranh, Lòng Tàu và Thị Vải.

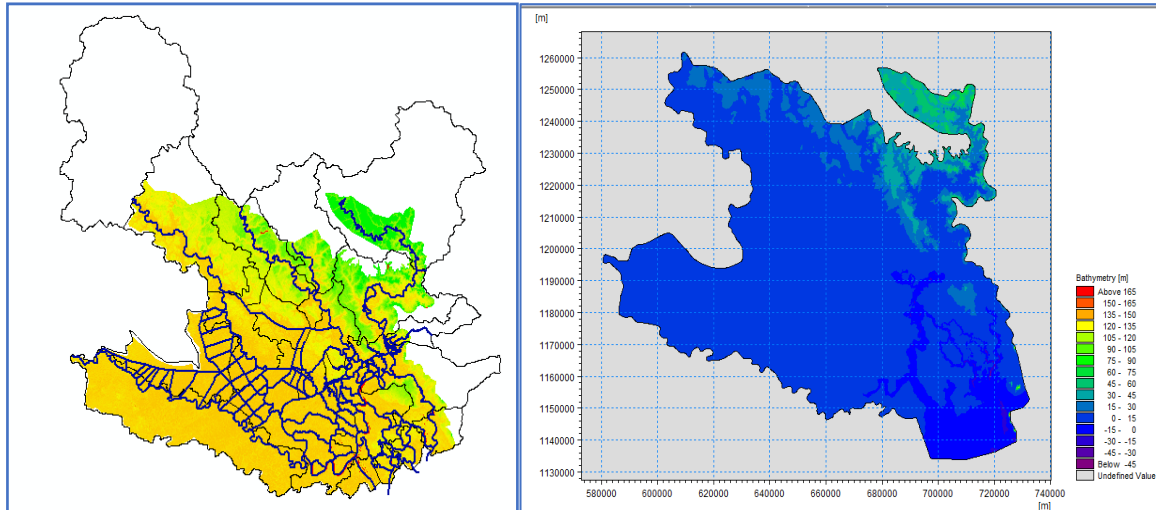
Các biên cho mô hình được lấy từ số liệu lưu lượng, bốc hơi, mưa từ 1980 cập nhật đến năm 2010, số liệu mực nước được cập nhật đến năm 2021.

Sơ đồ thủy lực bao gồm 108 nhánh sông, tổng số mặt cắt ngang sử dụng trong mô hình là 744 mặt cắt phân bố đều trên toàn bộ mạng lưới sông.



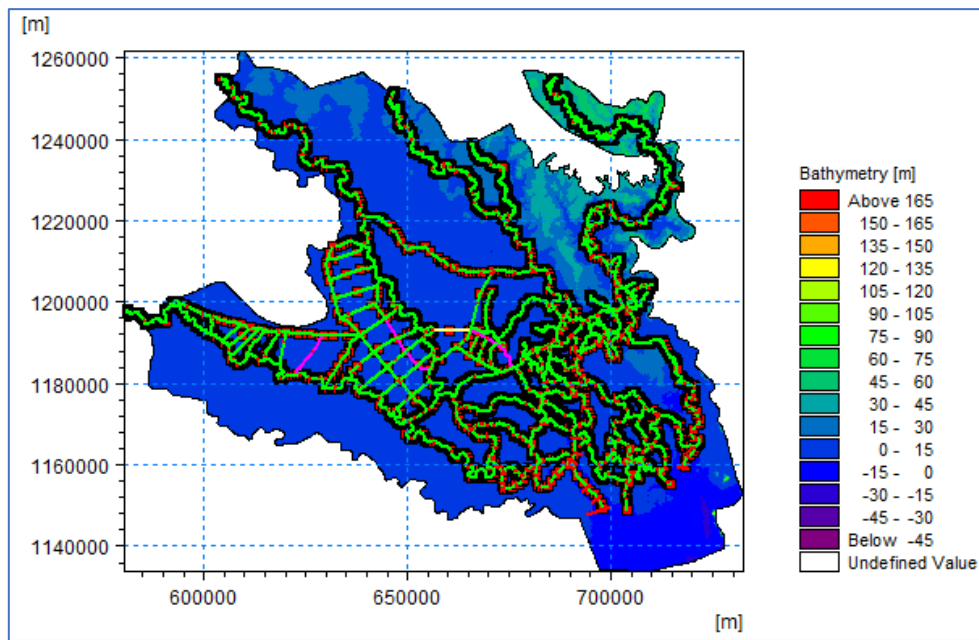
Hình 6. Mô hình thủy lực trong MIKE 11.

Để mô phỏng tương tác dòng chảy trên bãi, mô hình 2 chiều MIKE 21FM HD được thiết lập đảm bảo bao phủ những vùng có khả năng bị ngập, diện tích miền tính toán khoảng 966588 ha. Khu vực nghiên cứu được chia thành 207743 ô lưới, những khu vực có mức độ đô thị hóa cao hoặc những khu vực có độ cao địa hình thay đổi lớn thì kích thước cạnh ô lưới từ 30–100 m, những khu vực bằng phẳng địa hình ít thay đổi thì kích thước cạnh ô lưới từ 100–500 m, khu vực biển từ 500–2000 m (Hình 7).



Hình 7. Miền tính toán trong MIKE 21.

Sử dụng công cụ MIKE FLOOD kết nối mô hình một chiều (MIKE11) và mô hình hai chiều (MIKE21) để mô phỏng ngập lụt cho toàn vùng nghiên cứu, trong nghiên cứu sử dụng loại liên kết bên (lateral link) để kết nối hai mô hình lại với nhau phục vụ mô phỏng (Hình 8).

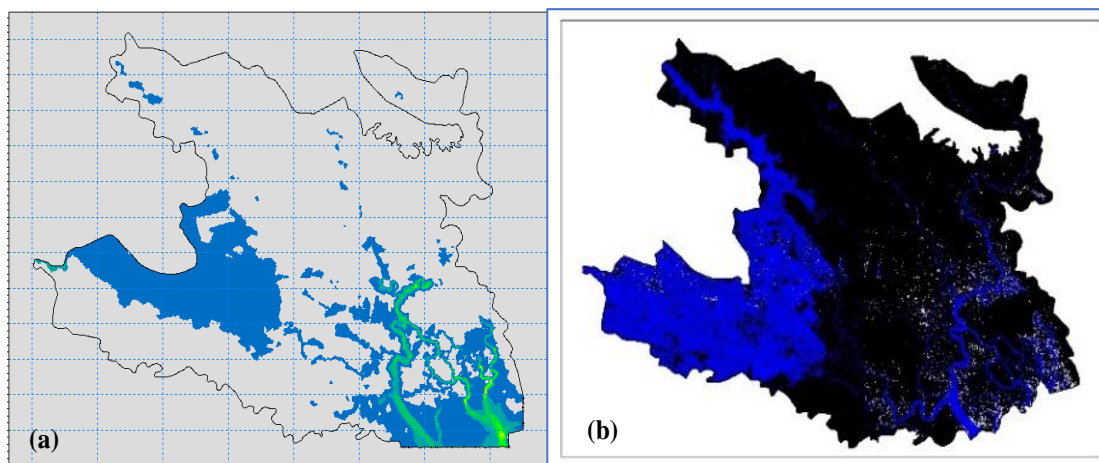


Hình 8. Kết nối mô hình thủy lực MIKE11 và MIKE 21.

Bộ thông số mô hình thủy lực thu được thông qua việc hiệu chỉnh và kiểm định với tài liệu thực đo. Sử dụng trận lũ năm 2000 để hiệu chỉnh mô hình thủy lực và cho hệ số tương quan khá tốt ($Nash > 0,7$). Sau khi hiệu chỉnh mô hình sẽ sử dụng bộ thông số này để kiểm định với trận lũ năm 1999, kết quả kiểm định về mực nước cho hệ số tương quan khá tốt ($Nash > 0,7$). Diện ngập từ kết quả của mô hình MIKE 21 với ảnh vệ tinh, kết quả khá tương đồng.

Bảng 1. Kết quả hiệu chỉnh mô hình thủy lực tại một số trạm thủy văn năm 2000.

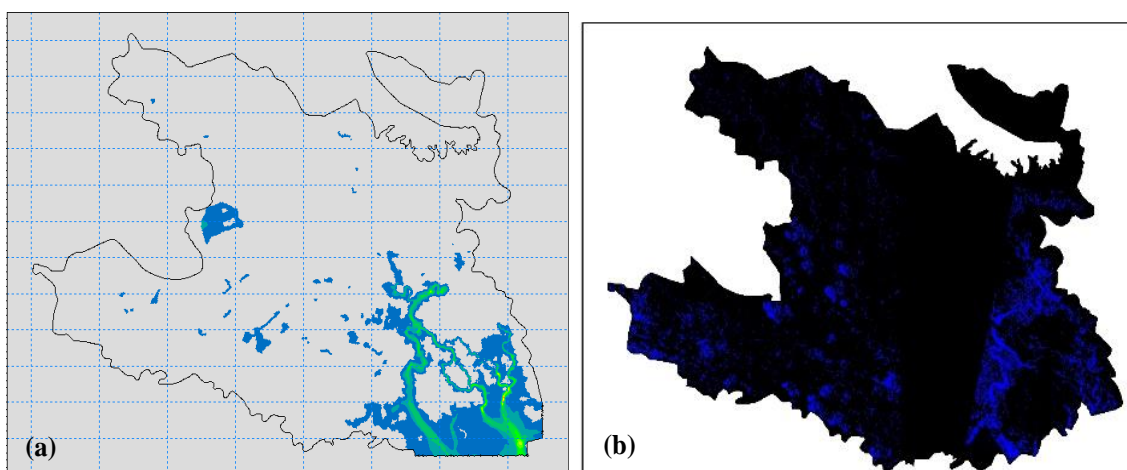
STT	Tên trạm	Hệ số Nash
1	Tân An	0,803
2	Bến Lức	0,875
3	Biên Hòa	0,714
4	Thủ Dầu Một	0,723
5	Phú An	0,919
6	Nhà Bè	0,958



Hình 9. So sánh kết quả diện ngập mô phỏng với diện ngập thực tế trên ảnh vệ tinh năm 2000: (a) Kết quả ngập mô phỏng năm 2000; (b) Ảnh vệ tinh năm 2000.

Bảng 2. Kết quả kiểm định mô hình thủy lực tại một số trạm thủy văn năm 1999.

STT	Tên trạm	Hệ số Nash
1	Tân An	0,81
2	Bến Lức	0,82
3	Biên Hòa	0,798
4	Thủ Dầu Một	0,752
5	Phú An	0,968
6	Nhà Bè	0,971



Hình 10. So sánh kết quả diện ngập mô phỏng với diện ngập thực tế trên ảnh vệ tinh năm 1999: (a) Kết quả ngập mô phỏng năm 1999; (b) Ảnh vệ tinh năm 1999.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Các kịch bản tính toán

Tổng cộng có 6 kịch bản tính toán được xây dựng để đánh giá mức độ ngập lụt khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai tương ứng với các mức ảnh hưởng của các tác nhân gây ngập: mưa, thủy triều, lũ thượng nguồn bên Cam Pu Chia tràn về, xả lũ hồ chứa. Các kịch bản cụ thể như sau:

Kịch bản 1: các hồ chứa Trị An, Phước Hòa, Dầu Tiếng xả lũ theo các cấp lũ nhỏ, lưu lượng trên sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây là lưu lượng lớn nhất lịch sử vào năm 2000, lượng mưa tính toán tương ứng với tần suất mưa 10% thống kê từ những trận mưa lớn nhất trong 7 ngày. Mức nước biên dưới tương ứng với mực nước cao nhất lịch sử của trạm hải văn Vũng Tàu là 152 cm.

Kịch bản 2: các hồ chứa Trị An, Phước Hòa, Dầu Tiếng xả lũ theo các cấp lũ lớn, lưu lượng trên sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây là lưu lượng lớn nhất lịch sử vào năm 2000, lượng mưa tính toán tương ứng với tần suất mưa 5% thống kê từ những trận mưa lớn nhất trong 7 ngày. Mức nước biên dưới tương ứng với mực nước cao nhất lịch sử của trạm hải văn Vũng Tàu là 152 cm.

Kịch bản 3: các hồ chứa Trị An, Phước Hòa, Dầu Tiếng xả lũ theo các cấp lũ rất lớn, lưu lượng trên sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây là lưu lượng lớn nhất lịch sử vào năm 2000, lượng mưa tính toán tương ứng với tần suất mưa 5% thống kê từ những trận mưa lớn nhất trong 7 ngày. Mức nước biên dưới tương ứng với mực nước cao nhất lịch sử của trạm hải văn Vũng Tàu là 152 cm.

Kịch bản 4: các hồ chứa Trị An, Phước Hòa, Dầu Tiếng xả lũ theo các cấp lũ nhỏ, lưu lượng trên sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây là lưu lượng lớn nhất lịch sử vào năm 2000, lượng mưa tính toán tương ứng với tần suất mưa 5% thống kê từ những trận mưa lớn nhất trong 7 ngày. Mức nước biên dưới tương ứng với mực nước cao nhất lịch sử của trạm hải văn Vũng Tàu là 152 cm.

Kịch bản 5: các hồ chứa Trị An, Phước Hòa, Dầu Tiếng xả lũ theo các cấp lũ lớn, lưu lượng trên sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây là lưu lượng lớn nhất lịch sử vào năm 2000, lượng mưa tính toán tương ứng với tần suất mưa 1% thống kê từ những trận mưa lớn nhất trong 7 ngày. Mức nước biên dưới tương ứng với mực nước cao nhất lịch sử của trạm hải văn Vũng Tàu là 152 cm.

Kịch bản 6: các hồ chứa Trị An, Phước Hòa, Dầu Tiếng xả lũ theo các cấp lũ rất lớn, lưu lượng trên sông Vàm Cỏ Đông và Vàm Cỏ Tây là lưu lượng lớn nhất lịch sử vào năm 2000, lượng mưa tính toán tương ứng với tần suất mưa 1% thống kê từ những trận mưa lớn nhất trong 7 ngày. Mức nước biên dưới tương ứng với mực nước cao nhất lịch sử của trạm hải văn Vũng Tàu là 152 cm.

Bảng 3. Các kịch bản mô phỏng ngập lụt.

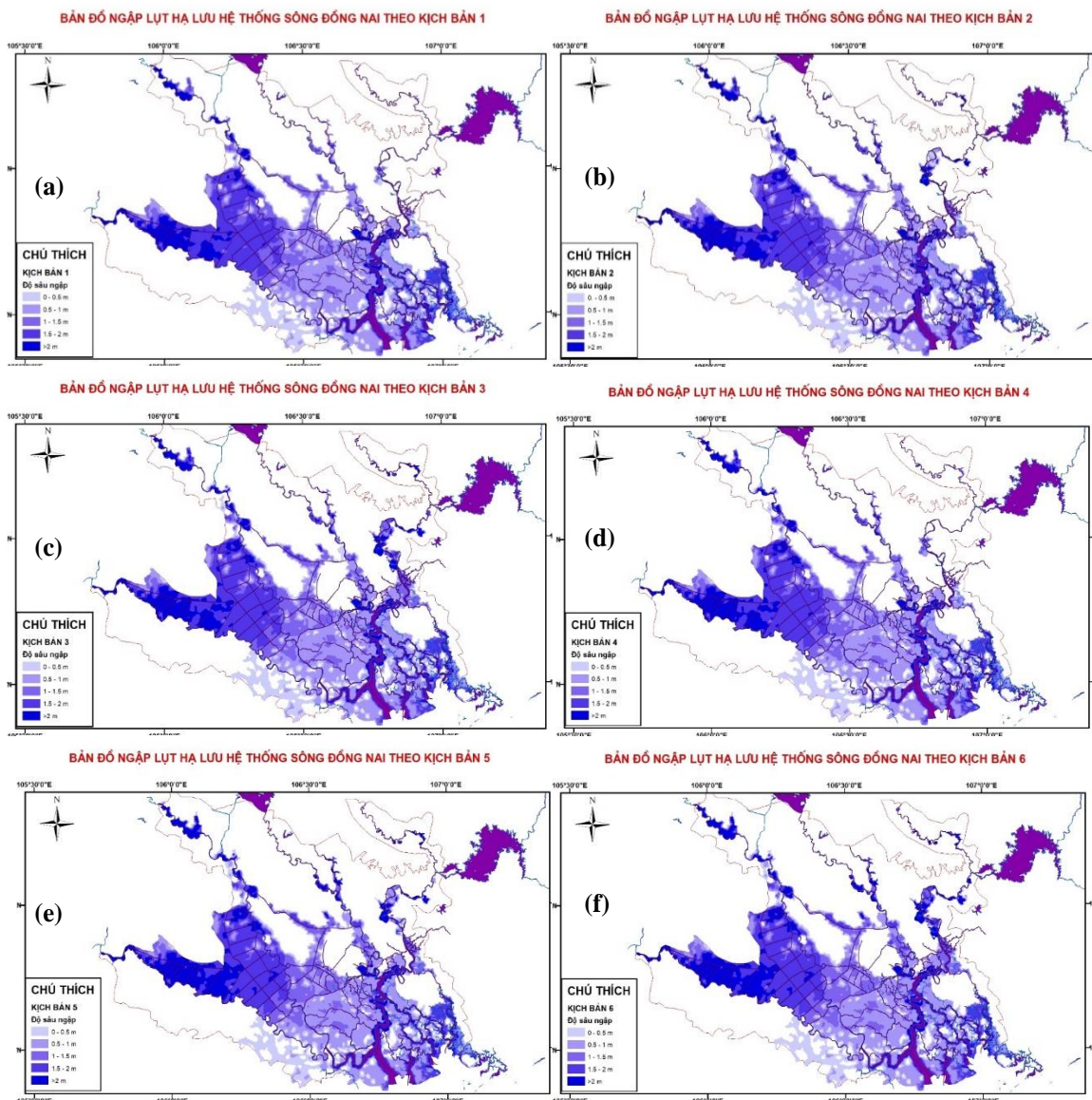
STT	Yếu tố	KB1	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6
1	$Q_{\text{Trị An}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	2745	4633	6000	2745	4633	6000
2	$Q_{\text{Dầu Tiếng}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	150	200	300	150	200	300
3	$Q_{\text{Phước Hòa}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	1400	2400	3000	1400	2400	3000
4	$Q_{\text{VCĐ}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	1000	1000	1000	1000	1000	1000
5	$Q_{\text{VCT}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	2500	2500	2500	2500	2500	2500
6	$H_{\text{Vũng Tàu}} \text{ (m)}$	152	152	152	152	152	152
7	Mưa (mm)	X10%	X5%	X5%	X5%	X1%	X1%

3.2. Kết quả mô phỏng và đánh giá ngập lụt cho khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai

Kết quả mô phỏng ngập lụt của các kịch bản (*.dfsu) được xử lý thông qua công cụ Mike Zero Toolbox và ArcGis để phân tích tính toán và xây dựng bản đồ ngập lụt. Bản đồ ngập lụt và kết quả tổng hợp diện tích ngập lụt theo các độ sâu ngập của các kịch bản được thể hiện trên hình 11a–11f. Bảng tổng hợp diện tích ngập lụt theo các kịch bản được thống kê trong bảng 4.

Bảng 4. Bảng tổng hợp diện tích ngập lụt theo các kịch bản.

STT	KB	Diện tích ngập tương ứng độ sâu ngập (ha)					Tổng
		< 0,5 m	0,5–1 m	1–1,5 m	1,5–2 m	> 2 m	
1	KB1	52250	134297	67625	82895	30049	367116
2	KB2	54015	128737	70924	86469	39393	379539
3	KB3	53007	127811	77370	88841	40716	387744
4	KB4	53121	129815	67432	85273	36536	372178
5	KB5	53129	126597	73994	83687	50417	387824
6	KB6	51919	123489	79403	86025	52078	392914



Hình 11. Bản đồ ngập lụt hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai theo: (a) Kịch bản 1; (b) Kịch bản 2; (c) Kịch bản 3; (d) Kịch bản 4; (e) Kịch bản 5; (f) Kịch bản 6.

- Kịch bản 1: tổng diện tích ngập là 367116 ha, nhìn chung diện ngập là rất lớn và tập trung chủ yếu ở lưu vực hệ thống sông Vàm Cỏ và rừng ngập mặn Cần Giờ. Đây là những khu vực đồng bằng trũng thấp nên rất dễ bị ngập do ảnh hưởng của các tác nhân gây ngập: lũ, mưa lớn, triều cường, thời gian ngập thường kéo dài. Ngập lụt còn xuất hiện ở một số khu vực nhỏ trũng thấp ven sông Sài Gòn–Đồng Nai, những khu vực này thường có thời gian ngập ngắn do tác động của xả lũ hồ chứa trên địa hình dốc khiến lũ lên nhanh và xuống cũng nhanh. Độ sâu ngập lớn ở khu vực thượng lưu và thấp dần về hạ lưu.

- Kịch bản 2: khi tăng lưu lượng xả lũ ở ba hồ chứa phía thượng lưu và tăng lượng mưa từ mưa tần suất 10% lên mưa tần suất 5% thì diện ngập và độ sâu ngập cũng tăng lên so với kịch bản 1. Tổng diện tích ngập lụt theo kịch bản 2 là 379539 ha (tăng 12423 ha so với kịch bản 1), nhìn chung diện ngập ở khu vực thuộc lưu vực sông Vàm Cỏ và rừng ngập mặn Cần Giờ không thay đổi nhiều, diện ngập chỉ tăng lên đáng kể ở các khu vực ven sông Sài Gòn–Đồng Nai

- Kịch bản 3: so với kịch bản 2 thì lượng mưa không thay đổi mà tăng lưu lượng xả lũ hồ Trị An, Dầu Tiếng, Phước Hòa nên làm tăng diện ngập và độ sâu ngập khu vực ven sông phía hạ du các hồ chứa thuộc các huyện Tân Uyên (Bình Dương), Thuận An (Bình Dương), Vĩnh Cửu (Đồng Nai), Biên Hòa (Đồng Nai), Củ Chi (TPHCM), thành phố Thủ Đức (TPHCM). Còn các khu vực thuộc lưu vực sông Vàm Cỏ và rừng ngập mặn Cần Giờ gần như không có thay đổi về diện ngập và độ sâu ngập. Tổng diện tích ngập trong kịch bản 3 là 387744 ha, tăng 8205 ha so với kịch bản 2.

- Kịch bản 4: so với kịch bản 1 thì lượng mưa tăng từ tần suất mưa 10% lên tần suất mưa 5% còn lưu lượng xả lũ hồ chứa không thay đổi nên nhìn chung diện ngập tăng không đáng kể so với kịch bản 1 mà chỉ làm thay đổi độ sâu ngập lụt. Sự thay đổi độ sâu ngập chủ yếu xuất hiện ở các khu vực đồng bằng trũng thấp thuộc lưu vực sông Vàm Cỏ, còn các khu vực bên phía sông Sài Gòn–Đồng Nai không có sự thay đổi nhiều về độ sâu ngập lụt. Tổng diện tích ngập lụt trong kịch bản 4 là 372178 ha, tăng 5062 ha so với kịch bản 1.

- Kịch bản 5: các yếu tố xả lũ hồ chứa, lũ biên giới, biên thủy triều vẫn giữ nguyên so với kịch bản 2, chỉ thay đổi tần suất mưa 5% thành tần suất mưa 1%. Nhìn chung diện ngập thay đổi không nhiều so với kịch bản 2, khi tăng lượng mưa thì một số khu vực trũng thấp ven sông Đồng Nai có sự gia tăng về diện ngập ở các huyện Long Thành (Đồng Nai), Biên Hòa (Đồng Nai), Tân Uyên (Bình Dương), các khu vực còn lại sự gia tăng diện ngập không nhiều. Tổng diện tích ngập trong kịch bản 5 là 387824 ha, tăng 8285 ha so với kịch bản 2.

- Kịch bản 6: là kịch bản gây bất lợi nhất cho việc tiêu thoát nước khi cả lưu lượng xả lũ hồ chứa và tần suất mưa thiết kế ở mức cao nhất trong 6 kịch bản được đưa ra. So với kịch bản 3, tần suất mưa của kịch bản 6 thay đổi từ 5% thành 1% và các điều kiện còn lại giống kịch bản 3. Nhìn chung diện tích ngập biến động không nhiều, chủ yếu thay đổi độ sâu ngập lụt ở khu vực thuộc lưu vực sông Vàm Cỏ và các khu vực trũng thấp ven sông Sài Gòn–Đồng Nai. Khu vực rừng ngập mặn Cần Giờ nằm sát biển có khả năng tiêu thoát nước nhanh, chủ yếu chịu ảnh hưởng thủy triều nên độ sâu ngập thay đổi không đáng kể. Tổng diện tích ngập trong kịch bản 6 là 392914 ha, tăng 4670 ha so với kịch bản 3.

4. Kết luận

Qua kết quả mô phỏng ngập lụt theo các kịch bản trên có thể thấy khu vực hạ lưu hệ thống sông Đồng Nai là khu vực rất dễ bị ngập do tác động của một hay tổ hợp của các tác nhân gây ngập: lũ, xả hồ chứa, mưa lớn, triều cường. Kết quả nghiên cứu đã cho thấy được mức độ tác động của từng tác nhân gây ngập tới từng khu vực cụ thể.

Khu vực lưu vực sông Vàm Cỏ là khu vực đồng bằng trũng thấp nên rất dễ bị ngập lụt bởi các tác nhân gây ngập, phía thượng lưu chủ yếu bị ngập lụt do lũ biên giới và mưa lớn không tiêu thoát kịp, phía hạ lưu gần biển và có địa hình thấp hơn nên chủ yếu bị ngập do tác động của triều cường.

Khu vực thuộc lưu vực sông Sài Gòn–Đồng Nai đoạn từ sau hồ Phước Hòa, hồ Trị An, hồ Dầu Tiếng tới khu vực ngã ba Mũi Đèn Đỏ, vị trí nhập lưu của sông Sài Gòn vào sông Đồng Nai,

khu vực này có địa hình thấp dần từ thượng lưu tới hạ lưu, chuyển tiếp từ dạng địa hình trung du sang đồng bằng nên khi xả lũ hồ chứa với lưu lượng lớn vượt quá khả năng tiêu thoát nước của lòng dẫn khiến nước tràn bờ gây ngập khu vực hai bên bờ sông. Một số khu vực trũng thấp cục bộ, hệ thống tiêu thoát nước kém nên khi xảy ra mưa lớn cũng dẫn tới ngập lụt.

Nghiên cứu chưa tính toán chi tiết cho ngập lụt cục bộ khu vực đô thị do mưa lớn, tuy nhiên, kết quả xây dựng bản đồ ngập lụt và phân tích kết quả ngập chi tiết trong từng kịch bản có thể được tham khảo phục vụ cho công tác phòng chống thiên tai và quy hoạch phát triển kinh tế xã hội của khu vực một cách bền vững.

Đóng góp tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: L.T.Q.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: L.T.Q., L.Đ.D., T.N.A.; Xử lý số liệu: L.T.Q.; Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình: L.T.Q.; Viết bản thảo bài báo: L.T.Q.; Chỉnh sửa bài báo: L.T.Q., L.Đ.D., T.N.A.

Lời cảm ơn: nghiên cứu được thực hiện dưới sự hướng dẫn và hỗ trợ của Tổng cục Khí tượng Thủy văn và Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả xin 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 và không có sự tranh chấp lợi ích gì trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Pagano, T.C. Evaluation of Mekong River commission operational flood forecasts, 2000–2012. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2014**, 18, 2645–2656.
2. Dat, T.T.; Tri, D.Q.; Truong, D.D.; Hoa, N.H. Application of Mike Flood Model in Inundation Simulation with the Dam-break Scenarios: A Case Study of DakDrinh Reservoir in Vietnam. *Int. J. Sci. Eng.* **2019**, 12(01), 60–70.
3. Yu, W.; Kim, Y.; Lee, D.E.; Lee, G. Hydrological assessment of basin development scenarios: Impacts on the Tonle Sap Lake in Cambodia. *Quat. Int.* **2018**, 503(A), 115–127.
4. Bình, H.T.; Anh, T.N.; Khá, Đ.Đ. Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD tính toán ngập lụt hệ thống sông Nhật Lệ tỉnh Quảng Bình. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2010**, 3S, 285–294.
5. Đức, Đ.Đ.; Anh, T.N.; Như, N.Y.; Sơn, N.T. Ứng dụng mô hình MIKE FLOOD tính toán ngập lụt hệ thống sông Nhuệ – Đáy trên địa bàn thành phố Hà Nội. *Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội* **2011**, 1S, 37–43.
6. Huân, H.V. và cs. Đề tài cấp Nhà nước KC.08–29: Nghiên cứu đề xuất các giải pháp khoa học công nghệ để ổn định lòng dẫn hạ du hệ thống sông Đồng Nai – Sài Gòn phục vụ phát triển kinh tế–xã hội vùng Đông Nam Bộ. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, 2005.
7. Kim, N.Q. Nghiên cứu giải pháp tổng thể kiểm soát ngập lụt vùng hạ lưu sông Đồng Nai – Sài Gòn và vùng lân cận. Cơ sở II, Trường Đại học Thủy lợi, 2013.
8. Bình, D.V. Impacts of upstream dam development on flow, sediment and morphological changes in Vietnamese Mekong delta. Ph.D Thesis, Kyoto University, 2019.
9. Đắc, N.T. Mô hình toán cho dòng và chất lượng nước trên hệ thống kênh sông. Nhà xuất bản Nông nghiệp, TP. HCM, 2005, tr. 234.
10. Niên, N.A.; Lanh, Đ.T.; Khang, N.D.; Dương, N.B. Một số kết quả trong cải tiến mô hình KOD.WQPS. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn* **2008**, 5, 78–81.
11. DHI. MIKE 11 User Manual, Danish Hydraulic Institute, Copenhagen, 2017.
12. DHI. MIKE 21 User Manual, Danish Hydraulic Institute, Copenhagen, 2017.
13. DHI. MIKE Flood User Manual, Danish Hydraulic Institute, Copenhagen, 2017.

14. Phong, N.T. Nghiên cứu ngập lụt vùng ven sông Sài Gòn – Đồng Nai Thành phố Hồ Chí Minh do chế độ xả lũ các hồ Dầu Tiếng, Trị An, Thác Mơ kết hợp với mưa, triều cường và lũ trên sông Vàm Cỏ. Greenstone library software, 2011.
<http://www.nsl.hcmus.edu.vn/greenstone/collect/hnkhbk/archives/HASH1e78.dir/doc.pdf>
15. Quỳnh, N.P.; Hải, Đ.Đ.; Lam, Đ.H.; Thương, T.V. Đánh giá biến động mực nước và ngập lụt vùng hạ du sông Sài Gòn dưới tác động của đô thị hóa, xây dựng công trình chống ngập và xả lũ các hồ chứa nước thượng lưu. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2018**, 49, 1–12.
16. Song, P.V.; Thanh, Đ.Đ.; Bảo, L.X. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của việc xả lũ hồ chứa Dầu Tiếng lên hạ du sông Sài Gòn. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2013**, 19, 55–66.
17. Dũng, Đ.Đ.; Huy, N.V. Báo cáo tình hình quản lý quy hoạch lưu vực sông Đồng Nai năm 2011, Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam, 2012.
<https://siwrp.org.vn/admin/upload/BaoCaoRBODongNai2011.pdf>.
18. Niên giám Thống kê Việt Nam năm 2020. Nhà xuất bản Thống kê, Hà Nội, 2021, tr.1055.
19. Quyết định số 1895/QĐ-TTg ngày 25/12/2019 về việc ban hành quy trình vận hành liên hồ chứa trên lưu vực sông Đồng Nai.
20. Quyết định 05/2020/QĐ-TTg về Quy định mực nước báo động tương ứng với các cấp báo động lũ trên các sông thuộc phạm vi cả nước.
21. Quyết định số 5279/QĐ-BNN-TCTL về việc ban hành quy trình vận hành hồ chứa nước Phước Hòa tỉnh Bình Dương, Bình Phước.
22. Quyết định số 2700/QĐ-BCT về việc phê duyệt quy trình vận hành hồ chứa thủy điện Trị An.

Simulation and development of flood maps in downstream of Dong Nai river system

Le Thanh Quang^{1*}, La Duc Dung², Tran Ngoc Anh³

¹ Southern Regional Hydro–Meteorological Center; lequangwru@gmail.com;

² Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; dunglaktv@gmail.com

³ Faculty of Hydrology Meteorology and Oceanography, VNU University of Sciences, Vietnam national University, Hanoi; tranngocanh@hus.edu.vn

Abstract: Flooding in the downstream area of the DongNai river system is affected by 4 main causes: rain, tide, reservoir flood discharge, and upstream flood on the Cambodian side. The study has built the MIKE FLOOD modeling toolkit to simulate and build inundation maps for the downstream area of the DongNai river system. The model parameters are calibrated and tested with the real data series of the two severe floods in 1999 and 2000 giving a strong correlation between the calculated data and the actual measurement. Then, the model set is used to simulate and evaluate flooding according to the scenarios of reservoir flood discharge, upstream flood, heavy rain and high tide. The results of hydraulic calculations and the construction of a flood map could be use to determine the level of influence of the inundating agents on each specific area and support the relevant agencies to come up with more suitable solutions for flood control in each region, and at the same time serve as a basis for planning for socio–economic sustainable development...

Keywords: MIKE FLOOD; Flooding.