

TÍNH TOÁN XÁC ĐỊNH BỒI LẮNG Bùn CÁT HỒ DẦU TIẾNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP MÔ HÌNH SWAT, MIKE 11 VÀ 21

Lê Thế Hiếu

Trung tâm quốc gia Nước sạch và vệ sinh Môi trường Nông thôn

Lê Xuân Quang, Nguyễn Xuân Lâm

Viện Nước, Tưới tiêu và Môi trường

Lương Hữu Dũng

Viện Khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu

Thái Thị Tú

Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển

Tóm tắt: Hồ Dầu Tiếng là một trong 4 hồ chứa quan trọng đặc biệt do Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn quản lý. Hồ được xây dựng từ năm 1981, hồ có dung tích thiết kế 1,58 tỷ m³; dung tích chết là 470 triệu m³. Nhiệm vụ chính của hồ là cấp nước tưới và nước sinh hoạt cho 5 tỉnh, thành gồm: Tây Ninh, Bình Dương, Bình Phước, Long An và TP Hồ Chí Minh. Lượng cát được khai thác trong hồ hàng năm khoảng 674.200 m³. Việc khai thác cát ít nhiều cũng đã ảnh hưởng đến hoạt động quản lý khai thác và an toàn hồ chứa, vì vậy nghiên cứu xác định bồi lắng bùn cát hồ Dầu tiếng có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao. Bài viết này tác giả giới thiệu về kết quả xác định bồi lắng bùn cát cho hồ Dầu Tiếng sử dụng một phương pháp kết hợp các mô hình SWAT, MIKE11 và MIKE21.

Từ khóa: Bồi lắng bùn cát hồ Dầu Tiếng, phương pháp kết hợp mô hình SWAT, MIKE11, MIKE21.

Summary: Dau Tieng reservoir is one of four top-priority ones managed directly by Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD). It was constructed in 1981, and has a capacity of 1,58 billion m³ and 470 million m³ of dead storage. It bears duties of supplying irrigation and domestic water for 5 provinces and cities of Tay Ninh, Binh Duong, Binh Phuoc, Long An and Ho Chi Minh City. Annually, sand extraction of 674,200 m³, has been more or less affecting its operation and safety. Therefore, the research on the sedimentation process of Dau Tieng reservoir brings to us significances of both science and practice. This paper is a brief on results of calculating sediment flow to Dau Tieng reservoir based on the combined method of SWAT, MIKE11 and MIKE21.

Keywords: Reservoir, sedimentation, methodology calculating sediment, Dau Tieng reservoir, SWAT, MIKE11, MIKE21

1. GIỚI THIỆU

Hồ Dầu Tiếng là 01 trong 04 hồ chứa quan trọng đặc biệt do Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn quản lý gồm, vị trí hồ Dầu Tiếng nằm ở thượng nguồn sông Sài Gòn thuộc phạm vi 03 tỉnh Tây Ninh, Bình Dương, Bình Phước. Hệ thống công trình được xây dựng từ 29/4/1981 và đưa vào vận hành khai thác từ năm 10/1/1985, Hồ Dầu Tiếng có dung tích thiết kế 1,58 tỷ m³ nước ứng với mực nước dâng

bình thường +24,40 m, diện tích mặt nước hồ là 270 km², cao trình Đập chính +28 m, chiều cao đập phụ 6÷8 m; hệ thống kênh mương phục vụ tưới, tiêu là công trình cấp I với tổng chiều dài khoảng 140 km. Tổng lượng nước chảy vào hồ trung bình nhiều năm là 1.841 triệu m³. Mực nước chết +17,00 m ứng với dung tích chết là 470 triệu m³, diện tích mặt thoáng 5.500 ha, dung tích hữu ích của hồ là 1.110 triệu m³. Hồ điều tiết nhiều năm, được thiết kế để phục

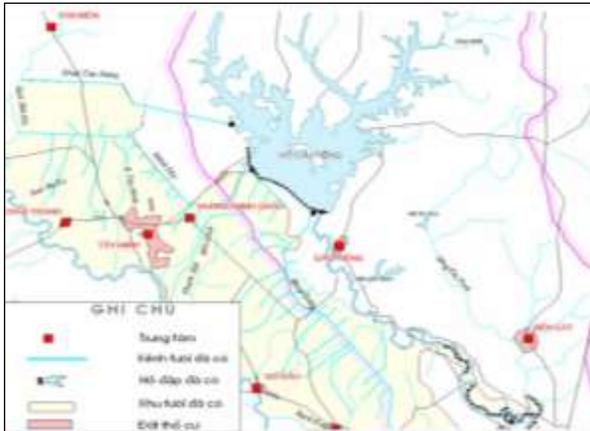
Ngày nhận bài: 22/9/2022

Ngày thông qua phản biện: 15/10/2022

Ngày duyệt đăng: 20/11/2022

vụ khai thác đa mục tiêu, quy mô công trình hồ chứa cấp đặc biệt.

Sau gần 40 năm hoạt động, lượng bùn cát bồi lắng lòng hồ khá lớn; lượng cát được khai thác hàng năm khoảng 674.200 m³, hoạt động khai thác cát phần nào đã ảnh hưởng đến quản lý khai thác của Hồ và an toàn hồ chứa.



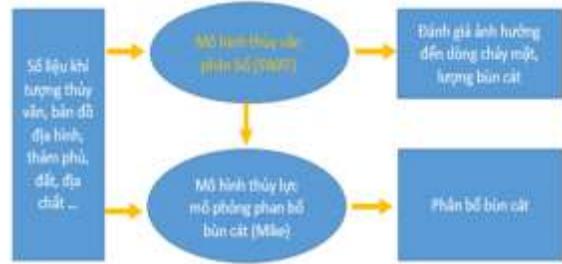
Hình 1: Bản đồ hệ thống thủy lợi Dầu Tiếng

Hiện nay hoạt động khai thác cát lòng hồ chứa Dầu Tiếng diễn ra đã có tác động không nhỏ đến an toàn công trình, đến quản lý, vận hành và khai thác công trình. Để làm được điều đó, chúng ta cần xác định được lượng bùn cát đã bồi lắng trong lòng hồ cũng như lượng bùn cát đến hồ hàng năm, từ đó làm cơ sở cho việc quy hoạch, cấp phép khai thác cát trong lòng hồ chứa.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Phương pháp xác định bồi lắng bùn cát

Trong nghiên cứu này, các mô hình toán thủy văn và thủy lực được thiết lập để đánh giá các điều kiện khí tượng thủy văn và đặc điểm bùn cát của lưu vực và hồ Dầu Tiếng. Một sự kết hợp giữa mô hình SWAT (Soil & Water Assessment Tool) dùng cho mô phỏng thủy văn và xói mòn trên lưu vực và bộ mô hình Mike DHI được coi là một sự kết hợp khá tiện dụng và tận dụng được các thế mạnh của từng mô hình, sơ đồ thiết lập các mô hình như hình 2 sau:



Hình 2: Sơ đồ khối thực hiện bài toán

2.1.1 Mô hình mô phỏng dòng chảy mặt SWAT

SWAT là mô hình thủy văn và bùn cát lưu vực có ưu điểm là một mô hình bán phân bố có khả năng tính toán cao cho bài toán mưa-dòng chảy, xói mòn và các nguồn thải phát tán trên lưu vực. Mô hình được thiết lập để mô phỏng dòng chảy cho các tiểu lưu vực khu giữa và lưu vực đến hồ Dầu Tiếng. Kết quả mô phỏng dòng chảy tại các tiểu lưu vực là đầu vào cho mô hình hồ chứa.

2.1.2 Mô hình thủy lực Mike 11 và MIKE21

Mô hình họ Mike DHI do viện thủy lực Đan Mạch phát triển là các mô hình toán khá phổ biến ở Việt Nam và trên thế giới. Mô hình rất nổi tiếng với module 1D nhờ khả năng tính toán mạnh, độ tin cậy cao, khả năng tích hợp mô phỏng các module khác như bùn cát, công trình, tính tiện dụng,.. sang 2D và 3D. Mô hình thủy lực được thiết lập để mô phỏng mực nước, lưu lượng và phân bố bùn cát của hồ Dầu Tiếng.

2.2. Thiết lập mô hình SWAT

Để thiết lập được mô hình toán, các số liệu, tài liệu cần thiết bao gồm:

- + Bản đồ địa hình: Bản đồ địa hình lưu vực sông được dùng để tính toán đặc trưng lưu vực và xác định mạng sông trong mô hình.
- + Vị trí địa lý các trạm đo trên lưu vực.
- + Số liệu khí tượng: là yếu tố đầu vào để tính toán dòng chảy.
- + Số liệu thủy văn: lưu lượng trung bình ngày sẽ phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định mô hình.

2.2.1 Dữ liệu đầu vào

a) Dữ liệu thám phủ, địa hình và sử dụng đất

Bản đồ DEM 30 (độ phân giải 30m/pixel) lưu

vực sông Sài Gòn Đồng Nai. Bản đồ hiện trạng sử dụng đất, bản đồ thô những lưu vực sông Sài Gòn Đồng Nai.

b) Dữ liệu khí tượng thủy văn

Dữ liệu khí tượng thủy văn đưa vào mô hình gồm có: dữ liệu nhiệt độ, bốc hơi, lưu lượng tại các trạm Cần Đăng, Phước Hòa, Tây Ninh, Phước Long, Đồng Phú, Đắc Nông có liệt tài liệu từ 1980 đến 2020.

2.2.2 Phân chia lưu vực

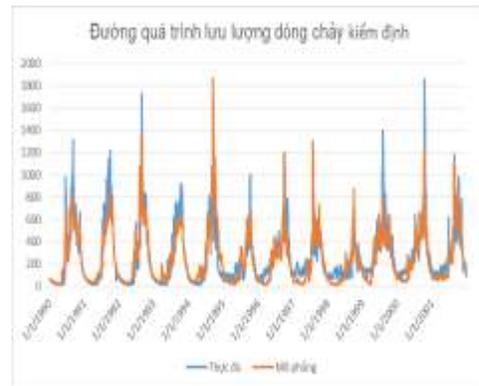
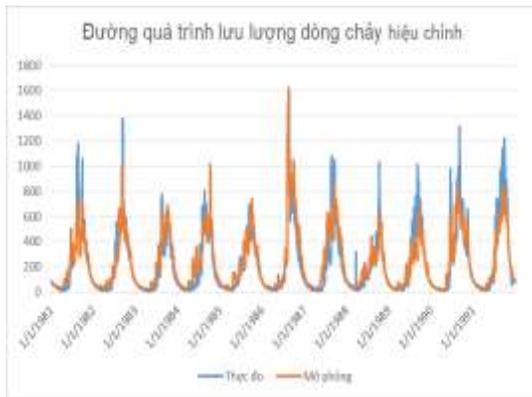
Dựa trên bản đồ số độ cao DEM, mô hình SWAT sẽ xác định chiều dòng chảy, sau đó tự động mô phỏng mạng lưới sông suối. Dựa trên mạng lưới sông suối SWAT phân chia lưu vực thành các tiểu lưu vực theo tiêu chí

điểm đầu của tiểu lưu vực là thượng lưu của con sông và kết thúc là điểm nhập lưu của nhánh sông với nhánh sông khác.

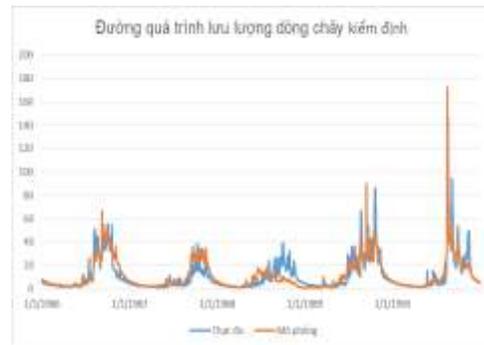
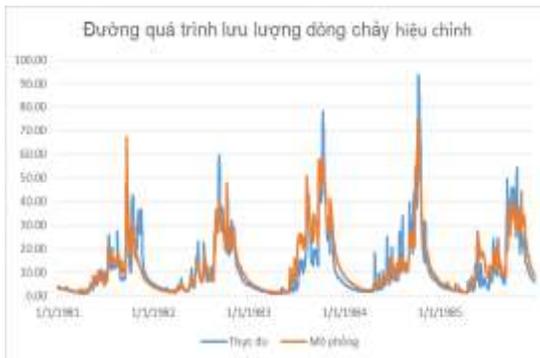


Hình 3: Bản đồ phân chia tiểu lưu vực

2.2.3 Hiệu chỉnh kiểm định lưu lượng dòng chảy



Hình 4: Đường quá trình lưu lượng hiệu chỉnh, kiểm định tại trạm Phước Hòa



Hình 5: Đường quá trình lưu lượng hiệu chỉnh, kiểm định tại trạm Cần Đăng

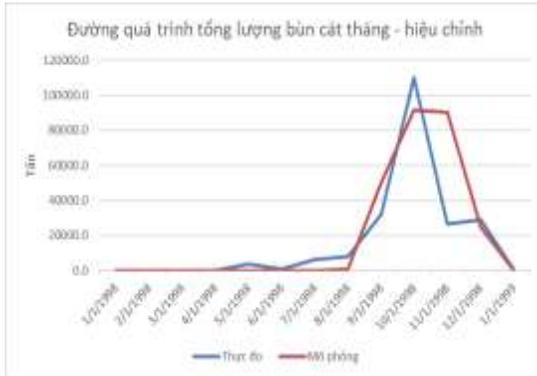
Bảng 1: Bảng tổng hợp kết quả hiệu chỉnh mô hình SWAT mô phỏng dòng chảy

Trạm	Thời gian hiệu chỉnh			Thời gian kiểm định		
	Bắt đầu	Kết thúc	Nash	Bắt đầu	Kết thúc	Nash
Phước Hòa	1/1/1981	12/31/1991	0,86	1/1/1992	12/31/2001	0,77
Cần Đăng	1/1/1981	12/31/1985	0,78	12/31/1986	12/31/1990	0,72

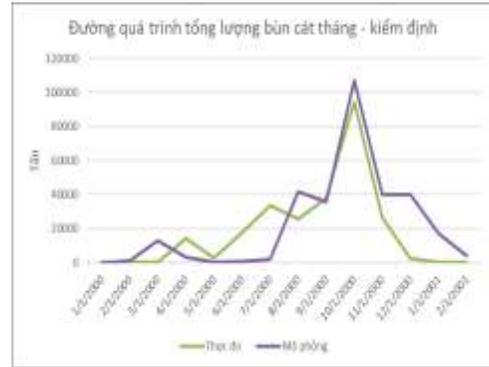
2.2.4. Hiệu chỉnh kiểm định dòng chảy bùn cát

Do trên lưu vực tính toán không có trạm đo lưu lượng bùn cát, do đó lựa chọn trạm Sông Lũy với đầy đủ số liệu dựa trên lưu vực tương tự để tiến

hành hiệu chỉnh kiểm định bùn cát. Tiến hành hiệu chỉnh cho năm 1998 và kiểm định cho năm 2000; kết quả hiệu chỉnh kiểm định cho thấy chỉ số Nash(NSI) và PBIAS đều đạt yêu cầu.



Hình 6: Đường quá trình lưu lượng hiệu chỉnh tại trạm Sông Lũy năm 1998



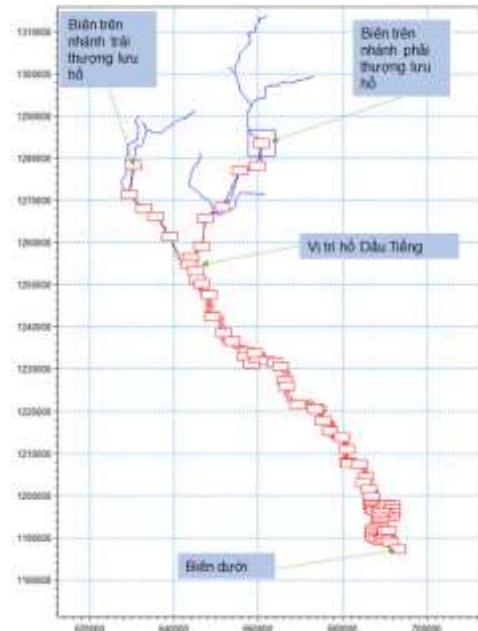
Hình 7: Đường quá trình lưu lượng kiểm định tại trạm Sông Lũy năm 2000

Bảng 1: Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định bùn cát

Năm	NASH	PBIAS
1998	0,56	18,63
2000	0,55	17,70

2.3. Thiết lập mô hình thủy lực 1 chiều MIKE 11

Sơ đồ mạng sông bao gồm các sông chính: Sông Sài Gòn từ hồ Dầu Tiếng đến ngã ba nhập lưu với sông Đồng Nai dài khoảng 144 km. Biên tính toán mô hình MIKE 11 cho khu vực nghiên cứu gồm Biên trên: Quá trình lưu lượng tại 2 nhánh thượng lưu hồ Dầu Tiếng mô phỏng từ mô hình SWAT. Biên dưới là quá trình mực nước thực đo tại trạm Phú An. Biên dọc mô hình các đường quá trình lưu lượng gia nhập khu giữa được tính toán bằng mô hình thủy văn SWAT dựa vào các tài liệu khí tượng có được trên lưu vực.



Hình 8: Sơ đồ mạng mô hình thủy lực Mike11 tại khu vực nghiên cứu

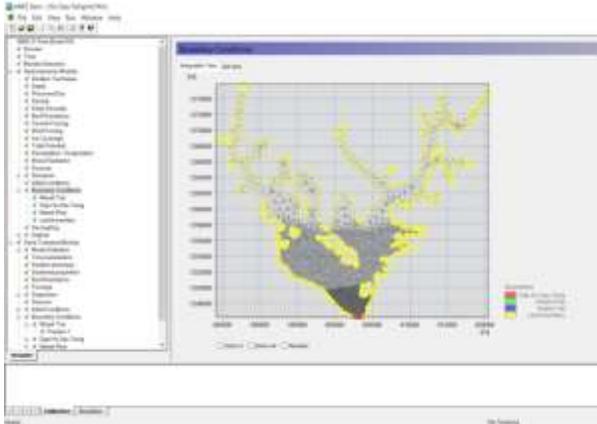
Bảng 3: Bảng tổng hợp kết quả hiệu chỉnh kiểm định mô hình MIKE 11

Trạm	Thời gian hiệu chỉnh			Thời gian kiểm định		
	Bắt đầu	Kết thúc	Nash	Bắt đầu	Kết thúc	Nash
Thủ Dầu Một	1/1/2004	12/31/2006	0,9	1/1/2007	12/31/2009	0,88

3.4. Thiết lập mô hình thủy lực 2 chiều MIKE 21FM

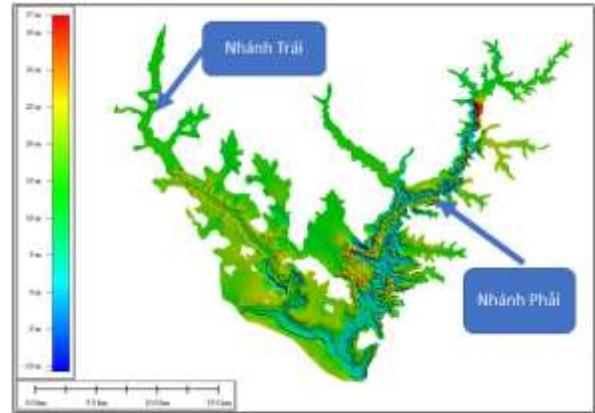
Mô hình MIKE 21 FM được chọn để mô phỏng thủy lực và biến đổi địa hình lòng hồ Dầu Tiếng

với giao diện như trên hình 9. Mô hình bao gồm 2 mô đun chính là Mô đun Thủy lực (Hydrodynamic module) và Mô đun Bùn cát (Module Sand Transport).



Hình 9: Thiết lập mô hình MIKE 21FM

- Cần thiết lập lưới tính chi tiết cho khu vực nghiên cứu (Hình) bằng bộ công cụ tạo lưới mesh của mô hình MIKE 21 FM.



Hình 10: Khu vực nghiên cứu

a. Điều kiện biên:

Biên trên 1 và 2: giá trị lưu lượng Q và nồng độ bùn cát tại 2 đầu nhánh sông thượng lưu hồ

Biên dưới: Mực nước H và nồng độ bùn cát tại vị trí đập Dầu Tiếng

b. Điều kiện ban đầu:

Mực nước hồ: 20 m

Nồng độ bùn cát : 100 g/m³

c. Thiết lập lưới tính:

Lưới tính dùng trong mô hình MIKE 21 FM để mô phỏng thủy lực và biến đổi lòng hồ Dầu Tiếng là lưới tam giác (phi cầu trúc). Mức độ chi tiết của lưới được phân theo tùy thuộc vào khu vực nào cần mô phỏng chi tiết. Trên cơ sở dữ liệu địa hình DEM của lòng hồ Dầu Tiếng cùng với hệ lưới tam giác (phi cầu trúc) đã thành lập tiến hành tạo file địa hình đầu vào cho mô hình MIKE 21 FM. Kết quả hiệu chỉnh kiểm định cho thấy chỉ số Nash(NSI) đều đạt yêu cầu.

Bảng 4: Bảng tổng hợp kết quả hiệu chỉnh kiểm định mô hình MIKE 21

Thời gian hiệu chỉnh			Thời gian kiểm định		
Bắt đầu	Kết thúc	Nash	Bắt đầu	Kết thúc	Nash
1/6/2014	31/7/2015	0,86	1/8/2015	30/4/2016	0,77

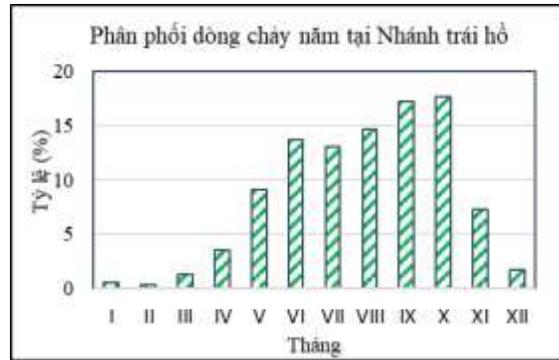
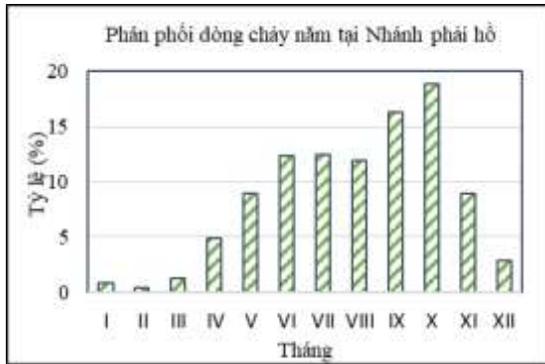
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Kết quả mô phỏng dòng chảy đến hồ Dầu Tiếng

Nghiên cứu đã sử dụng tài liệu mô phỏng dòng chảy tại các nhánh đến hồ trong giai đoạn từ năm 1985 đến năm 2019. Kết quả tính toán được đưa ra ở hình 11 cho thấy

lưu lượng nước đến hồ từ thượng nguồn nhánh phải chiếm tỉ trọng lớn nhất, với lưu lượng trung bình nhiều năm lớn nhất là 110,77 m³/s, trung bình mùa lũ lớn nhất là 160,46 m³/s. Lưu lượng đến hồ trung bình năm lớn nhất tập trung vào mùa lũ các năm 2000, 2001 lưu lượng đến hồ trung bình năm nhỏ nhất vào mùa cạn các năm 2008 ÷

2010.



Hình 11: Tỷ lệ phân phối dòng chảy đến hồ Dầu Tiếng

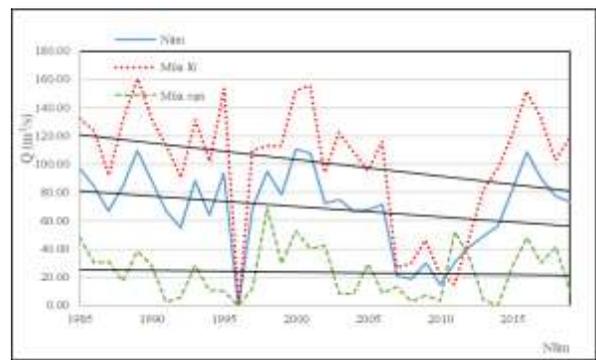
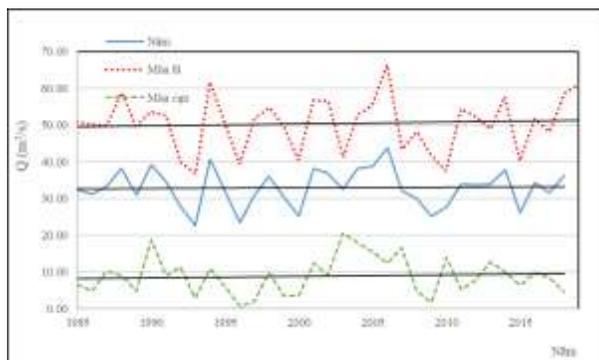
3.2. Kết quả mô phỏng bùn cát đến hồ Dầu Tiếng

Kết quả mô phỏng lượng bùn cát đến hồ trung bình nhiều năm là 241.000 tấn/ngày. Lượng bùn cát đổ vào hồ là lớn nhất chủ yếu tập trung vào mùa lũ do lưu lượng vào hồ vào thời điểm này lớn, tổng lượng bùn cát trung bình nhiều năm

lớn nhất vào tháng X vào khoảng 61.000 tấn/ngày. Trong mùa cạn tổng lượng bùn cát trung bình năm đến hồ vào khoảng 8.000 tấn/ngày. Trong đó lượng bùn cát trong mùa lũ tại nhánh phải cao hơn nhánh trái 84%, dòng chảy trong mùa kiệt tại nhánh phải cao hơn nhánh trái 30%.

Bảng 5: Lưu lượng bùn cát trung bình nhiều năm đến hồ thời đoạn (1985-2020) (tấn/ngày)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Qtb năm	Tổng Năm
Nhánh Phải	1653	418	521	1143	6	12021	4	2	4	2	8	5307	13238	158860
Nhánh Trái	1122	196	0	0	8	8318	7535	12513	4	6	8454	1471	6901	82808



Hình 12: Diễn biến đặc trưng dòng chảy tại nhánh trái (trái) và nhánh phải (phải) đến hồ

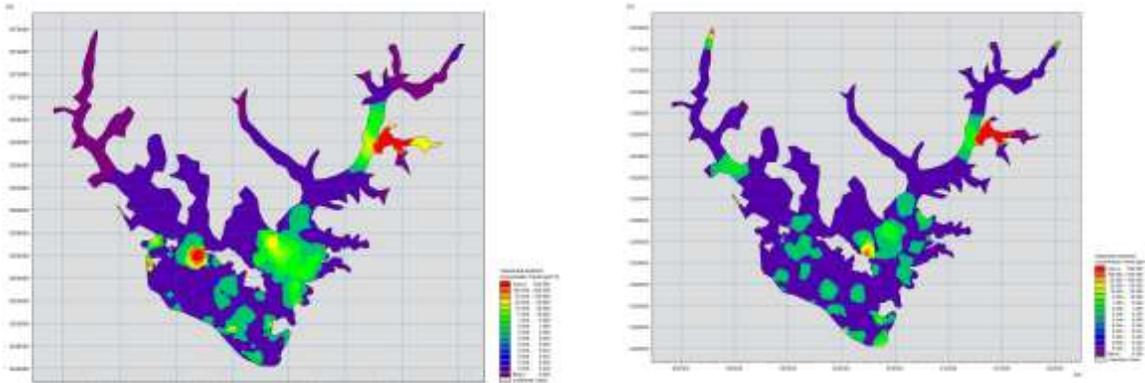
3.3. Kết quả mô phỏng thủy lực

3.3.1 Kết quả mô phỏng hình thái lòng hồ Dầu Tiếng

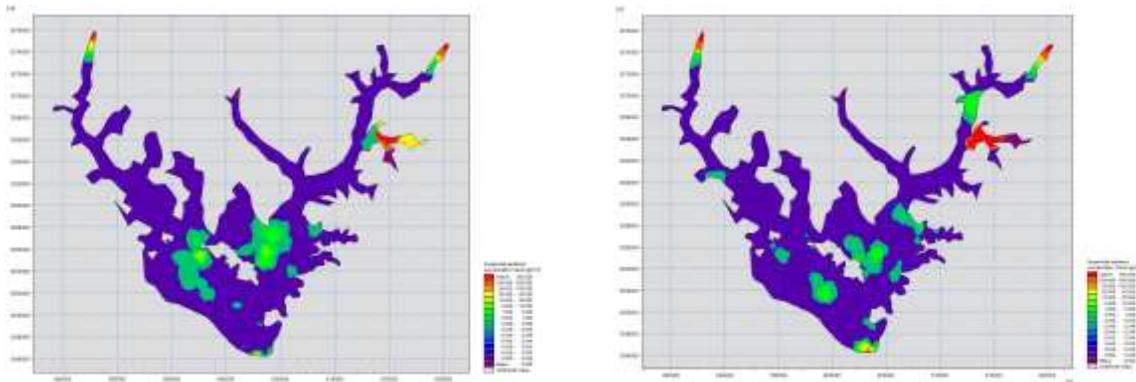
Hình 13 trình bày kết quả phân bố theo không gian của trường nồng độ bùn cát lơ lửng vào mùa kiệt khu vực hồ Dầu Tiếng đầu thời kỳ mô phỏng và cuối thời kỳ mô phỏng, với màu đỏ

thể hiện nồng độ lớn nhất và màu tím thể hiện nồng độ nhỏ nhất trên thang màu. Nhìn chung so sánh 2 trường phân bố, có thể thấy, trong

mùa kiệt, nồng độ bùn cát lơ lửng có sự giảm mạnh vào cuối thời kỳ mô phỏng. Sự giảm mạnh tập trung chủ yếu ở khu vực giữa lòng hồ.



Hình 13: Phân bố nồng độ bùn cát lòng hồ mùa kiệt đầu (trái) và cuối (phải) thời kỳ mô phỏng

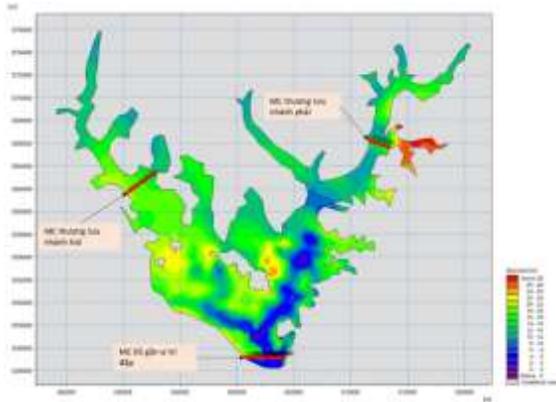


Hình 14: Phân bố nồng độ bùn cát lòng hồ mùa lũ đầu (trái) cuối (phải) thời kỳ mô phỏng

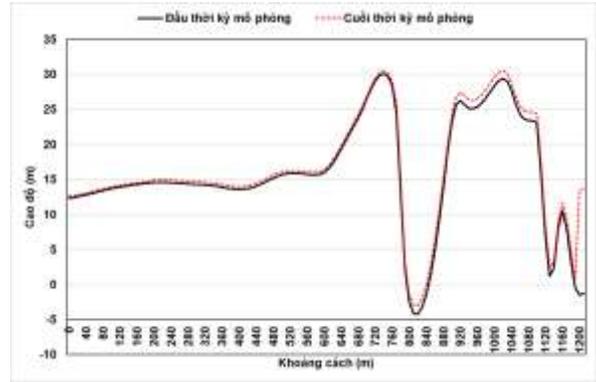
Hình 14 trình bày kết quả phân bố theo không gian các vị trí bồi xói vào mùa kiệt khu vực hồ Dầu Tiếng đầu thời kỳ mô phỏng và cuối thời kỳ mô phỏng, với màu đỏ thể hiện độ bồi lớn nhất và màu tím thể hiện độ xói lớn nhất trên thang màu chú giải và các ô cell mang giá trị dương nếu bồi và giá trị âm nếu xói. Về tổng thể, có thể thấy, mức độ bồi lấp giảm đi rõ rệt

vào cuối thời kỳ mô phỏng. Khu vực thượng lưu 2 nhánh sông đổ vào hồ, khu vực lòng hồ (xung quanh bãi bồi), khu vực sát chân đập là bị bồi nhiều nhất.

3.3.2 Đánh giá mức độ bồi xói theo các tuyến trắc dọc và mặt cắt ngang kiểm tra



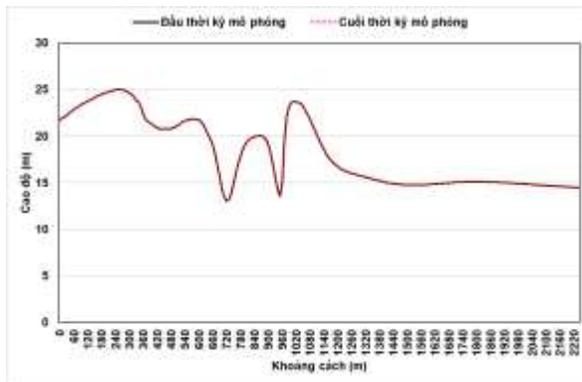
Hình 15: Bản đồ vị trí các mặt cắt ngang kiểm tra



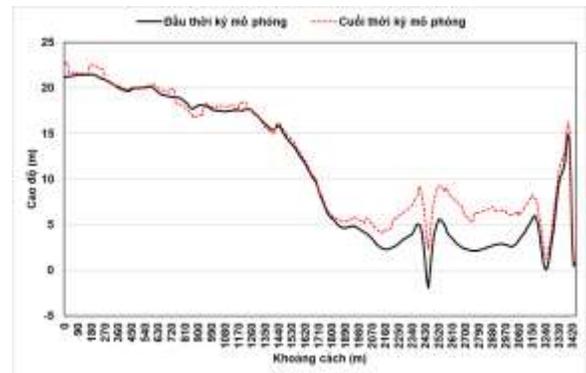
Hình 16: Diễn biến bồi xói theo thời gian tại các mặt cắt ngang thượng lưu nhánh phải

Diễn biến quá trình bồi xói tại các tuyến trắc dọc và mặt cắt được đánh giá thông qua việc so sánh sự thay đổi về cao trình các tuyến trắc dọc và các mặt cắt giữa đầu thời kỳ mô phỏng (năm

1992) và cuối thời kỳ mô phỏng (năm 2018). Các kết quả chính được trình bày trên các hình 16.



Hình 17: Diễn biến bồi xói theo thời gian tại các mặt cắt ngang thượng lưu nhánh trái



Hình 18: Diễn biến bồi xói theo thời gian tại các mặt cắt ngang hồ vị trí đập

Hình 17, hình 18 có thể thấy cuối thời kỳ mô phỏng cao trình một số điểm trên trắc dọc và mặt cắt ngang đã tăng lên đáng kể, ngoại trừ mặt cắt ngang trên nhánh trái thượng lưu của hồ không có sự thay đổi nhiều về địa hình. Mặt cắt ngang lòng hồ tại vị trí gần đập thể hiện mức độ bồi lắng khá rõ tại các điểm trũng có cao trình địa hình thấp, là nơi cuối cùng hứng và chặn lại lượng bùn cát theo dòng chảy đến hồ. Như vậy, rõ ràng, vào cuối thời kỳ mô phỏng, tại các tuyến trắc dọc và mặt cắt ngang, hiện tượng bồi lắng thể hiện rất rõ rệt tại một số vị trí.

3.4. Tính toán bồi lắng bùn cát

Kết quả sử dụng mô hình SWAT để mô phỏng lượng bùn cát đến hồ trong suốt thời kỳ 36 năm (1985 ÷ 2020), từ đó tính ra tổng lượng bùn cát đến hồ Dầu Tiếng. Trong nghiên cứu này, không xem xét lượng bùn cát xả ra khỏi hồ nên lượng bùn cát đến hồ sẽ coi như là lượng bùn cát lắng đọng tại hồ. Như vậy, tổng lượng bùn cát bồi lắng tại hồ Dầu Tiếng sau 36 năm là: **265,9 triệu tấn** tương ứng với thể tích khoảng **133,8 triệu m³** bùn cát bồi lắng tại hồ (dung trọng bão hòa $\gamma_w = 1,988 \text{ tấn/m}^3$). Trung bình

khoảng 3,72 triệu m³ bùn cát/năm.

3. KẾT LUẬN

Hiện nay trên thế giới và trong nước có nhiều phương pháp xác định bồi lắng bùn cát hồ chứa; mỗi phương pháp có những ưu và nhược điểm khác nhau. Trên cơ sở điều kiện hiện trạng, đặc điểm tự nhiên lưu vực và nguồn tài liệu, số liệu hồ Dầu Tiếng, chúng tôi kết hợp các phương pháp mô hình toán và phân tích thống kê để đánh giá phân bố bùn cát đến hồ chứa. Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định cho kết quả đạt yêu cầu. Kết quả nghiên cứu cho thấy lượng bùn cát đến hồ trung bình nhiều năm là 241.000

tấn/ngày; trong mùa lũ tại nhánh phải cao hơn nhánh trái 84%, trong mùa kiệt tại nhánh phải cao hơn nhánh trái 30%. Sau 36 năm lượng bùn cát đến hồ khoảng 265,9 triệu tấn, tương ứng với khoảng 133,8 triệu m³ bùn cát. Như vậy trung bình mỗi năm lượng bùn cát về hồ khoảng 3,72 triệu m³.

Bài báo giới thiệu về kết quả xác định lượng bùn cát bồi lắng hồ Dầu Tiếng, đây mới là kết quả bước đầu, cần có thời gian để kiểm nghiệm và bổ sung các tài liệu, số liệu để mô hình toán sát thực tế hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mai Văn Biểu, Vũ Đình Hoà (1998) . Vấn đề bồi lắng hồ Hoà Bình. Tuyển tập báo cáo tại hội thảo khoa học "Đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa Hoà Bình tới môi trường) . Viện Khí tượng Thủy văn . Hà Nội 12-1998.
- [2] Nguyễn Kiên Dũng (1998) . Bồi lắng cát bùn hồ Hoà Bình trong những năm đầu tích nước. Tuyển tập báo cáo tại hội thảo khoa học "Đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa Hoà Bình tới môi trường). Viện Khí tượng Thủy văn. Hà Nội 12-1998.
- [3] Trần Thục, Nguyễn Kiên Dũng (1998). Mô hình toán tính bồi lắng hồ chứa Hoà Bình. Tuyển tập báo cáo tại hội thảo khoa học "Đánh giá ảnh hưởng của hồ chứa Hoà Bình tới môi trường . Viện Khí tượng Thủy văn. Hà Nội 12-1998.
- [4] Cao Đăng Dư và nnk (1992), Xói mòn lun vực và bồi lắng Hồ Hoà Bình , Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học. Tổng cục Khí tượng Thủy Văn.
- [5] Lê Xuân Quang và nnk (2021), Phương pháp xác định bồi lắng bùn cát hồ Dầu Tiếng, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi.

Tài liệu tiếng Anh

- [1] Colby B . R. (1964), - Practical Computations of Bed - Material Discharge", *J. Hydraulics Division*, ASCE, vol.17(5), pp.898-908.
- [2] Molias A, Yang C . T . (1986), Computer Program User's Manual for GSTARS . U.S. Bureau of Reclamation, Denver.
- [3] Chang H.H (1998), Fluvial-12 Mathematical Model for Erodible Channels User's Manual, Sandiego, California.