

Bài báo khoa học

Vai trò của hồ Tonle Sap trong việc cung cấp nước vào vùng Đồng bằng sông Cửu Long trong mùa cạn

Hoàng Minh Tuyên¹, Trần Đức Thiện^{2*}, Nguyễn Quang Chiến², Nguyễn Ngọc Hoa³

¹ Viện khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu; hmtuyenvkttv@gmail.com

² Viện khoa học tài nguyên nước; thientd810@wru.vn; quangchien29@gmail.com

³ Trung tâm dự báo khí tượng thủy văn quốc gia; ngochoa50v@gmail.com

*Tác giả liên hệ: thientd810@wru.vn; Tel.: +84-389961328

Ban Biên tập nhận bài: 5/9/2022; Ngày phản biện xong: 22/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

Tóm tắt: Hiện tượng hạn hán, thiếu nước trong mùa cạn của vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) đang ngày càng trở lên nghiêm trọng với tần suất xảy ra liên tiếp và mức độ gây thiệt hại đến kinh tế xã hội trầm trọng hơn. Do đặc điểm nguồn nước mặt của vùng ĐBSCL phụ thuộc phần lớn vào nguồn nước từ ngoài lãnh thổ, vì vậy cần phải có những nghiên cứu phân tích các thành phần tạo nên dòng chảy mùa cạn vào vùng ĐBSCL. Nghiên cứu này sẽ đánh giá vai trò của hồ Tonle Sap đến dòng chảy mùa cạn vào vùng ĐBSCL bằng phương pháp thống kê và sử dụng mô hình MIKE11HD. Kết quả cho thấy vào cuối tháng 10, dòng chảy từ hồ Tonle Sap sẽ bắt đầu chảy về hạ lưu trong khoảng thời gian khoảng 180 ngày với tổng lượng nước từ tháng XI đến tháng IV khoảng 40 tỉ m³. Trung bình từ tháng XI đến tháng IV, hồ Tonle Sap đóng góp khoảng 36% dòng chảy cho hạ lưu. Tháng 12 có tỉ lệ đóng góp dòng chảy cho hạ lưu lớn nhất, còn cao hơn cả dòng chính. Đến cuối mùa cạn, hồ chỉ đóng góp cho hạ lưu khoảng 15% đến 16% trong tổng lượng nước vào Việt Nam. Nhờ có hồ Tonle Sap mà lưu lượng trên sông Tiền và sông Hậu trong các năm hạn điển hình tăng lên khoảng 15% đến 30%, góp phần đẩy mặn cho vùng ĐBSCL.

Từ khóa: Mê Công; Hồ Tonle Sap; Vai trò mùa cạn; Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL).

1. Mở đầu

Dòng chảy mùa cạn vào vùng ĐBSCL được đóng góp bởi hai thành phần chính gồm dòng chính sông Mê Công và hồ Tonle Sap. Tuy nhiên, những năm gần đây do một số nguyên nhân như tác động của các hiện tượng thời tiết cực đoan, sự phát triển của hệ thống hồ chứa thủy điện khu vực thượng và trung lưu của lưu vực sông Mê Công và việc khai thác, sử dụng nước của các quốc gia thượng nguồn, dẫn đến dòng chính sông Mê Công trong mùa cạn ngày càng có xu thế cạn kiệt hơn so với trước đây. Hệ quả là vùng ĐBSCL đang thường xuyên phải đối mặt với tình trạng hạn hán, thiếu nước trên diện rộng xảy ra trong mùa cạn như các năm 2015–2016 và 2019–2020 do sự biến đổi và suy giảm dòng chảy mùa cạn ở dòng chính sông Mê Công, mà vai trò đóng góp dòng chảy của hồ Tonle Sap càng trở lên quan trọng hơn. Vì vậy cần có những đánh giá cụ thể về khả năng đóng góp dòng chảy của hồ Tonle Sap vào vùng ĐBSCL trong mùa cạn.

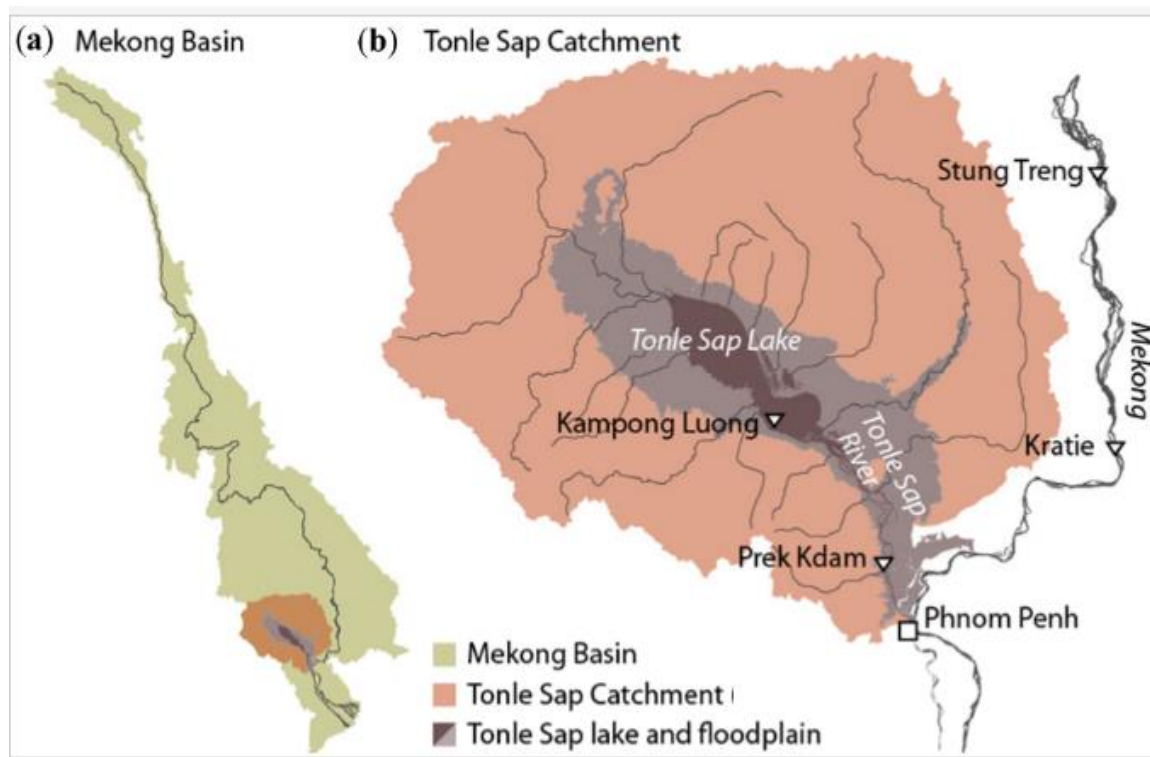
Các nghiên cứu về hồ Tonle Sap đã chỉ ra các đặc điểm của hồ như: trong mùa khô nước trong hồ sẽ đổ về hạ lưu, nhưng trong mùa mưa nước từ sông Mê Công sẽ chảy ngược vào hồ [1–8]; mực nước của hồ Tonle Sap và dòng chính sông Mê Công có quan hệ chặt chẽ với nhau [3, 7], trong mùa khô khi không được cấp nước từ dòng chính, mực nước hồ Tonle Sap sẽ giảm dần [5, 9], ngược lại trong mùa mưa hồ Tonle Sap sẽ đóng vai trò tích trữ nước lũ

giúp phần giảm thiểu lũ lụt cho khu vực hạ du của sông Mê Công [6, 8]; hệ thống các hồ chứa đang làm thay đổi chế độ dòng chảy trên sông Mê Công, điển hình như nghiên cứu tác động của 11 đập thủy điện trên sông Lan Thương đã và đang làm giảm lưu lượng cả mùa khô lẫn mùa mưa ở hạ lưu của lưu vực [10], hay hệ thống thủy điện dòng nhánh sông Sesan, Srepok cũng đang làm gia tăng dòng chảy tối thiểu hạ du và làm giảm lũ cho hạ du [11–12]; các quốc gia trên sông Mê Công đang lấy nước ngày càng nhiều hơn nhằm phục vụ cho các mục đích phát triển kinh tế xã hội, như Cam Pu Chia đã nâng cấp hệ thống tưới tiêu cũ và xây dựng mới hệ thống kênh và hồ chứa bởi sự tài trợ của Trung Quốc, Nhật bản, Ngân hàng thế giới và Ngân hàng phát triển Châu Á (ADB) [13], ước tính hệ thống này sẽ lấy đi khoảng 31% lượng nước mùa khô khu vực hạ lưu sông Mê Công và hạ lưu hồ Tonle Sap [14]. Tuy nhiên các nghiên cứu nước ngoài chỉ mới đánh giá đến đặc điểm của hồ Tonle Sap mà chưa đề cập đến vai trò cung cấp nước của hồ Tonle Sap đến vùng ĐBSCL. Một số nghiên cứu ở Việt Nam trước đây chỉ tập trung nghiên cứu các tác động dòng chảy mùa lũ của hồ Tonle Sap đến Việt Nam [1, 8], sau khi vùng ĐBSCL xảy ra hạn hán lịch sử năm 2015–2016 thì đã có một số các nghiên cứu liên quan phân tích dòng chảy mùa cạn của hồ Tonle Sap vào Việt Nam [16–17], tuy nhiên mới chỉ dừng lại ở việc xác định lượng nước tại hồ Tonle Sap mà chưa xét đến khả năng đóng góp nước của hồ vào vùng ĐBSCL trong mùa cạn. Bài báo này sẽ sử dụng phương pháp phân tích thống kê và mô hình MIKE11HD để đánh giá vai trò của hồ Tonle Sap đến dòng chảy mùa cạn vùng ĐBSCL.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Hồ Tonle Sap có lưu vực chủ yếu nằm ở Cam Pu Chia, phần diện tích ở Thái Lan chiếm 5% diện tích lưu vực. Với 11 nhánh chính chảy trực tiếp vào hồ cung cấp một nguồn nước quan trọng khác. Tổng diện tích lưu vực hồ Tonle Sap là 85.790 km², xấp xỉ 11% tổng diện tích toàn lưu vực. Vùng mặt hồ ngập vĩnh viễn trong mùa khô có diện tích khoảng 2400 km². Diện tích vùng ngập lũ quanh hồ tối đa trung bình là 10.800 km² (không bao gồm diện tích hồ vĩnh viễn 2400 km², cao nhất khoảng 16.000 km²) [8].



Hình 1. Sơ đồ vị trí hồ Tonle Sap [6].

2.2. Phương pháp thu thập dữ liệu

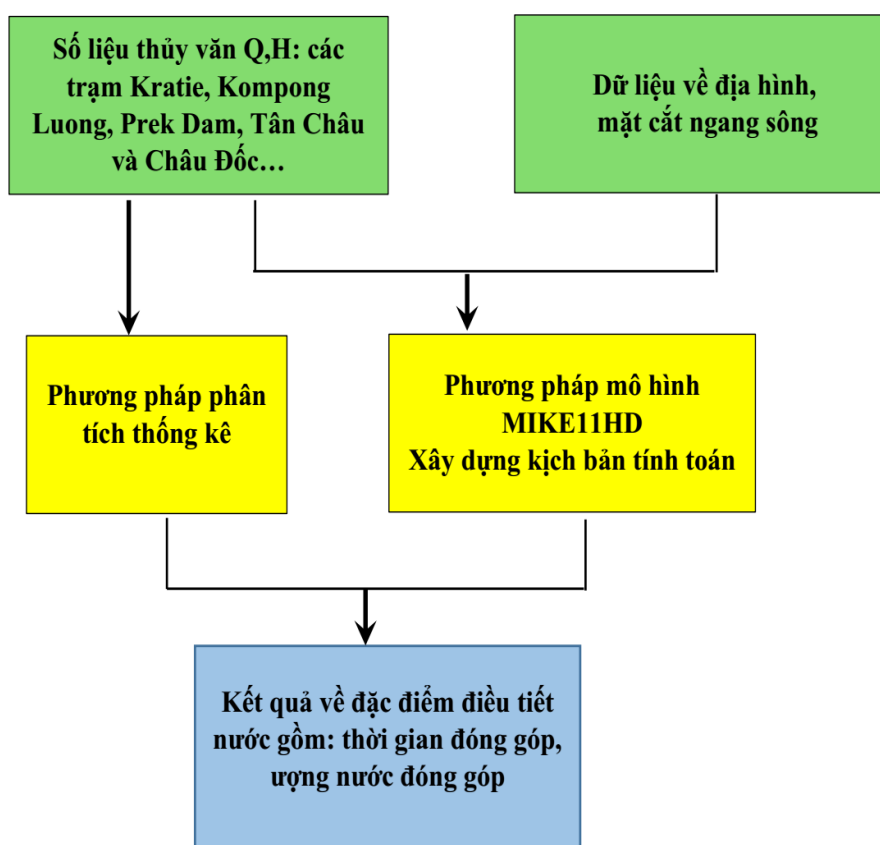
Các số liệu sử dụng được thu thập từ dự án của Ủy ban sông Mê Công Việt Nam, Ủy hội sông Mê Công quốc tế [18–20] bao gồm số liệu thủy văn về lưu lượng mực nước tại các trạm đại diện gồm: trạm Kratie, Kompong Luong, Prek Dam, Tân Châu và Châu Đốc được cập nhật đến 2021.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Nguyên tắc chung

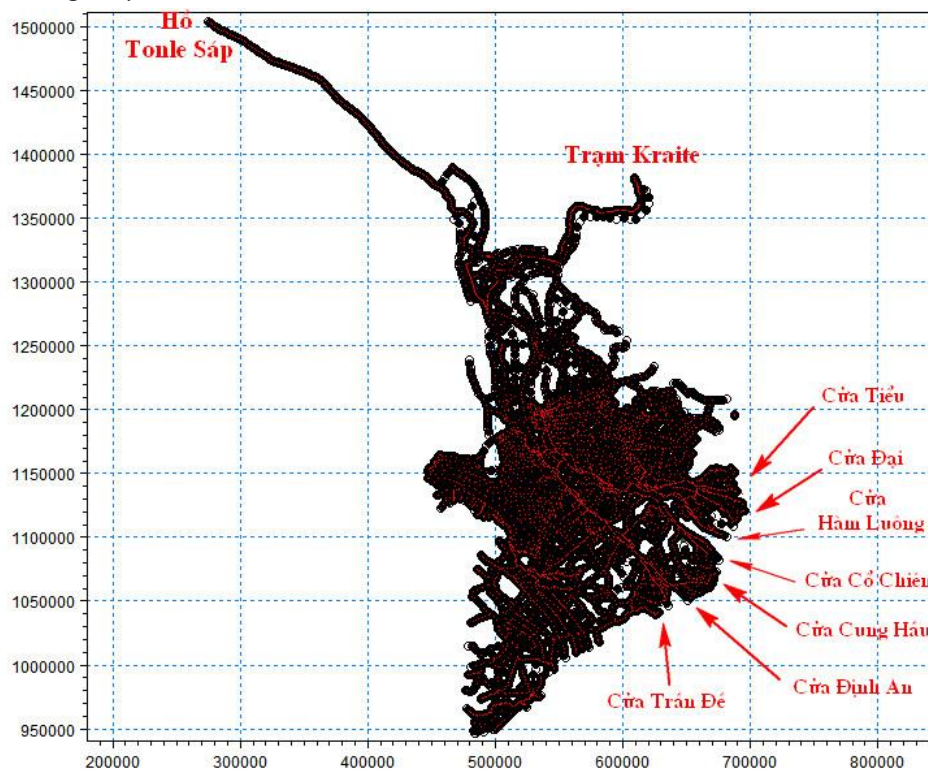
Phương pháp thống kê, phân tích hệ thống được sử dụng nhằm tiến hành phân tích khả năng đóng góp dòng chảy của hồ Tonle Sap vào vùng ĐBSCL trong mùa cạn từ các số liệu về lưu lượng, mực nước của các trạm Kratie, Kompong Luong, Prek Dam, Tân Châu và Châu Đốc.

Bên cạnh đó, nghiên cứu đã áp dụng mô hình thủy lực MIKE11HD được kế thừa từ Đề tài cấp bộ “Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo sớm nguồn nước mùa cạn và nguy cơ hạn hán cho Đồng bằng sông Cửu Long”, mã số TNMT.2020.02.02 đã được hiệu chỉnh kiểm định dùng để mô phỏng dòng chảy vào Việt Nam qua Tân Châu và Châu Đốc cho 2 năm hạn điển hình 2015–2016 và 2019–2020 với giả thiết hồ Tonle Sap không đóng góp dòng chảy mùa cạn vào vùng ĐBSCL.



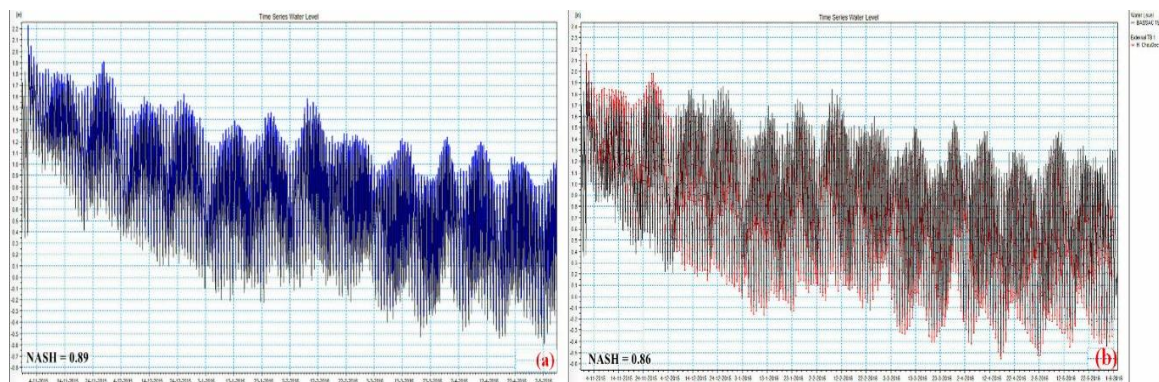
Hình 2. Sơ đồ cấu trúc nghiên cứu.

Mô hình MIKE11HD khu vực nghiên cứu được thiết lập bao gồm toàn bộ các sông chính thuộc hệ thống sông Mê Công của Đồng Bằng sông Cửu Long phía hạ lưu hồ Tonle Sap và trạm Kratie đến hai nhánh sông Tiền (trạm Tân Châu), sông Hậu (trạm Châu Đốc) ra đến các cửa sông. Với số liệu địa hình mặt cắt ngang gồm trên 5000 mặt cắt ngang lòng sông, trong đó sông Tiền trên 500 mặt cắt, sông Hậu trên 400 và các sông khác khoảng trên 5000 mặt cắt (Hình 3).

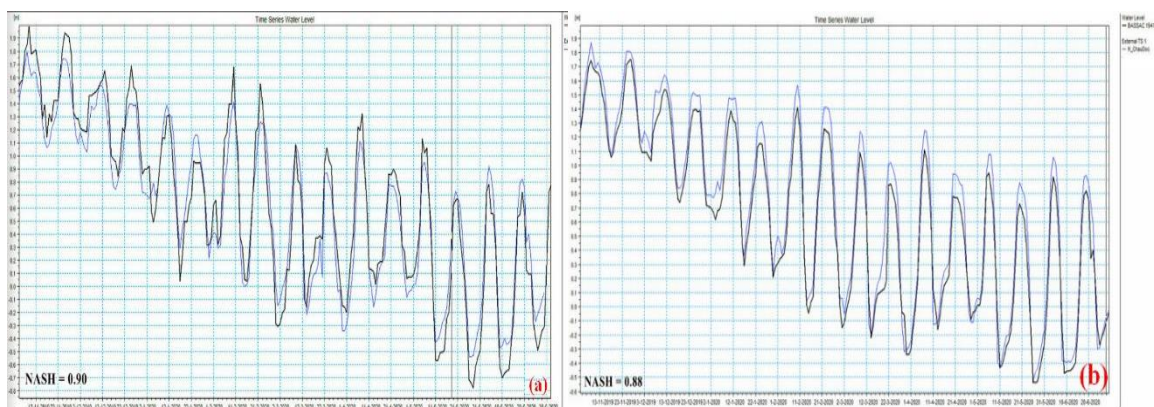


Hình 3. Sơ đồ mạng thủy lực khu vực hạ lưu sông Mê Công.

Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình cho chỉ số NASH đạt trên 0,85 thông qua giá trị mực nước tại 2 trạm Tân Châu và Châu Đốc. Như vậy, mô hình đáp ứng tốt cho bài toán tính toán vai trò của hồ Tole Sap đến dòng chảy mùa cạn vào Việt Nam.



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh mực nước năm 2015–2016 tại trạm: (a) Tân Châu; (b)Châu Đốc.

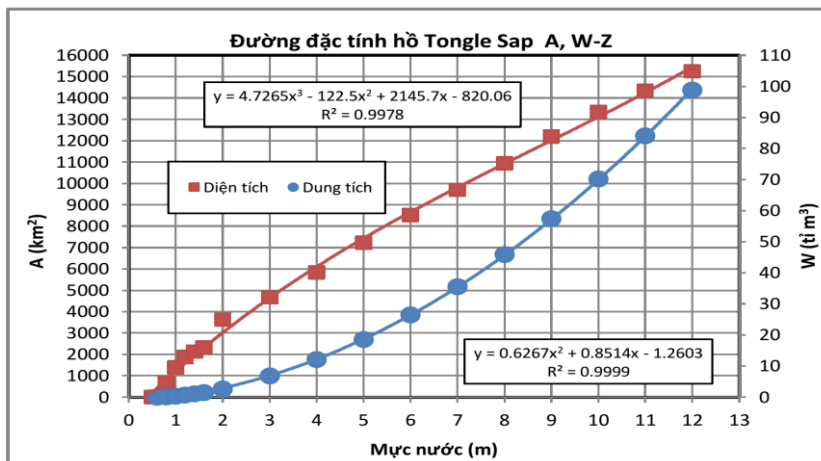


Hình 5. Kết quả kiểm định mực nước năm 2019–2020 tại trạm: (a) Tân Châu; (b)Châu Đốc.

3. Kết quả và thảo luận

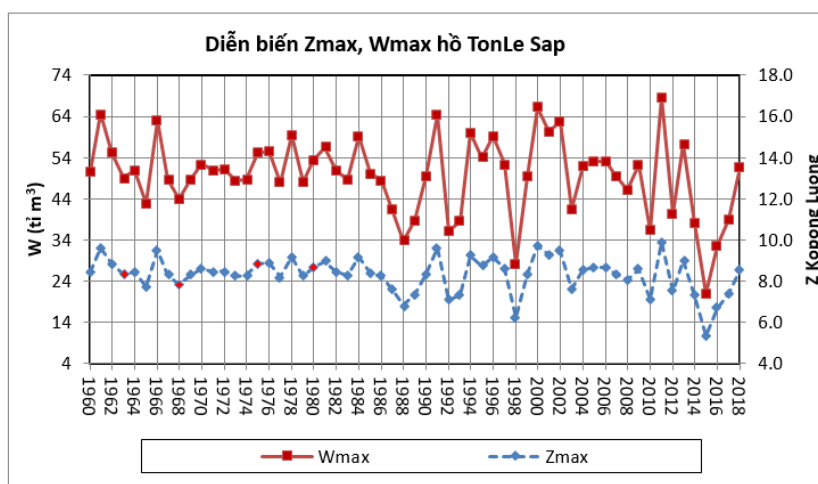
3.1. Đặc tính và diễn biến mực nước của hồ Tonle Sap

Đặc trưng hình thái hồ thông qua quan hệ diện tích, dung tích hồ với mực nước hồ được lấy tại Kompong Luong (Hình 6).



Hình 6. Đường đặc tính hồ Tonle Sap.

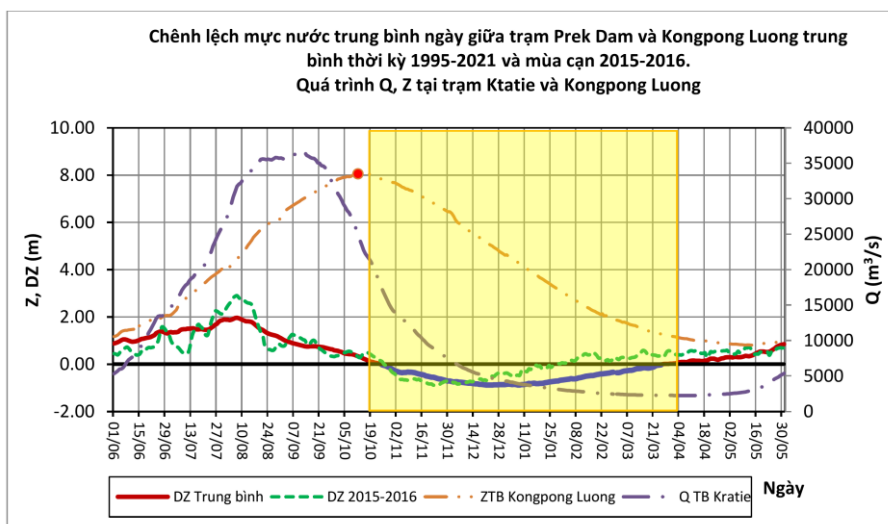
Biến động của dung tích trữ lớn nhất của hồ khá lớn, từ 21 tỉ m³ (năm 2015) đến 68,6 tỉ m³ (năm 2011). Tuy nhiên, lượng trữ ở hồ lớn nhất (W_{\max}) có xu thế giảm (Hình 7) và sau năm 1998 phạm vi biến đổi rộng hơn. Phần lớn (chiếm 56,5%) nước của hồ Tonle Sap có nguồn gốc từ dòng chính sông Mê Công, các nhánh sông đổ vào hồ đóng góp 34%, trong khi đó mưa đóng góp 12,5%. Nhưng có đến 88% tổng lượng nước chảy qua hồ Tonle Sap đổ xuống hạ du, còn lại chảy tràn trên vùng ngập lũ [3]. Nhờ hồ Tonle Sap điều tiết mà lũ xuống hạ lưu điều hòa hơn và ngược lại vào mùa khô, một lượng nước lớn bù đắp cho ĐBSCL.



Hình 7. Diễn biến mực nước và tổng lượng lớn nhất của hồ TonLe Sap.

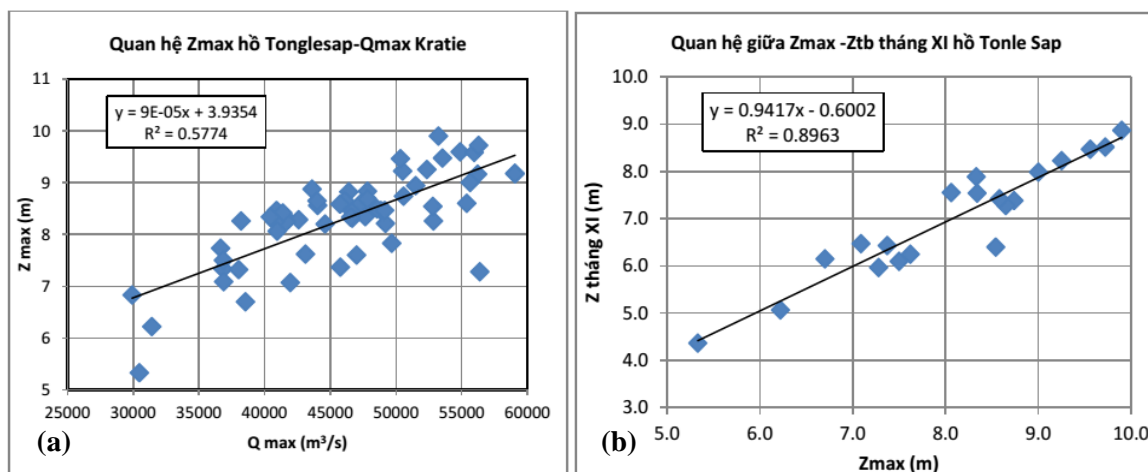
3.2. Đặc điểm điều tiết nước trong mùa cạn của hồ TonLe sap

Hàng năm, nước từ hồ Tonle Sap bắt đầu đổ về ĐBSCL vào giữa tháng 10 và kết thúc vào tháng 4 năm sau. Phân tích chênh lệch mực nước trung bình ngày giữa hai trạm: Prek Dam (trên hồ Tonle Sap ở hạ lưu cửa ra của hồ) và trạm KomPong Luong (đại diện cho mực nước hồ) để xác định thời gian đảo chiều dòng chảy trên hồ Tonle Sap (Hình 8). Trong một năm, thời gian chảy xuôi trung bình của hồ Tonle Sap khoảng 180 ngày. Mùa cạn 2015–2016, thời gian chảy xuôi ngắn nhất, chỉ 95 ngày, không bằng 2/3 so với trung bình nhiều năm.



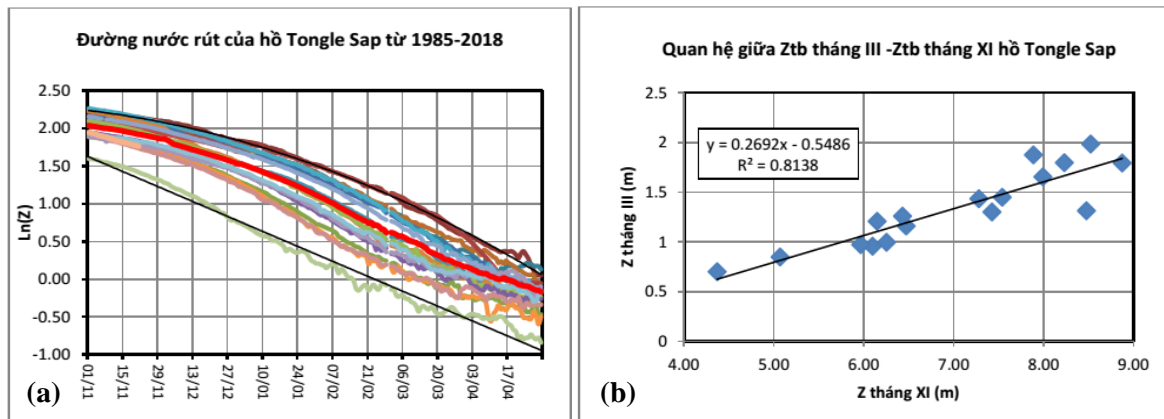
Hình 8. Chênh lệch mực nước trung bình ngày giữa trạm Prek Dam và Kongpong Luong.

Lượng nước trữ được trong hồ, chủ yếu là do từ dòng chính Mê Công chảy vào trong mùa lũ. Khi dòng chính đạt đỉnh lũ lớn nhất năm nhưng mực nước hồ phải về gần cuối mùa lũ mới đạt đỉnh, ở thời điểm chuyển tiếp giữa dòng chảy ngược và chảy xuôi trên hồ Tonle Sap. Quan hệ giữa mực nước lớn nhất của hồ với lưu lượng đỉnh lũ tại trạm Kratie khá chặt (Hình 9a). Vì vậy, khi xác định được đỉnh lũ lớn nhất xuất hiện trên dòng chính thì có thể nhận định được quy mô lượng nước trữ trong hồ Tonle Sap. Thời kỳ lũ chính vụ của sông Mê Công tại Kratie thường từ 20/7–15/10, có nghĩa trước ngày 15/10 thường là đỉnh lũ lớn trên dòng chính kết thúc thì có thể nhận định được lượng nước trữ được trong hồ Tonle Sap, không cần đến đầu tháng 11 hàng năm. Mặt khác, mực nước trung bình tháng XI (đầu mùa cạn) có mối tương quan lớn với mực nước lớn nhất của hồ (Hình 9b). Điều này cho phép đánh giá sớm lượng nước chảy về hạ du của hồ Tonle Sap.



Hình 9. (a) Mối tương quan giữa Z_{\max} hồ Tonle Sap– Q_{\max} Kratie; (b) Mối tương quan giữa Z_{\max} – Z_{tb} tháng XI hồ Tonle Sap.

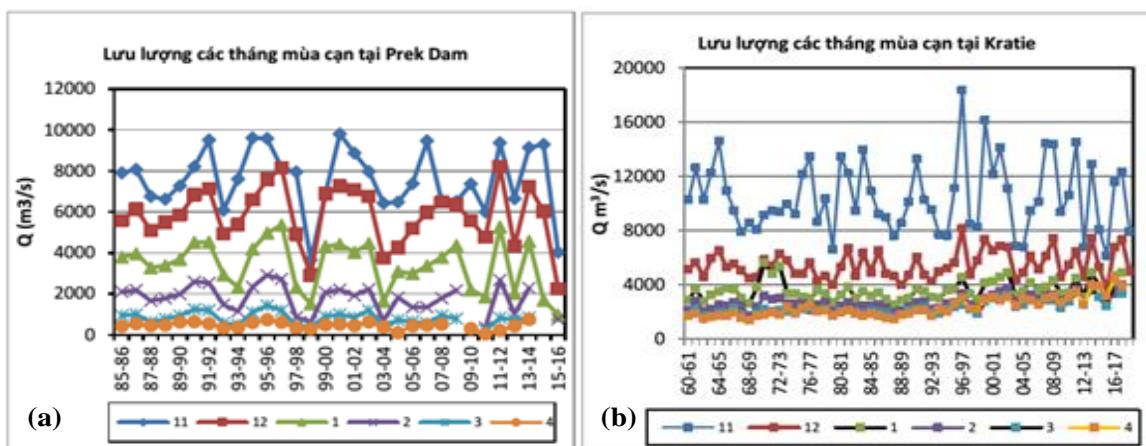
Trong mùa cạn, lượng nước hồ Tonle Sap chảy về hạ du thay đổi qua các tháng, phụ thuộc khá chặt vào mực nước hồ đầu mùa cạn (Hình 10a). Dạng đường nước rút của hồ khá tương đồng giữa các năm, do đó quan hệ giữa mực nước trung bình tháng XI (đầu mùa cạn) với tháng III (gần cuối mùa cạn) khá chặt chẽ (Hình 10b). Như vậy, ngay từ đầu mùa cạn, có thể đánh giá được lượng nước cung cấp nước của hồ Tonle Sap cho tháng cuối mùa cạn (ở đây không xét tháng 4, vì tháng này đường nước rút chịu tác động nhiều yếu tố khác nên không thể hiện quy luật chung).



Hình 10. (a) Đường nước rút của hồ Tonle Sap từ 1995–2021; (b) Mối tương quan Ztb tháng III – Ztb tháng XI hồ Tonle Sap.

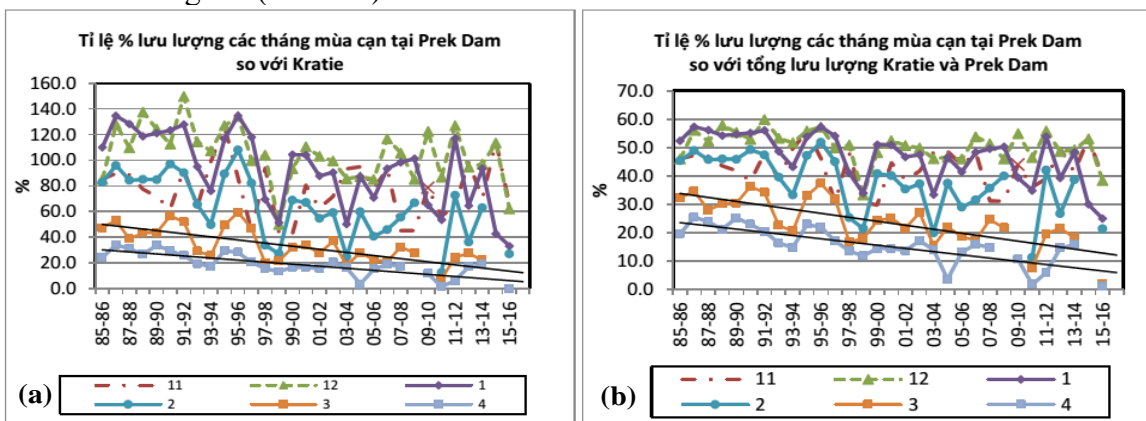
Lưu lượng tại trạm Prek Dam, cửa ra của hồ, được xem như là chảy trực tiếp ra từ hồ Tonle Sap. Phân tích số liệu lưu lượng tại trạm Prek Dam lưu trữ tại ngân hàng dữ liệu trong DSF [7, 8] của ủy hội Mê Công cho thấy:

- Diễn biến lưu lượng các tháng mùa cạn không có xu thế rõ ràng (Hình 11a), nhưng tại Kratie, sau năm 2000 lưu lượng các tháng 1 đến tháng 4 có xu thế tăng rõ rệt (Hình 11b).



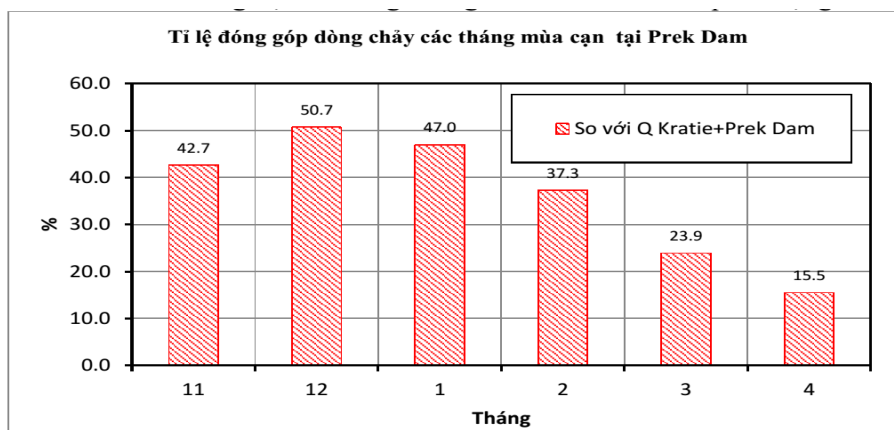
Hình 10. (a) Lưu lượng trung bình tháng tại trạm Prek Dam; (b) Lưu lượng trung bình tháng tại trạm Kratie.

- Do dòng chảy mùa cạn tại Kratie các năm gần đây có xu thế gia tăng, dẫn đến tỉ lệ giữa dòng chảy cho hạ du của hồ Tonle Sap so với Kratie và tổng dòng chảy của Kratie và Prek Dam có xu thế giảm (Hình 12).



Hình 11. Tỷ lệ lưu lượng các tháng mùa cạn tại Prek Dam so với Kratie.

Trung bình 6 tháng mùa cạn, hồ Tonle Sap đóng góp khoảng 36% dòng chảy cho hạ lưu và trong các năm cạn điển hình 2015–2016, 2019–2020 hồ chỉ đóng góp cho hạ du khoảng dưới 25%. Tháng 12 có tỉ lệ đóng góp dòng chảy cho hạ du lớn nhất, còn cao hơn cả dòng chính, sau đó giảm dần (Hình 13). Đến cuối mùa cạn, hồ chỉ đóng góp cho hạ du khoảng 15% đến 16% trong tổng dòng chảy. Điều này cho thấy trong mùa khô lượng nước từ hồ Tonle Sap chảy về hạ du có ý nghĩa cực kì quan trọng cho vùng đồng bằng sông Mê Công nói chung, cũng như cho vùng ĐBSCL nói riêng.

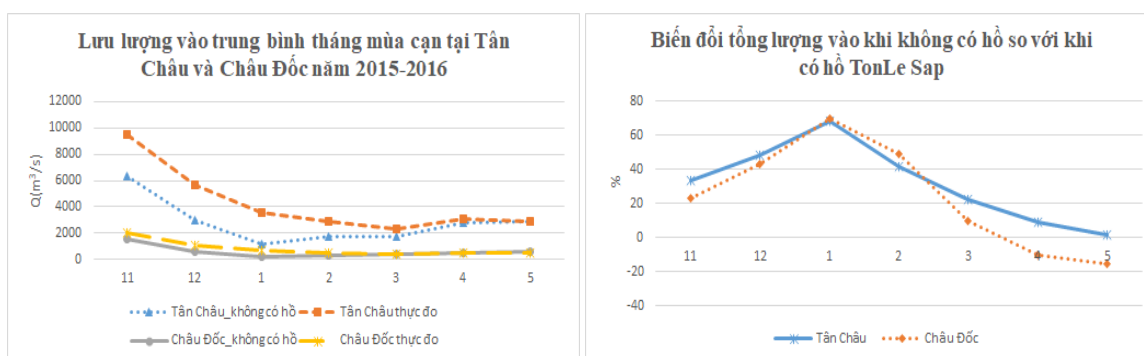


Hình 12. Tỉ lệ đóng góp dòng chảy các tháng mùa cạn của hồ Tonle Sap.

3.3. Mô phỏng dòng chảy vào Việt Nam khi có và không có hồ Tonle Sap

Mô hình MIKE 11HD được dùng để mô phỏng dòng chảy vào Việt Nam qua Tân Châu và Châu Đốc cho 2 năm hạn điển hình 2015–2016 và 2019–2020 với giả thiết không có hồ Tonle Sap. Mục đích là để đánh giá được sự biến đổi của lưu lượng và tổng lượng nước vào vùng ĐBSCL trong mùa cạn khi không có hồ Tonle Sap thông qua việc đánh giá tại hai trạm Tân Châu và Châu Đốc.

Đối với kịch bản mùa cạn năm 2015–2016, có thể thấy dòng chảy tại Tân Châu và Châu Đốc đều bị biến đổi trong mùa cạn. Tổng lượng nước đến trung bình tháng trong mùa cạn biến đổi rất lớn, trong đó lớn nhất là tháng 1 với lượng nước giảm lên đến 60%, các tháng 4 và tháng 5 dòng chảy từ hồ chứa Tonle Sap không đóng góp cho dòng chảy vào vùng ĐBSCL. Lưu lượng trung bình mùa cạn tại Tân Châu giảm 32%, tại Châu Đốc giảm 24% (Hình 14).



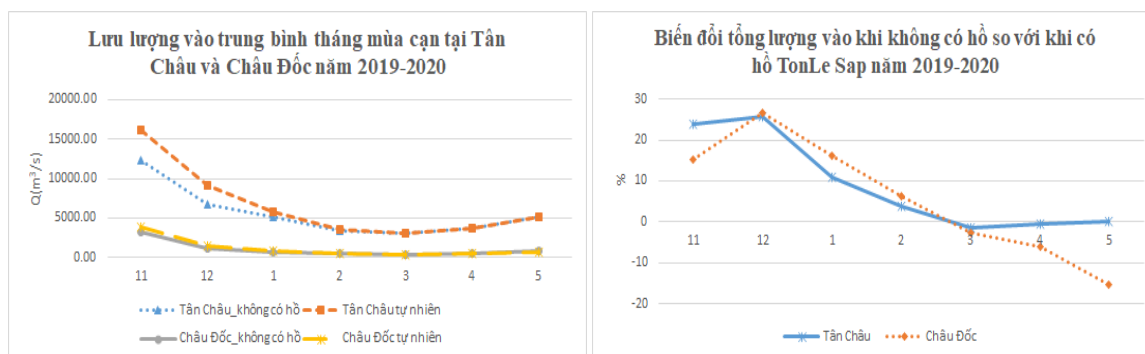
Hình 13. Biến đổi tổng lượng và lưu lượng tại Tân Châu và Châu Đốc mùa cạn 2015–2016.

Bảng 1. Biến đổi lưu lượng mùa cạn năm 2015–2016 tại 2 trạm Tân Châu và Châu Đốc trường hợp tự nhiên và không có hồ Tonle Sap.

Năm 2015–2016	Q Tân Châu (m³/s)		Q Châu Đốc (m³/s)	
	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên
11	6309,79	9524,35	1582,78	2060,88
12	2939,64	5656,73	626,62	1104,72

Năm 2015–2016	Q Tân Châu (m ³ /s)		Q Châu Đốc (m ³ /s)	
	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên
1	1138,39	3599,99	206,16	679,20
2	1702,67	2916,64	263,58	519,97
3	1772,36	2287,85	359,13	398,39
4	2763,14	3036,85	523,39	474,24
5	2863,65	2917,96	554,83	479,07

Đối với kịch bản mùa cạn năm 2019–2020 có thể thấy dòng chảy tại Tân Châu và Châu Đốc đều bị biến đổi trong mùa cạn. Tổng lượng nước biến đổi lớn nhất là tháng 12 với lượng nước giảm lên đến 26%, các tháng 3, tháng 4 và tháng 5 dòng chảy từ hồ chứa Tonle Sap không đóng góp cho dòng chảy vào vùng ĐBSCL. Lưu lượng trung bình mùa cạn tại Tân Châu giảm 16%, tại Châu Đốc giảm 15% (Hình 15).



Hình 14. Biến đổi tổng lượng và lưu lượng tại Tân Châu và Châu Đốc mùa cạn 2019–2020.

Bảng 2. Biến đổi lưu lượng mùa cạn năm 2019–2020 tại 2 trạm Tân Châu và Châu Đốc trường hợp tự nhiên và không có hồ Tonle Sap.

Năm 2019–2020	Q Tân Châu (m ³ /s)		Q Châu Đốc (m ³ /s)	
	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên	Không có hồ Tonle Sap	Tự nhiên
11	12344,03	16187,04	3208,64	3780,21
12	6769,17	9099,38	1127,35	1537,37
1	5129,60	5765,48	629,41	751,61
2	3418,73	3555,71	434,25	463,18
3	3052,64	3006,13	376,00	365,81
4	3642,46	3627,67	478,42	451,50
5	5191,78	5191,29	752,00	651,39

4. Kết luận

Vai trò của Biển Hồ đối với dòng chảy hạ lưu trong mùa khô là rất quan trọng. Trung bình trong các tháng XI đến tháng IV, lượng nước từ hồ Tonle Sap cung cấp cho hạ du chiếm tới hơn 36% so với tổng lượng dòng chảy vào Việt Nam. Hàng năm, hồ xả nước xuống hạ lưu trong thời gian khoảng 180 ngày với tổng lượng nước từ tháng XI đến tháng IV khoảng 40 tỉ m³. Lượng nước trữ của hồ Tonle Sap có quan hệ khá chặt với đỉnh lũ năm trên dòng chính sông Mê Công và xu thế đường nước rút của hồ khá tương đồng. Tuy nhiên, nghiên cứu mới chỉ dừng ở việc xem xét lượng nước mà hồ Tonle Sap đóng góp cho vùng ĐBSCL thông qua hai trạm Tân Châu và Châu Đốc, mà chưa xem xét đến mức độ biến đổi về lưu lượng và mực nước tại các trạm bên trong vùng ĐBSCL. Ngoài ra cần có nghiên cứu thêm về sự gia tăng lượng nước trong các tháng I đến tháng IV tại Kratie và vai trò của hồ Tonle Sap trong việc cấp nước đầy đặn cho ĐBSCL, để giúp làm rõ thêm vai trò cung cấp nước mùa cạn cho hạ du của hồ Tonle Sap.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.M.T., T.Đ.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: H.M.T., T.Đ.T.; Xử lý số liệu: T.Đ.T., N.Q.C., N.N.H.; Viết bản thảo bài báo: T.Đ.T., H.M.T., N.Q.C., N.N.H.; Chỉnh sửa bài báo: T.Đ.T., H.M.T., N.Q.C., N.N.H.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, mã số TNMT.2020.02.02.

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. Hòa, T.Q.; Ngọc, H.M. Tổng quan về quan hệ và vai trò của biển hồ đối với dòng chảy sông Mê Công ở vùng đồng bằng châu thổ. <http://tapchivatuyentap.tlu.edu.vn/Portals/10/So%209/14-Trinh%20Quang%20Hoa%20-%20vai%20tro%20cua%20Bien%20Ho.pdf>
2. Araki, Y.; Hirabuki, Y.; Powkhy, D.; Tsukawaki, S.; Rachna, C.; Tomita, M.; Suzuki, K. Influence of Large Seasonal Water Level Fluctuations and Human Impact on the Vegetation of Lake Tonle Sap, Cambodia, in *Forest Environments in the Mekong River Basin*, edited by: Sawada, H., Araki, M., Chappell, N.A., LaFrankie, J.V.; Shimizu, A. Springer, Japan, Tokyo, **2007**, 26, 281–294, <https://doi.org/10.1007/978-4-431-46503-4>.
3. Inomata, H.; Fukami, K. Restoration of historical hydrological data of Tonle Sap Lake and its surrounding areas. *Hydrol. Process.* **2008**, 22, 1337–1350. <https://doi.org/10.1002/hyp.6943>.
4. Campbell, I.C.; Say, S.; Beardall, J. Tonle Sap Lake, the Heart of the Lower Mekong. *Mekong Biophys. Environ. Int. River Basin Aquat. Ecol.* **2009**, 251–272, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374026-7.00010-3>.
5. Kumm, M.; Sarkkula, J. Impact of the Mekong River Flow Alteration on the Tonle Sap Flood Pulse. *Ambio.* **2008**, 37, 185–192. <http://www.jstor.org/stable/25547881>.
6. Kumm, M.; Tes, S.; Yin, S.; Adamson, P.; Józsa, J.; Koponen, J.; Richey, J.; Sarkkula, J. Water balance analysis for the Tonle Sap Lake–floodplain system. *Hydrol. Process.* **2014**, 28, 1722–1733. <https://doi.org/10.1002/hyp.9718>.
7. Guan, Y.; Zheng, F. Alterations in the Water–Level Regime of Tonle Sap Lake. *J. Hydrol. Eng.* **2021**, 26, 05020045. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002013](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002013).
8. Thành, L.Đ. Vai trò của biển hồ đối với chế độ dòng chảy hạ lưu sông Mê công. <http://tapchivatuyentap.tlu.edu.vn/Portals/10/So%2014/06>.
9. Arias, M.E.; Cochrane, T.A.; Piman, T.; Kumm, M.; Caruso, B.S.; Killeen, T.J. Quantifying changes in flooding and habitats in the Tonle Sap Lake (Cambodia) caused by water infrastructure development and climate change in the Mekong Basin. *J. Environ. Manage.* **2012**, 112, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.003>.
10. Hecht, J.S.; Lacombe, G.; Arias, M.E.; Dang, T.D.; Piman, T. Hydropower dams of the Mekong River basin: A review of their hydrological impacts. *J. Hydrol.* **2019**, 568, 285–300. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.045>.
11. Arias, M.E.; Cochrane, T.A.; Piman, T.; Kumm, M.; Caruso, B.S.; Killeen, T.J. Quantifying changes in flooding and habitats in the Tonle Sap Lake (Cambodia) caused by water infrastructure development and climate change in the Mekong Basin. *J. Environ. Manage.* **2012**, 112, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.003>.

12. Arias, M.E.; Piman, T.; Lauri, H.; Cochrane, T.A.; Kummu, M. Dams on Mekong tributaries as significant contributors of hydrological alterations to the Tonle Sap Floodplain in Cambodia, *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2014**, *18*, 5303–5315. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5303-2014>.
13. Sithirith, M. Water Governance in Cambodia: From Centralized Water Governance to Farmer Water User Community. *Resources* **2017**, *6*, 44. <https://doi.org/10.3390/resources6030044>.
14. Erban, L.E.; Gorelick, S.M. Closing the irrigation deficit in Cambodia: Implications for transboundary impacts on groundwater and Mekong River flow. *J. Hydrol.* **2016**, *535*, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.072>.
15. Keskinen, M.; Someth, P.; Salmivaara, A.; KummuBarker, M. Water–Energy–Food Nexus in a Transboundary River Basin: The Case of Tonle Sap Lake, Mekong River Basin. *Water* **2015**, *7*(10), 5416–5436. <https://doi.org/10.3390/w7105416>.
16. Thắng, T.Đ. Khả năng cấp nước của hồ Tonle Sap trong mùa khô. *Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi* **2021**, *65*, 1–7.
17. Thắng, T.Đ.; Giáp, P.V.; Hải, N.T.; Toản, T.Q.; Hoạt, N.V.; Hải, P.N.; Mai, N.P. Tác động của hồ chứa lưu vực mê công đến tích nước của hồ Tonle Sap thời kỳ cuối mùa mưa – đầu mùa khô. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Thủy lợi* **2021**, *64*, 1–7.
18. Mekong River Commission – Decision Support Framework (DSF).
19. Mekong River Commission (MRC), trang WEB: <http://www.mrcmekong.org>.
20. Mekong River Commission – Hydro–Meteorological Database Hymos.
21. Trang WEB: <https://monitoring.mrcmekong.org/>.
22. Thiện, T.Đ. cs. Nghiên cứu xây dựng công nghệ cảnh báo sớm nguồn nước mùa cạn và nguy cơ hạn hán cho Đồng bằng sông Cửu Long. Đề tài cấp Bộ mã số TNMT.2020.02.02.

The role of Tonle Sap lake in supplying water to the Mekong Delta in the dry season

Hoang Minh Tuyen¹, Tran Duc Thien^{2*}, Nguyen Quang Chien², Nguyen Ngoc Hoa³

¹ Viet Nam institute of Meteorology, Hydrology and Climate change;
hmtuyenvkttv@gmail.com

² Water resources institute; thientd810@wru.vn; quangchien29@gmail.com

³ National centre for Hydro–Meteorological forecasting; ngochoa50v@gmail.com

Abstract: Droughts and water shortages in the dry season of the Mekong River Delta are becoming more and more serious due to their frequency of occurrence and causing more serious socio–economic losses. Because surface water characteristics of the Mekong Delta depend largely on water from outside the territory, it is necessary to have studies to analyze the components that make up the dry season flow into the Mekong Delta. This study will evaluate the role of Tonle Sap Lake on dry season flow into the Mekong Delta by statistical methods and use MIKE11HD model. Base on the result, at end of October, the flow from Tonle Sap Lake will begin to flow downstream in about 180 days with a total volume of water about 40 billion from November to April. On average, from November to April, Tonle Sap Lake contributes about 36% of the total flow volume to the downstream. In December, the lake largely contributes the flow to the downstream, which is even higher than flow contribution from the mainstream. By the end of the dry season, the lake only contributes about 15% to 16% of the total flow downstream in Viet Nam. With contributions from Tonle Sap Lake, the discharge on the Tien and Hau rivers in typical drought years increases from 15% to 30%, contributing to the prevention of salinity intrusion into the Mekong Delta.

Keywords: Mekong; Tonle Sap Lake; Role of dry season; The Mekong Delta.