

Bài báo khoa học

Nghiên cứu khả năng áp dụng công thức kinh nghiệm để tính toán mức độ xói lở bờ sông ở đồng bằng sông Cửu Long – Thí điểm tại đoạn xói lở bờ sông Hậu ở Long Xuyên, tỉnh An Giang

Cần Thu Văn^{1*}, Nguyễn Thanh Sơn², Ngô Chí Tuấn², Lưu Văn Ninh³, Cần Thế Việt⁴, Lục Anh Tuấn¹

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, 236B Lê Văn Sỹ, phường 1, quận Tân Bình, TP.HCM; ctvan@hcmunre.edu.vn; lucanhtuan1103@gmail.com

² Trường Đại học Khoa học Tự nhiên–ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội; sonnt.vnu.hus.edu.vn; ngochituan@gmail.com

³ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh An Giang, 64 Tôn Đức Thắng, thành phố Long Xuyên, tỉnh An Giang; luuninhvtv@gmail.com

⁴ Viện Môi trường Thủy lợi–Đại học Thủy lợi, số 02 Trường Sa, phường 17, quận Bình Thạnh, TP.HCM; theviet8387@gmail.com

*Tác giả liên hệ: ctvan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84–983738347

Ban Biên tập nhận bài: 12/4/2021; Ngày phản biện xong: 8/6/2021; Ngày đăng bài: 25/8/2021

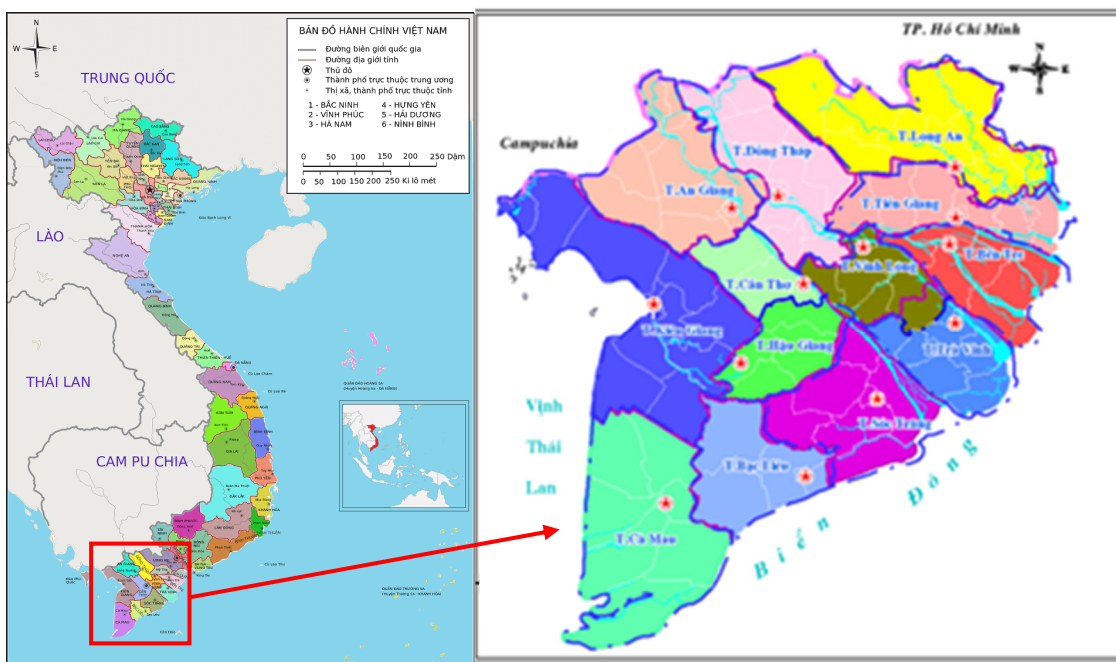
Tóm tắt: Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là nơi sinh sống của gần 20 triệu người và là vùng canh tác nông nghiệp lớn nhất nước ta. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày một rõ rệt cùng với sự can thiệp quá mức của con người vào thiên nhiên, hiện tượng sạt lở bờ sông và đã và đang là mối đe dọa đến cuộc sống của người dân nơi đây. Ở ĐBSCL hiện có 406 đoạn sạt lở, với tổng chiều dài 891 km, trong đó An Giang được đánh giá là một trong những địa phương bị ảnh hưởng nghiêm trọng nhất do sạt lở bờ sông. Hiện có nhiều phương pháp được sử dụng để đánh giá, dự báo mức độ sạt lở bờ sông ở những khu vực cụ thể, như là: phương pháp phân tích tài liệu thực đo; mô hình vật lý; mô hình toán; công thức kinh nghiệm. Trong nghiên cứu này sử dụng công thức kinh nghiệm để tính toán thử nghiệm mức độ sạt lở cho đoạn sông Hậu ở thành phố Long Xuyên, tỉnh An Giang. Kết quả tính toán theo công thức cho thấy có sự phù hợp nhất định với kết quả thực đo, với hệ số tương quan là 0,86 và hệ số Nash là 0,79, sai số tương đối dưới 15% là 70% mặt cắt tính toán. Điều này bước đầu đã cho thấy khả năng có thể áp dụng công thức để thiết lập hệ số và tính toán cho các vùng khác thuộc bờ sông Hậu và ĐBSCL.

Từ khóa: Xói lở bờ sông; ĐBSCL; Công thức kinh nghiệm tính xói lở bờ.

1. Đặt vấn đề

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) thuộc hạ lưu sông Mê Công giữ vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế, nhất là kinh tế nông nghiệp, thủy sản đối với cả nước, chiếm 55% sản lượng lúa, 90% sản lượng gạo xuất khẩu. ĐBSCL với hơn 700 km bờ biển, chiếm 70% diện tích nuôi trồng thủy sản, ... Tuy nhiên, do ở cuối nguồn nước và trong bối cảnh biến đổi khí hậu, lại chịu hậu quả của các công trình thủy điện phía thượng lưu nên ĐBSCL thường xuyên phải đối mặt với nguy cơ: suy giảm và thay đổi dòng chảy, suy giảm lượng phù sa từ thượng lưu xuống hạ lưu, suy giảm khả năng điều tiết nguồn nước giữa mùa mưa và mùa khô sẽ gây nên những tai biến bất thường như: hạn hán, lũ lụt, xâm nhập mặn, ô nhiễm nguồn nước, nước

biển dâng,... đặc biệt là hiện tượng xói mòn, sạt lở nghiêm trọng trong những năm gần đây [1].



Hình 1. Bản đồ khu vực ĐBSCL [2].

Bồi lắng, xói lở là một quá trình tự nhiên và xảy ra một cách liên tục ở hầu hết tất cả các con sông trên lục địa. Tuy nhiên, quá trình này, đặc biệt là sạt lở bờ sông, trở nên đáng quan tâm là khi nó gây ra thiệt hại về đất đai, tài nguyên, tài sản của con người. Xói lở là một quá trình tương tác đất nước xảy ra thường xuyên nên trong suốt thời gian qua rất nhiều nhà khoa học trên thế giới đã tập trung nghiên cứu hiện tượng bồi lắng, sạt lở của các dòng sông, đặc biệt là các con sông lớn [3]. Hướng nghiên cứu thứ nhất là địa mạo học sông ngòi, chuyên nghiên cứu về sự biến động hình dạng của con sông theo thời gian và không gian. Những sự thay đổi này có thể là về: kích thước, hình dạng, thành phần vật liệu đáy, độ dốc, hình dạng trên mặt bằng [4]. Hướng thứ hai, các nhà khoa học quan tâm tới là sự hiểu biết các cơ chế: sạt lở; vận chuyển và bồi lắng của bùn cát do dòng chảy trong sông, từ đó phát triển các phương pháp dự đoán các quá trình diễn biến lòng sông. Đây là tiếp cận theo hướng thủy thạch động lực học sông ngòi [5].

Đặc biệt trong những thập kỷ gần đây, sự ra đời của hệ thống máy tính tốc độ cao và rất nhiều đóng góp của các nhà khoa học khác trên thế giới, các phương trình mô tả sự vận động phức tạp của các con sông và trầm tích đã được giải quyết để phát triển các phương pháp tính toán cao trình đáy sông trong dòng chảy không đều. Đồng thời, các nghiên cứu bằng mô hình trong phòng thí nghiệm kết hợp với các số liệu đo đạc ngoài hiện trường cũng đã và đang được thu thập để nghiên cứu một số vấn đề chưa được làm sáng tỏ về mặt lý luận. Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, các nhà khoa học trên thế giới vẫn tiếp tục nghiên cứu về động lực học dòng sông và chỉnh trị sông, đặc biệt là ảnh hưởng của các công trình trên sông đến vấn đề diễn biến, xói lở và bồi lắng lòng dẫn [4].

Vấn đề nghiên cứu diễn biến lòng sông có thể tiến hành theo 4 phương pháp sau:

- Phương pháp phân tích các tài liệu thực đo: Sử dụng các tài liệu về địa hình, các tài liệu không ảnh, viễn thám, các số liệu có được trong nhiều năm tiến hành phân tích vị trí, quy mô, tốc độ xói, bồi trên mặt bằng, trên mặt cắt dọc, mặt cắt ngang, tìm ra quy luật thống kê và xu thế phát triển của đoạn sông nghiên cứu [6].

- Phương pháp mô hình vật lý: Mô phỏng thu nhỏ đoạn sông nghiên cứu lại trong một khu vực có trang thiết bị thí nghiệm, tái diễn dòng chảy trong sông thiên nhiên theo các định

luật tương tự để quan sát, đo đạc và từ các số liệu đo đạc tìm ra quy luật diễn biến của đoạn sông [7].

- Phương pháp mô hình toán: Dựa vào các hệ phương trình toán lý mô tả quy luật của dòng chảy và bùn cát tại đoạn sông nghiên cứu, xác định các điều kiện biên, điều kiện ban đầu hợp lý, tìm các lời giải giải tích, lời giải số trị cho các vấn đề nghiên cứu [8–14].

- Phương pháp công thức kinh nghiệm: Sử dụng các công thức kinh nghiệm để tính toán diễn biến lòng dẫn. Phương pháp này thường được áp dụng trong các trường hợp tính toán đơn giản hoặc gặp khó khăn cho việc giải bằng phương pháp mô hình số trị do không đủ hoặc số liệu [8, 14–19].

Trong lĩnh vực nghiên cứu diễn biến lòng sông hiện nay vẫn còn tồn tại một số vấn đề mà cả mô hình toán và mô hình vật lý đều chưa giải quyết được, đó là việc nghiên cứu vẫn dựa trên cơ sở các công thức kinh nghiệm đã được xây dựng tại một số nước như công thức Kickin–Wason của Canada, Pôpôp, Tbadzade của Liên Xô... Điều đó chứng tỏ rằng việc nghiên cứu diễn biến, bồi lắng, xói lở lòng dẫn vẫn còn là một môn khoa học kỹ thuật mới, còn nhiều vấn đề cần nghiên cứu tiếp và vẫn cần tiếp tục nghiên cứu phát triển. Những nghiên cứu biến hình lòng dẫn bằng mô hình vật lý đã thực hiện được những tiêu chuẩn tương tự khó, trên cơ sở xây dựng mô hình lòng động với các chất liệu mô phỏng bùn cát đáy, bùn cát lơ lửng đảm bảo độ chính xác cao [8]. Nghiên cứu này thực hiện việc đánh giá khả năng áp dụng công thức kinh nghiệm vào tính toán mức độ xói lở bờ sông ở hạ lưu sông Mê Công.

2. Dữ liệu và Phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu

- Tài liệu địa hình lòng sông: Hệ thống địa hình mặt cắt ngang được khảo sát hai đợt vào mùa lũ (7/2020) và mùa kiệt (12/2020). Hai đợt đo cùng một vị trí và dùng để so sánh sự khác nhau giữa hai đợt đo.

- Tài liệu Thủy văn: vận tốc thực đo trên từng thủy trực mặt cắt ngang và vận tốc tại vị trí thủy trực sâu nhất trên mặt cắt ngang từ 2011–2020.

- Tốc độ khởi động của hạt bùn cát ở ĐBSCL được lấy theo [8].

- Tài liệu mực nước giờ và mực nước lớn nhất được sử dụng và thu thập từ trạm Thủy văn (đo mực nước giờ) tại Long Xuyên gần khu vực nghiên cứu từ 2011–2020 [20–21].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Một dòng sông gồm hai yếu tố cơ bản cấu thành đó là lòng dẫn và dòng nước chảy trên nó. Hai yếu tố này luôn thay đổi theo không gian lẫn thời gian và giữa chúng không ngừng tác động lẫn nhau, thông qua lực cơ học, lý học, hoá học. Dưới tác động của dòng nước lòng dẫn bị thay đổi về hình dạng kích thước, độ lớn, ngược lại sau khi lòng dẫn đã thay đổi lại có tác động trở lại dòng nước làm thay đổi trạng thái, kết cấu của dòng nước... Điều này chứng tỏ rằng hiện tượng xói bồi biến hình lòng dẫn sông là một hiện tượng tự nhiên mà nguyên nhân chính là do sự tác động qua lại không ngừng giữa dòng chảy và lòng dẫn. Xác định tốc độ xói lở bờ sông thực chất là xác định tốc độ biến hình ngang của lòng sông, dưới tác dụng chính của các lực thủy động lực học, kết quả là khối đất bờ sông mất ổn định, sụp đổ xuống sông. Các nhà khoa học trên thế giới đã chỉ ra rằng tốc độ xói lở bờ sông phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, nhưng ba yếu tố chính cần được quan tâm đặc biệt đó là: Dòng chảy, hình dạng lòng dẫn và tính ổn định của lòng dẫn tại đó. Với tính phức tạp của dòng chảy, tính đa dạng của lòng dẫn, tính nhiều vẻ của đất bờ sông đã dẫn đến cách đánh giá, hình thức biểu thị rất khác nhau về các yếu tố này trong công thức kinh nghiệm của các tác giả. Theo nghiên cứu [8, 15, 22] tốc độ xói lở ngang của đoạn sông cong phụ thuộc vào lưu lượng dòng chảy Q , bán kính cong R của đoạn sông đang xét, chiều rộng lòng sông B và hệ số ổn định của đất bờ γ .

$$B_{xi} = f\left(Q, \frac{R_i}{B_i}, \gamma\right) \quad (1)$$

Trong đó B_{xi} là tốc độ xói ngang của mặt cắt (mm/năm); Q là lưu lượng dòng chảy qua mặt cắt ngang (m^3/s); R là bán kính cong của đoạn sông đang xét (m); B là độ rộng mặt cắt (m); γ là hệ số ổn định của bờ sông.

Theo Pôpôp trong [23–24], cũng đề cập tới ba yếu tố chính nêu trên trong công thức kinh nghiệm tính tốc độ xói lở bờ sông của mình:

$$B_{xi} = \frac{\alpha \cdot F}{L \cdot T} \left[\frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \right]^\beta \quad (2)$$

Trong đó B_{xi} là tốc độ xói lở ngang (m/năm) tại mặt cắt i ; F là diện tích khối đất bờ bị xói lở trong khoảng thời gian T năm (m^2); L là chiều dài đường bờ sạt lở của từng giai đoạn (m); T là thời gian xói lở (năm); H_{maxi} là độ sâu lớn nhất tại mặt cắt tính toán thứ i (m); H_{max} là độ sâu lớn nhất của đoạn xói lở nghiên cứu (m); H là độ sâu ổn định (tại mặt cắt quá độ) (m); α , β là các hệ số thực nghiệm.

Nhìn chung các công thức kinh nghiệm của các tác giả nêu trên đều có khả năng áp dụng tính tốc độ xói lở bờ sông Cửu Long, khi các hệ số thực nghiệm được xác định từ tài liệu thực đo tại vị trí xem xét. Tuy vậy khi áp dụng những công thức này vào các vị trí cụ thể sẽ có sai số cao và các công thức chưa đề cập tới khả năng và thời gian duy trì khả năng của dòng chảy gây ra xói lở bờ sông.

Khảo sát thực tế cho thấy đại lượng $\frac{F}{LT}$ trong công thức Pôpôp quan hệ khá chặt chẽ với tích số giữa khả năng và thời gian duy trì khả năng của dòng chảy gây xói lở. Bởi vậy, trong nghiên cứu này đã thay đại lượng $\frac{F}{LT}$ trong (2) bằng đại lượng $\Delta V_i \cdot \Delta T_i$ [8].

Như vậy công thức kinh nghiệm được đề xuất có dạng:

$$B_{xi} = \alpha \cdot (\Delta V_i \cdot \Delta T_i)^\gamma \cdot \left[\frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \right]^\beta \quad (3)$$

Trong đó $\Delta V_i = V_i - [V]_{kd}$; ΔV_i là số gia vận tốc, biểu thị khả năng dòng chảy gây xói lòng dẫn tại mặt cắt thứ i ; V_i là vận tốc trung bình tại mặt cắt thứ i (m/s); $[V]_{kd}$ là vận tốc khởi động của vật liệu cấu tạo lòng dẫn; ΔT_i là thời gian duy trì vận tốc dòng chảy có vận tốc lớn hơn vận tốc khởi động của vật liệu cấu tạo lòng dẫn tại mặt cắt thứ i ; α , γ , β là các hệ số thực nghiệm, được xác định trên cơ sở tài liệu thực đo nhiều năm.

Công thức (3), bao hàm 3 hệ số thực nghiệm cần xác định α , γ , β , với cách tính thông thường khó khăn để tính toán, vì thế công thức sẽ được viết dưới một dạng khác:

$$B_{xi} = \alpha \cdot \left\{ (\Delta V_i \cdot \Delta T_i)^n \cdot \left[\frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \right]^\beta \right\} \quad (4)$$

Trong đó $n = \frac{\gamma}{\beta}$ Với cách viết biểu thức dưới dạng (4), hai hệ số thực nghiệm α , β sẽ được xác định theo phương pháp sai số bình phương trung bình nhỏ nhất khi n cho trước.

Ứng với mỗi trị số n cho trước sẽ xác định được hệ số tương quan giữa chiều rộng xói ngang B_{xi} tính toán trong các giai đoạn tính:

$$X_i = (\Delta V_i \cdot \Delta T_i)^n \cdot \left[\frac{H_{maxi} - H}{H_{max} - H} \right] \quad (5)$$

Hai hệ số thực nghiệm cần xác định là hai hệ số tương ứng với trường hợp hệ số tương quan lớn nhất. Thiết lập công thức tính xói lở cho khu vực ở Long Xuyên, An Giang:

$$\Delta H = \frac{H_{\max i} - H}{H_{\max} - H} \tag{6}$$

Công thức (5) trở thành:

$$X_i = (\Delta V_i \cdot \Delta T_i)^n \cdot \Delta H \tag{7}$$

Công thức (3) trở thành:

$$B_{xi} = \alpha \cdot X_i^\beta \tag{8}$$

Dựa vào kết quả thử dần giá trị X_i so sánh với B_{xi} thực đo để xây dựng bộ giá trị đối với α và β cho từng mặt cắt và từng thời đoạn khác nhau của đoạn sông tính toán. Giá trị $[V]_{kd}$ được lấy đồng nhất cho mọi mặt cắt và bằng 0,41 m/s [8].

3. Kết quả và thảo luận

Với nguồn tài liệu hiện có nghiên cứu tiến hành chia các thời đoạn 2011 đến 2014 và 2014 đến 2018, 2018 đến 2020, trên 7 mặt cắt tại khu vực xói lở bờ Bình Mỹ, được thể hiện trên hình. Các số liệu của từng thời đoạn trên 7 mặt cắt được thể hiện trong Bảng 1.

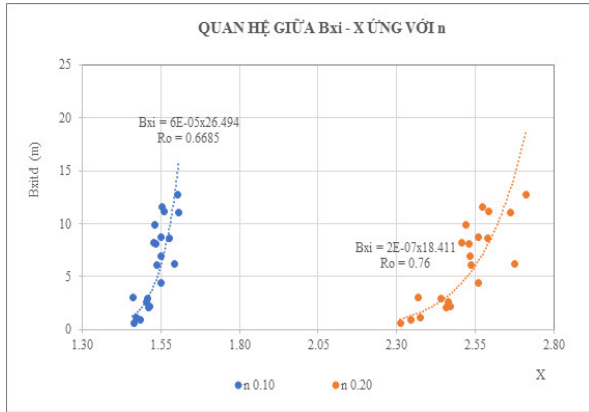
Cho trước một trị số n , sẽ chấm được các điểm thực nghiệm thể hiện quan hệ giữa chiều rộng xói ngang B_{xi} thực đo với đại lượng X , từ đó xác định được cặp hệ số thực nghiệm α , β và hệ số tương quan tương ứng theo phương pháp sai số bình phương trung bình nhỏ nhất.

Bảng 1. Số liệu thực đo trên từng mặt cắt.

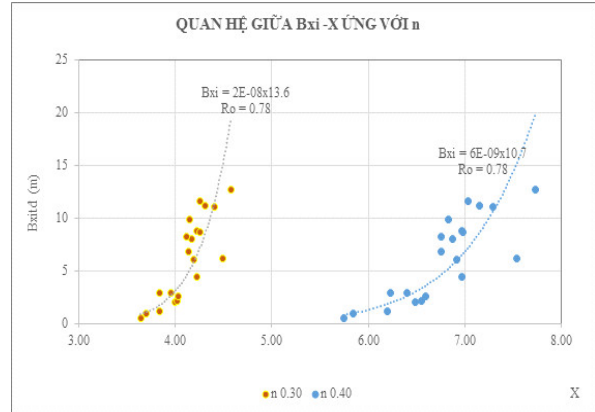
MC TÍNH	Giai đoạn	Btd (m)	$\Delta V \cdot \Delta T$	ΔH (m)
1	2011 - 2014	11,06	155,30	0,97
2		12,71	189,00	0,95
3		6,89	134,70	0,95
4		8,78	149,50	0,94
5		8,09	148,70	0,93
6		11,16	159,80	0,94
7		9,88	146,50	0,93
1	2014 - 2018	4,44	149,90	0,94
2		2,07	128,80	0,93
3		0,93	96,50	0,94
4		0,58	94,80	0,93
5		2,14	132,00	0,93
6		2,61	137,60	0,92
7		1,14	120,90	0,91
1	2018 - 2020	8,65	142,72	0,96
2		6,18	177,50	0,95
3		8,25	142,40	0,93
4		11,58	153,23	0,94
5		6,10	151,00	0,93
6		2,94	124,20	0,93
7		2,98	125,90	0,90



Hình 2. Vị trí các mặt cắt trong khu vực tính toán.



Hình 3. Quan hệ Bxi–X ứng với n = 0,1 và n = 0,2

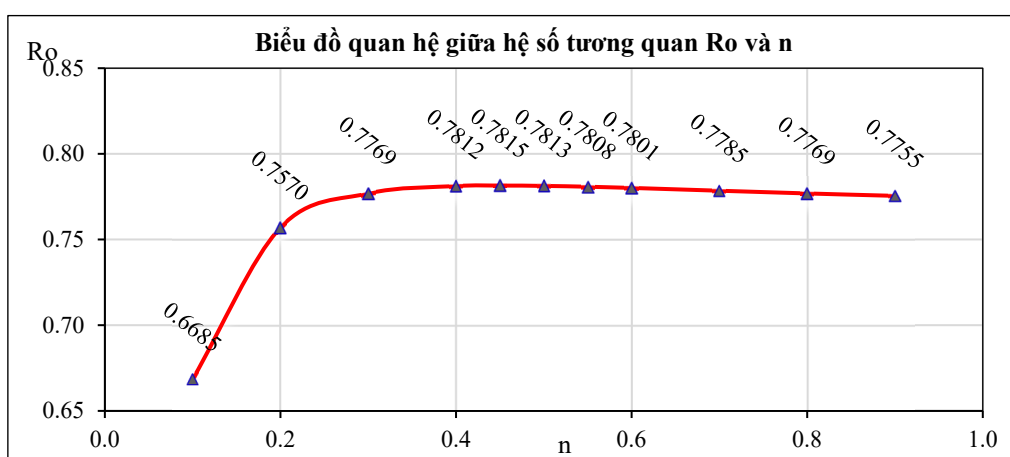


Hình 4. Quan hệ Bxi–X ứng với n = 0,3 và n = 0,4

Tương tự như vậy, nghiên cứu tính toán cho các giá trị n = 0,1 đến n = 1,0 và kết quả được thể hiện trong bảng.

Bảng 2. Các hệ số thực nghiệm ứng với các giá trị n.

STT	n	A ($\times 10^{-6}$)	β	Ro
1	0,10	60	26,4940	0,6685
2	0,20	0,200	18,4110	0,7570
3	0,30	0,020	13,6270	0,7769
4	0,40	0,006	10,7170	0,7812
5	0,45	0,004	9,6675	0,7815
6	0,50	0,003	8,7998	0,7813
7	0,55	0,002	8,0716	0,7808
8	0,60	0,002	7,4524	0,7801
9	0,70	0,001	6,4574	0,7785
10	0,80	0,001	5,6939	0,7769
11	0,90	0,001	5,0904	0,7755



Hình 5. Quan hệ giữa Ro và n.

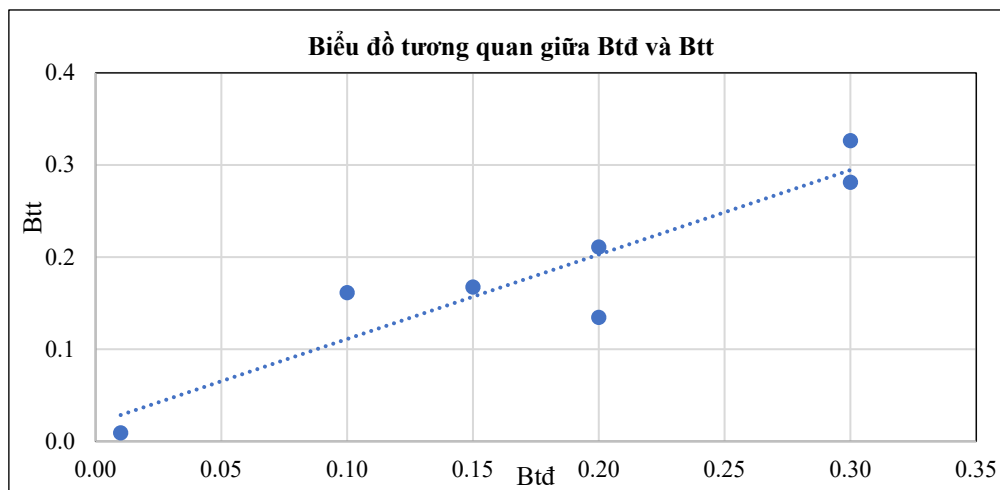
Qua biểu đồ vẽ được ta có n – hệ số tương quan giữa hai đại lượng xem xét đạt một trị số lớn nhất. Như vậy công thức kinh nghiệm tính tốc độ xói lở bờ tối ưu nhất cho khu vực sẽ được hình thành dạng:

$$B_{xi} = 4 * 10^{-9} * \left\{ (\Delta V * \Delta T)^{0.45} \left[\frac{H_{maxi-H}}{H_{max-H}} \right]^{9.6675} \right\} \quad (9)$$

Viết lại công thức (6) ứng với n = 0,45:

$$B_{xi} = 4 * 10^{-9} * (\Delta V * \Delta T)^{4.350375} * \Delta H^{9.6675} \quad (10)$$

Kiểm nghiệm lại kết quả tính toán cho thời đoạn lập công thức cho thấy hệ số tương quan khá tốt $R^2 = 0,84$ và Nash = 0,7. Từ công thức đã được thiết lập, kết quả tính toán cho thời đoạn khảo sát từ 10/12/2020 đến 17/12/2020 bằng công thức kinh nghiệm ta được hệ số tương quan bằng 0,86 và hệ số Nash = 0,79 đã thể hiện được độ đáng tin cậy của công thức cho khu vực tính toán ở hình 7 và bảng 3, hình 6.



Hình 6. Tương quan giữa tốc độ xói lở bờ thực đo và tính toán giữa hai đợt khảo sát năm 2020.

Kết quả tính toán theo công thức và thực đo cho thấy có sự phù hợp nhất định với hệ số tương quan là 0,86 và hệ số Nash là 0,79, sai số tương đối dưới 15% là 70% mặt cắt tính toán.

4. Kết luận

Công thức kinh nghiệm tính toán tốc độ xói lở bờ đoạn sông Hậu khu vực Long Xuyên cho kết quả bước đầu cho thấy tương đối tốt, công thức đã xét đến các yếu tố chủ yếu gây ra xói lở bờ sông, đó là vận tốc dòng chảy, thời gian duy trì khả năng gây xói lở bờ, mặc dù vậy do nguồn tài liệu không dài, chưa chi tiết và thiếu sự đồng bộ do đó công thức vẫn chưa xét đến một yếu tố có ảnh hưởng lớn tới tốc độ xói lở bờ đó là hướng dòng chảy tác dụng vào bờ. Khi sử dụng công thức để dự báo xói lở bờ trong tương lai, cần phải có tài liệu dự báo mực nước dài hạn ở các trạm thượng lưu và trạm lân cận khu vực nghiên cứu, đây thực sự là vấn đề khó khăn đối với chúng ta hiện nay. Công thức kinh nghiệm được xây dựng trên cơ sở liệt tài liệu thực đo vì thế cơ sở lý luận chưa hoàn toàn chính xác, một số mặt cắt còn cho kết quả sai lệch khá cao do tính chất đột biến về dòng chảy tại đó. Những hạn chế này sẽ được cải tiến trong các nghiên cứu sau. Hơn nữa, công thức cần được chứng minh ở những đoạn sông khác, có tính chất dòng chảy khác nữa để làm minh chứng cho độ tin cậy của phương pháp này.

Đóng góp cho nghiên cứu: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.T.S., C.T.V*.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.T.S., C.T.V*.; Thu thập, phân tích, xử lý số liệu: L.V.N., C.T.V, L.A.T.; Viết bản thảo bài báo: C.T.V*., N.C.T.; Chỉnh sửa bài báo: C.T.V.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường “Nghiên cứu xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông và đề xuất công nghệ cảnh báo, dự báo mức độ sạt lở bờ sông tại một số khu vực sạt lở trọng điểm ở Đồng Bằng sông Cửu Long” mã số TNMT.2018.02.13.

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. Van, C.T.; Duong, P.T.T.; Nga, Đ.T.; Ninh, L.V. Study on assessing the impact of climate change (temperature and rainfall) on rice yield in the Long Xuyen Quadrangle region (LXQR) – Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2021**, 7, 20–31. doi:10.36335/VNJHM.2021(7).20–31.
2. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, Đánh giá kết quả thực hiện “Định hướng Chiến lược phát triển Thủy lợi Việt Nam” giai đoạn 2009 đến 2015 Vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Báo cáo Dự án Rừng và Đồng bằng Việt Nam, 2016.
3. Bravard, J.P.; Petit, F. Geomorphology of Streams and Rivers. *Encycl. Inland Waters* **2009**, 387–395. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00043-0>.
4. Ian Reid, James C Bathurst, Paul Carling, Des E Walling, 1997, book: Applied fluvial geomorphology for river engineering and management, Chapter Sediment erosion, transport, and deposition, (pp.95-135), *John Wiley and Sons*
5. Simon, A.; Collison, A.J.C. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surf. Processes Landforms* **2002**, 27, 527–546.
6. Winterbottom, S.J.; Gilvear, D.J. A GIS-based approach to mapping probabilities of river bank erosion: regulated river Tummel, Scotland. *Regul. Rivers: Res. Manage.* **2000**, 16, 127–140.
7. Blazejewski, R.; Pilarczyk, K.W.; Przedwojski, B. River Training Techniques: Fundamentals, Design and Applications, Rotterdam, 1995.
8. Hùng, L.M. Nghiên cứu dự báo xói lở, bồi lắng lòng dẫn và đề xuất các biện pháp phòng chống cho hệ thống sông đồng bằng sông Cửu Long. Báo cáo tổng hợp đề tài KC08–15/01–05, 2004.
9. Stephen, H.S.; Jia, Y. Simulation of sediment transport and channel morphology change in large river systems us–china workshop on advanced computational modelling in hydroscience & engineering, September 19–21, Oxford, Mississippi, USA, 2002.
10. Wu, W.M. CCHE2D Sediment Transport Model. Technical Report No. NCCHE–TR–2001– 3, National Center for Computational Hydroscience and Engineering, The University of Mississippi, 2001.
11. Springer, G.S.; Rowe, H.D.; Hardt, B.; Cociana, F.G.; Edwards, R.L.; Cheng, H. Climate driven changes in river channel morphology and base level during the holocene and late pleistocene of Southeastern West Virginia. *J. Cave Karst Stud.* **2009**, 71(2), 121–129.
12. Rosgen, D.L. A practical method of computing streambank erosion rate. Proceedings of the Seventh Federal Interagency Sedimentation Conference **2001**, 2, 9–15.
13. Nga, T.N.Q.; Thuận, L.T.; Hoài, H.C.; Bầy, N.T. Nghiên cứu ứng dụng mô hình toán và công thức kinh nghiệm đánh giá sự phát triển của hố xói sâu hạ lưu sông Hậu và sông Vàm Nao. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 5, 1–10.
14. Hùng, L.M.; Hoàng, T.B.; Khang, N.D.; Anh, T.T. Kết quả ứng dụng mô hình SWAT trong tính toán xói lở bề mặt lưu vực hạ lưu sông Mekong. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi* **2012**, 12, 25–32.
15. Hùng, L.M.; Ngọc, Đ.T.B. Công thức kinh nghiệm tính tốc độ xói lở bờ đoạn sông Tiền khu vực Thường Phước, tỉnh Đồng Tháp. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn* **2004**, 06, 787-796.

16. Giáp, N.Đ.; Hậu, L.P. Xây dựng công thức kinh nghiệm tính toán hiệu quả bồi lắng của hệ thống đảo chiều hoàn lưu trên sông Dinh tại Phan Rang. <http://www.vawr.org.vn>.
17. Hải, H.Q.; Trinh, V.T.M. Tương quan xói lở – Bồi tụ một số khu vực lòng sông Tiền, sông Hậu. *Tap chí các khoa học về Trái đất* 2011, 33(1), 37–44.
18. Dinh Cong San, “Research on river bed erosion and sedimentation prediction by MIKE21C model at Tan Chau-Hong Ngu area, in the Mekong River”, *Proceedings of the International Symposium on Sustainable Development in the Mekong River basin*, 2005, 188-195.
19. Hoàng, T.P.; Hùng, P.T. Mối quan hệ giữa khai thác cát với biến động bờ sông Tiền tại tỉnh Đồng Tháp. *J. Sci.* 2016, 12(4), 92–103.
20. Ninh, L.V. Nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu khí tượng thủy văn tỉnh An Giang trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Báo cáo tổng hợp đề tài KHCN cấp tỉnh, 2018.
21. Ninh, L.V.; Giám, N.M. Đặc điểm khí hậu An Giang. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* 2017, 648, 18–26.
22. Ibad-Zade Iu. A., Kiacbeili T. H. Biên hình lòng sông, Baku, 1966.
23. Hùng, L.M.; Sản, Đ.C. Xói lở bờ sông Cửu Long và giải pháp phòng tránh cho các khu vực trọng điểm, Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2002.

Study on the applicability of empirical formulas to calculate riverbank erosion in the Mekong Delta – Pilot at Hau River bank in Long Xuyen, An Giang Province

Can Thu Van^{1*}, Nguyen Thanh Son², Ngo Chi Tuan², Luu Van Ninh³, Can The Viet⁴, Luc Anh Tuan¹

¹ HCMC University of Natural Resources and Environment, 236B Le Van Sy, ward 1, Tan Binh district, HCM city; ctvan@hcmunre.edu.vn; lucanhtuan1103@gmail.com

² Hanoi University of Science–VNU, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Ha Noi; sonnt.vnu.hus.edu.vn; ngochituan@gmail.com

³ Hydro–Meteorology Center of An Giang Province, 64 Ton Duc Thang, Long Xuyen city, An Giang province; luuninhvt@gmail.com

⁴ Environment and Water resources Institute–Thuyloi University, 02 Truong Sa, ward 17, Binh Thanh district, HCM city; theviet8387@gmail.com

Abstract: The Mekong Delta is home to nearly 20 million people and is the largest agricultural area in Vietnam. Climate change is increasingly fierce and complex, along with excessive human intervention in nature, which are the causes of riverbank erosion and have been and are a threat to the lives of people here. The aggregated data shows that there are 406 landslide sections in the Mekong Delta, with a total length of 891 km, of which An Giang is assessed as one of the localities most severely affected by riverbank erosion. There are many methods used to assess and predict riverbank erosion in specific areas, such as: analysis of measured data; physical model; mathematical model; experience formula. This study use empirical formula to calculate the erosion level for Hau river bank in Long Xuyen city, An Giang Province. The calculation results according to the formula and the actual measurements show that there is a certain agreement with the correlation coefficient of 0.86 and the Nash coefficient of 0.79, relative error less than 15% is 70% of calculated cross-section. Such results, initially showed the possibility of applying the formula to set up coefficients and calculate for other regions of the Hau River and Mekong Delta.

Keywords: Riverbank erosion; Mekong Delta; Empirical formula for calculating bank erosion.