

MÔ HÌNH HÓA HOẠT ĐỘNG KHAI THÁC CÁT TRÊN SÔNG/BIỂN SỬ DỤNG BƠM HÚT BẰNG TELEMAT

Trần Thị Thu Thảo¹, Hoàng Trung Thống¹, Đoàn Thanh Vũ¹, Lê Ngọc Diệp¹

Tóm tắt: Mô hình hóa hoạt động khai thác cát bằng bơm hút là một vấn đề trong ứng dụng mô hình toán số. Nhiều nghiên cứu trước đây mô hình hóa hoạt động khai thác cát trên đáy sông bằng bơm hút và hoạt động nạo vét được mô hình hóa giống nhau. Cách tiếp cận này dẫn đến chưa mô phỏng được quá trình hút cát theo thời gian thực cùng với quá trình thủy động lực và vận chuyển bùn cát. Mục tiêu của bài báo này là đưa ra một phương pháp mô hình hóa hoạt động khai thác cát bằng bơm hút theo thời gian thực. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự thay đổi của đáy sông diễn ra phù hợp về mặt vật lý, sai số rất thấp 0,002%. Phương pháp này có thể áp dụng linh hoạt với công suất khai thác cát thay đổi theo thời gian, và có thể ứng dụng tương tự cho bài toán nuôi bãi.

Từ khóa: Khai thác cát bằng bơm hút, Telemac, Sisyph.

1. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây, nhu cầu cát phục vụ cho xây dựng, san lấp đang có xu hướng ngày càng gia tăng. Việc khai thác quá mức cát trên sông có thể gây ra những ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường. Các hồ sâu được hình thành trong quá trình khai thác cát gây ra sự hủy hoại của môi trường sống dưới nước và vùng ven sông (M. Sandeck, 1989); là nguyên nhân chính ảnh hưởng đến tính chất của dòng chảy và sóng tại khu vực cửa sông ven biển, diễn biến xói/bồi phức tạp tại vùng cửa sông (D. V. d. Eynde et al., 2010). Một số các nghiên cứu về hoạt động khai thác cát hoặc nạo vét tận thu đã được thực hiện có thể kể đến như: Nghiên cứu của Nguyễn Thế Biên và ccs (T. B. Nguyễn et al., 2012) sử dụng mô hình Mike 11 + Mike 21C với đặc tính bùn rời để đánh giá ảnh hưởng do khai thác cát đến ổn định lòng dẫn, sạt lở bờ sông hạ lưu sông Đồng Nai – Sài Gòn, nghiên cứu cho rằng, do lòng sông rộng và sâu nên việc nạo vét này không ảnh hưởng nhiều đến chế độ thủy lực toàn vùng; trữ lượng khai thác cho phép khoảng 12.10^6 m^3 . Nghiên cứu của Lê

Mạnh Hùng và ccs (M. H. Lê et al., 2015) đã đánh giá tác động của hoạt động nạo vét luồng Soài Rạp giai đoạn 2 với phương án -9,5m và -12,0m đến quá trình xói/bồi trên sông Soài Rạp. Nghiên cứu sử dụng mô hình toán Mike21, với đặt tính bùn không kết dính được thiết lập từ phạm vi lớn đến phạm vi nhỏ cho khu vực cửa Soài Rạp. Nghiên cứu của Đặng Thương Huyền và ccs (T. H. Dang et al., 2013) đánh giá tác động của nước biển dâng lên các mỏ khai thác cát tại khu vực biển Cần Giờ; Nghiên cứu sử dụng mô hình toán Mike 21 (DHI, 2007) để dự báo quá trình thủy động lực và vận chuyển bùn cát trong trường hợp không và trường hợp chịu ảnh hưởng của nước biển dâng với kịch bản +0,2m; Với kịch bản có 10 lỗ khoan với chiều sâu 8,0m so với đáy biển, kết quả mô phỏng cho thấy hoạt động khai thác cát làm gia tăng vận tốc tại miệng hố khai thác; tăng tốc độ bồi xói, tốc độ xói khoảng 29cm/15 ngày trong kỳ gió mùa Đông – Bắc và 8cm/15 ngày trong thời kỳ gió mùa Tây Nam. Brendan T. Yuill và ccs (B. T. Yuill et al., 2016) nghiên cứu sự thay đổi hình thái của bãi bồi hạ lưu sông Mississippi sau khi có các mỏ khai thác cát; Nghiên cứu này sử dụng

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM

dữ liệu quan sát biến đổi đáy với 1,46 triệu m³ được khai thác từ các mỏ; Phương pháp sử dụng trong nghiên cứu này gồm 3 thành phần: (1) Sử dụng dữ liệu quan trắc cao trình đáy sông Mississippi để tính toán tỷ lệ lấp đầy hố khai thác; (2) Phân tích dữ liệu đo đạc về lưu lượng dòng chảy và vận chuyển bùn cát từ biên thượng lưu để dự báo dòng chảy và động lực bùn cát bên trong hố khai thác; (3) Sử dụng mô hình toán Delft3D được sử dụng để mô phỏng dòng chảy và vận chuyển bùn cát và so sánh với dữ liệu quan trắc trong hố khai thác; Kết quả mô hình cho thấy rằng tỷ lệ lấp đầy hố khai thác có quan hệ chặt với nguồn bùn cát cung cấp ven sông và hình dạng hố khai thác; Chiều sâu và chiều dài hố ảnh hưởng đến độ lớn của ứng suất đáy tại hố.

Nhìn chung, các nghiên cứu đều mô hình hóa quá trình khai thác cát và nạo vét là giống nhau dựa trên giả định địa hình đáy sau khi nạo vét một thời gian. Với cách tiếp cận này, khi bắt đầu mô phỏng thì các hố sâu tại các mỏ cát đã được hình thành và kết quả tính sẽ có xu hướng cực đoan hơn, chưa sát với diễn biến vật lý của hiện tượng hút cát bằng bơm cùng với quá trình vận chuyển bùn cát theo thời gian thực.

Nhiều nghiên cứu trước đây thường sử dụng các bộ mô hình thương mại như Mike nên không thể thay đổi hoặc bổ sung thêm các phương trình để ứng dụng cho phù hợp với bài toán cụ thể. Mục tiêu của nghiên cứu này là đưa ra phương pháp mô hình hóa hiện tượng khai thác cát bằng bơm hút theo thời gian bằng cách xây dựng hàm khai thác cát dựa trên phương trình bảo toàn khối lượng ứng dụng vào mô hình mỏ TELEMAC.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong bài báo này, mô hình hóa hiện tượng khai thác cát bằng bơm hút trên đáy sông được tiếp cận theo hướng xem lượng cát được hút ra khỏi miền tính theo từng bước thời gian diễn ra cùng với quá trình bồi/xói tại từng nút trong miền tính. Lưu lượng cát khai thác trong một mỏ được phân phối đều cho các nút trong phạm

vi mỏ khai thác. Gọi lượng cát khai thác tại mỏ trong một năm là $Q(m^3)$, số lượng nút trong phạm vi của mỏ là N , thì lưu lượng cát được lấy ra khỏi một nút trong một bước thời gian (Δt) được tính như công thức (1).

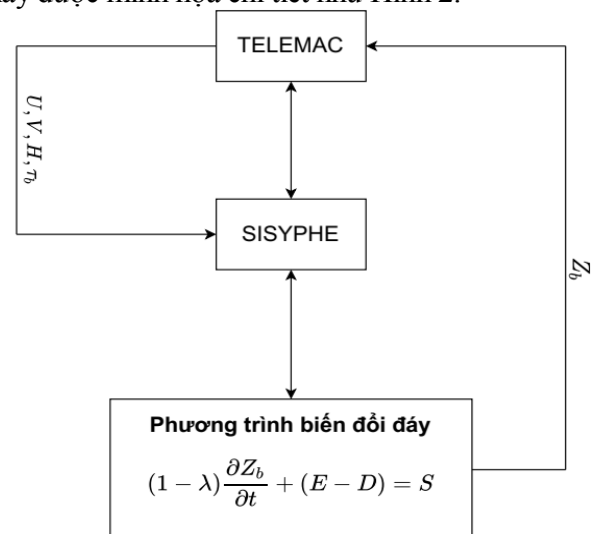
$$S(m/s) = \frac{Q}{N \times 365 \times 86400} \quad (1)$$

Lượng bùn/cát hút ra (S) khỏi các nút trên miền tính được đưa vào trong phương trình bảo toàn khối lượng theo phương trình (2).

$$(1 - \lambda) \frac{\partial z_b}{\partial t} + (E - D) = S \quad (2)$$

Trong đó: E , D là lượng xói, bồi (m/s); S là lượng bùn cát hút ra ở đáy (m/s) trong một bước thời gian ($Q < 0$ nếu hút cát, $Q > 0$ nếu cát bổ sung vào đáy). Lượng xói/bồi (E , D) là các thành phần tham gia trong các phương trình cơ bản vận chuyển bùn cát hỗn hợp đã được trình bày chi tiết tại mục 2.1 (N. A. Lê et al., 2020).

Sơ đồ kết nối giữa mô hình thủy động lực (TELEMAC) và mô hình vận chuyển bùn cát (SISYPHE) cùng với thành phần lưu lượng cát hút ra (S) được bổ sung vào phương trình biến đổi đáy minh họa như Hình 1. Sự khác nhau giữa phương pháp trước đây và phương pháp trong nghiên cứu này được minh họa chi tiết như Hình 2.



Hình 1. Sơ đồ kết nối giữa TELEMAC và SISYPHE.

τ_b : ứng suất tại đáy; Z_b : cao trình tại đáy; U, V là vận tốc theo phương X, Y ; H là chiều sâu nước.



Hình 2. Mô tả phương pháp mô hình hóa hiện tượng khai thác cát

3. KIỂM TRA VÀ ĐÁNH GIÁ THUẬT TOÁN

Để đánh giá lại độ tin cậy của phương pháp mô hình hóa hiện tượng khai thác cát, chúng tôi tiến hành xây dựng mô hình cho bài toán cơ bản để kiểm tra tính bảo toàn khối lượng. Bài toán cơ bản được mô tả chi tiết như sau:

- Miền tính được mô tả như một cái ao kín có diện tích $F = 10.000 \text{ m}^2$ (1ha) với 420 nút tương ứng với 760 phần tử; bốn biên kín không thấm nước, không có sự trao đổi dòng chảy và bùn/cát qua lại trên bốn biên.

- Cao trình đáy tại các nút trong miền tính được giả định bằng 0 ($Z_b = 0 \text{ m}$) tại thời điểm ban đầu.

- Công suất khai thác cát bằng bơm hút được giả định $1.800 \text{ m}^3/\text{ngày}$.

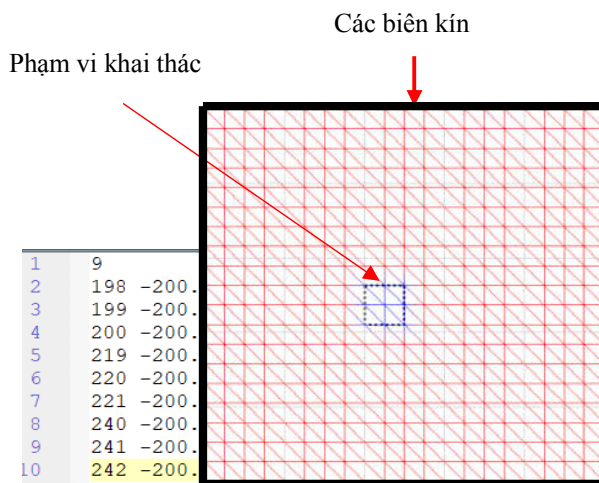
- Phạm vi miền tính được đại diện bởi 9 nút trên lưới tính, tương ứng với diện tích $F = 10 \times 10 = 100 \text{ m}^2$. Như vậy, tại mỗi nút công suất khai thác cát được phân phối đều cho từng nút là $200 \text{ m}^3/1 \text{ nút}/1 \text{ ngày}$.

- Mã code được viết bằng ngôn ngữ Fortran, được xử lý theo chế độ tính toán song song (parallels) với 4 cores trên laptop CPU AMD.

- Thời gian mô phỏng 1 ngày.

- Bước thời gian 60s.

Sơ đồ toán cho bài toán cơ bản được thể hiện như Hình 3. Kết quả mô phỏng cho thấy, sau 24h, tổng khối lượng bùn cát trong miền tính bị lấy đi $-1.799,962 \text{ m}^3$. Như vậy, so với khối lượng bùn/cát được hút ra theo bài toán là $1.800 \text{ m}^3/\text{ngày}$ thì sai số rất nhỏ là $0,002\%$. Kết quả cũng cho thấy quá trình hút cát tương đồng với diễn biến về vật lý tại đáy và đảm bảo được tính bảo toàn khối lượng. Quá trình biến đổi đáy theo thời gian sau 1 ngày thể hiện tại Hình 6.



Hình 3. Sơ đồ lưới cho bài toán kiểm tra

4. ỨNG DỤNG MÔ PHỎNG HOẠT ĐỘNG KHAI THÁC CÁT CHO VÙNG NGHIÊN CỨU HẠ LƯU ĐỒNG NAI-SÀI GÒN

Trong những năm gần đây, do yêu cầu của sự phát triển kinh tế xã hội của Tp. Hồ Chí Minh và khu vực kinh tế trọng điểm phía Nam nên nhu cầu khai thác cát diễn ra một cách nhanh và nhiều, có cả có phép và không có phép. Từ năm 1996 đến 2003, trên tuyến sông thuộc HDSĐN-SG, Bộ Công nghiệp đã cấp phép khai thác cát $5.455.000 \text{ m}^3$, UBND TP. Hồ Chí Minh cấp phép cho khai thác $1.159.000 \text{ m}^3$. Bên cạnh đó, tình trạng khai thác cát lậu diễn ra phổ biến và hầu như khó kiểm soát được. Theo số liệu thống kê chưa đầy đủ, trên địa bàn Tp. HCM đang có khoảng 100 bến, điểm khai thác cát và hàng trăm xà lan, tàu hút cát có công suất khai thác từ 20 m^3 đến 400 hoặc $500 \text{ m}^3/\text{chiếc}$ đang ngày đêm tập trung bơm, hút, khai thác cát trái phép

trên các sông Đồng Nai, sông Tắc, sông Soài Rạp, Lòng Tàu thuộc địa phận các quận, huyện Củ Chi, Thủ Đức quận 9, Nhà Bè, Cần Giờ... với khối lượng khai thác hàng chục ngàn mét khối cát mỗi ngày (trong đó trên hệ thống các sông Sài Gòn, Đồng Nai mỗi ngày bị khai thác từ 70.000 m³ đến trên 100.000 m³).

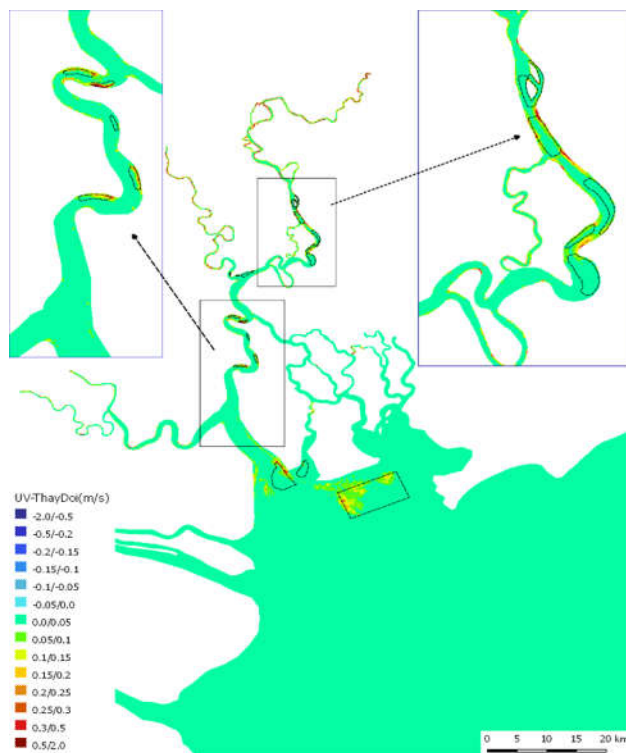
Để đánh giá tác động của hoạt động khai thác cát đến sự thay đổi của dòng chảy và nguồn bùn cát tại các khu vực, nghiên cứu đã xây dựng mô hình toán TELEMAC-2D cho miền tính lớn như Hình 7 và vị trí các khu vực hút cát đại diện như Hình 4. Hai kịch bản gồm: kịch bản cơ sở KB0 (không có các hoạt động khai thác cát); kịch bản KB3 (có hoạt động khai thác cát) được mô phỏng và so sánh. Trong bài báo này, chúng tôi chỉ tóm tắt lại kết quả, chi tiết có thể xem tại bài báo "Drastic variations in estuarine morphodynamics in Southern Vietnam: Investigating riverbed sand mining impact through hydrodynamic modelling and field controls" đã công bố trên tạp chí Hydrology (N. A. Le et al., 2022).



Hình 4. Vị trí các khu vực khai thác cát (Sở TN&MT TP.HCM, 2008)

Những thay đổi về dòng chảy

Có thể thấy rằng, vận tốc dòng chảy có sự thay đổi lớn, khu vực phía thượng lưu thay đổi mạnh hơn so với phía hạ lưu. So với kịch bản nền, vận tốc dòng chảy có thể tăng lên 1,5m/s tại khu vực thượng lưu (KV1), tập trung tại bờ sông ở những đoạn sông cong. Khu vực KV2 có sự thay đổi nhỏ hơn thượng lưu, vận tốc có thể tăng thêm 0,6m/s, thường phân bố tại các đoạn sông cong lân cận các mỏ khai thác cát. Khu vực KV3, có sự thay đổi vận tốc ít hơn so với các khu vực thượng lưu, vận tốc lớn nhất tại đây có thể tăng thêm 0,4m/s so với kịch bản nền. Sự thay đổi vận tốc dòng chảy ở khu vực phía thượng lưu (KV1) thường cao hơn so với khu vực hạ lưu là do lượng bùn cát tại KV1 ít hơn nên không đủ bù đắp cho lượng cát mất đi. Tại vị trí mỏ khai thác, vận tốc có thể tăng lên đến 0,20÷0,25m/s do hoạt động khai thác cát tạo ra các hố cát với độ dốc lớn hơn. (xem Hình 5)



Hình 5. Thay đổi vận tốc lớn nhất khi so sánh kịch bản có khai thác cát với kịch bản nền. (+) tăng, (-) giảm

Những thay đổi về hình thái lòng dẫn

Hoạt động khai thác cát tại các mỏ bằng hình thức bơm hút cát tại đáy sông tạo thành các hố, sự phát triển các hố này lớn và sâu dần theo thời gian tạo ra các điểm gãy và làm gián đoạn dòng dịch chuyển của bùn cát. Phần lớn dòng bùn cát bị giữ lại tại các hố khai thác dẫn đến gây xói tại các khu vực khác do thiếu lượng cát bổ sung. Hình 8 so sánh sự thay đổi của hình thái đáy lòng dẫn khi có khai thác cát so với không khai thác cát (+ tăng, - giảm). Kết quả mô phỏng cho thấy, hoạt động khai thác cát làm gia tăng tình trạng xói bồi không chỉ tại các mỏ khai thác cát mà còn tại các nơi khác. Khu vực xung quanh mỏ khai thác có những thay đổi lòng dẫn mạnh hơn so với khi không có hoạt động khai thác. Sau một năm mô phỏng, có những vị trí có mức độ xói tăng thêm từ 0,10÷0,15m thường nằm ở phía bờ lồi của một số đoạn sông cong; thậm chí, tại các đoạn sông tương đối thẳng, mức độ xói cũng tăng mạnh hơn.

Sự phân phối lại nguồn bùn cát

Hoạt động khai thác cát trên sông bằng hình thức hút cát trên đáy sông làm mất đi lượng cát và trực tiếp thay đổi đáy sông. Với lưu lượng khai thác cát lớn hơn so với khả năng cung cấp cát tự nhiên của sông, các mỏ khai thác không thể tái phục bồi được và bị đào sâu, hình thành các điểm gãy làm cho quá trình vận chuyển bùn cát di đáy bị mất liên tục. Sự mất cân bằng bùn cát diễn ra do sự gián đoạn trong vận chuyển bùn cát làm cho các khu vực dưới hạ lưu bị “đói” cát dẫn đến sự phân phối lại tổng lượng bùn cát (TLBC) tại các khu vực.

Bảng 1: Tổng lượng cát tích lũy sau 1 năm

Đvt: 1.000 m³

Khu vực	Tổng lượng cát khai thác	KB0	KB3
KV1	4.300	2.600	-1.900
KV2	12.000	10.800	-0.144
KV3	5.600	34.900	28.700

Khu vực KV1 có tổng lượng cát khai thác 4,3 tr.m³/năm; TLBC tích lũy trong trường hợp không khai thác cát là 2,6 tr.m³/năm. Theo tính toán thông thường, sau khai thác lượng cát thiếu hụt là -1,7 tr.m³/năm (2.600-4.300), tuy nhiên TLBC thiếu hụt lên đến -1,9 tr.m³/năm, cho thấy khai thác cát gây ra sự thiếu hụt trầm trọng hơn.

Khu vực KV2 có tổng lượng cát khai thác 12,0 tr.m³/năm; TLBC bồi tại khu vực này trong trường hợp không khai thác cát là 10,8 tr.m³/năm; với kịch bản có khai thác cát, lượng cát tích lũy là -0,144 tr.m³/năm. Theo tính toán thông thường, lượng cát thiếu hụt sau khai thác là -1.2 tr.m³/năm (10.800-12.000), tuy nhiên TLBC thiếu hụt chỉ -0.144 tr.m³/năm, cho thấy KV2 có khả năng khai thác vượt khả năng của nó.

Khu vực KV3 có tổng lượng cát khai thác 5,6 tr.m³/năm, TLBC bồi tại khu vực này trong trường hợp không khai thác cát là 34,9 tr.m³/năm; với kịch bản có khai thác cát, lượng cát tại khu vực này chỉ bồi có 28,7 tr.m³/năm. Theo tính toán thông thường, lượng cát bồi tại đây sau khai thác còn là 29,3 tr.m³/năm (34,9-5,6), tuy nhiên TLBC chỉ còn 28,7 tr.m³/năm cho thấy hoạt động khai thác cát làm trầm trọng hóa thêm khả năng tích lũy cát tại KV3.

KV1, KV3 là khu vực phía thượng và hạ lưu có lượng cát thiếu hụt trầm trọng hơn so với khu vực KV2 nằm ở trung lưu khi có hoạt động khai thác. Khu vực KV2 có khả năng khai thác cao hơn tiềm năng do nằm ở trung lưu nên đón nhận được dòng bùn cát di chuyển từ thượng lưu và từ biển.

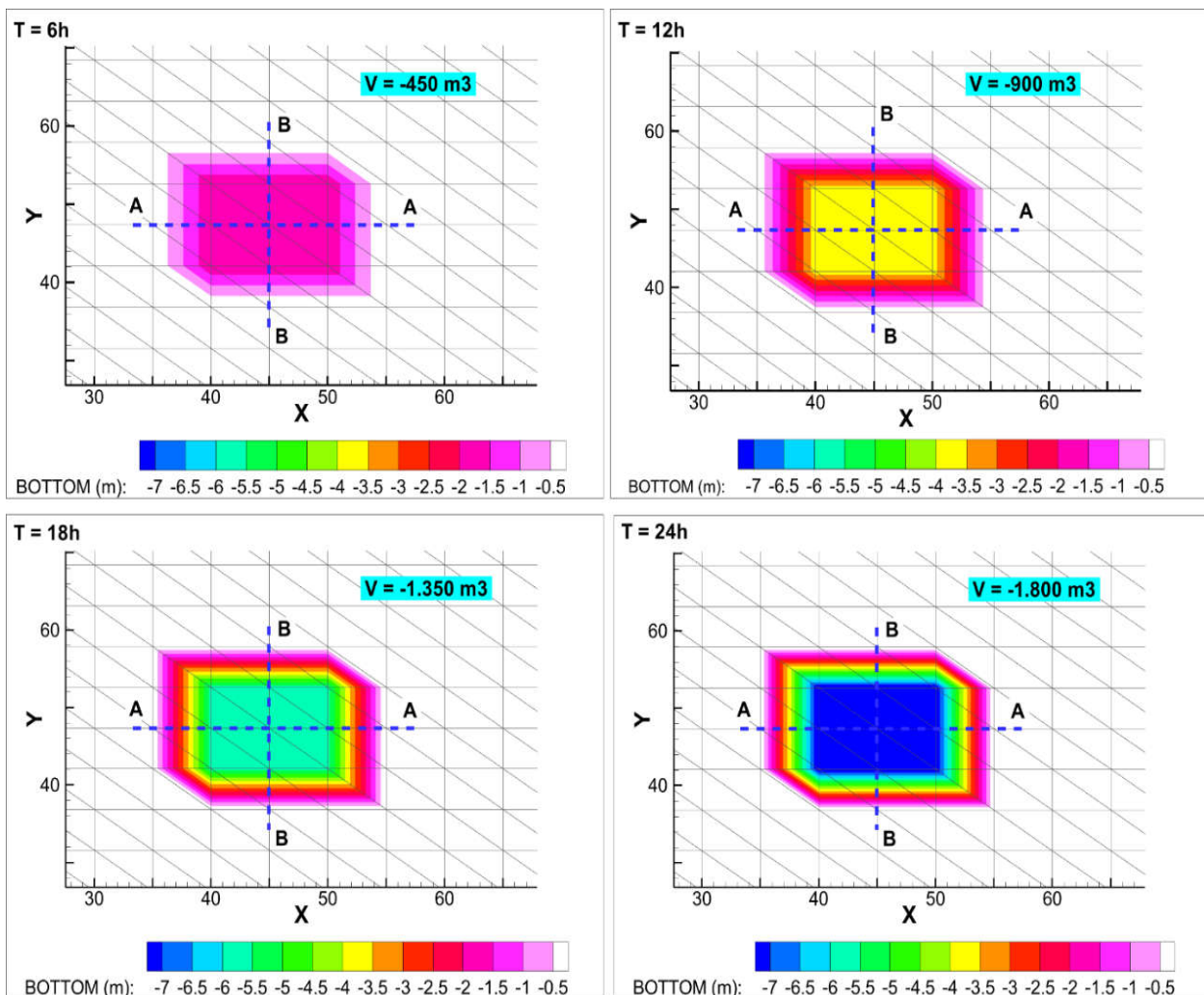
5. KẾT LUẬN VÀ THẢO LUẬN

Bài báo này trình bày việc mô hình hóa hoạt động khai thác cát bằng bơm hút cát/sỏi trên đáy sông. Khác với nhiều nghiên cứu trước đây, hiện tượng hút cát bằng bơm thường được mô phỏng giống hiện tượng nạo vét. Bằng cách tiếp cận như vậy, diễn biến

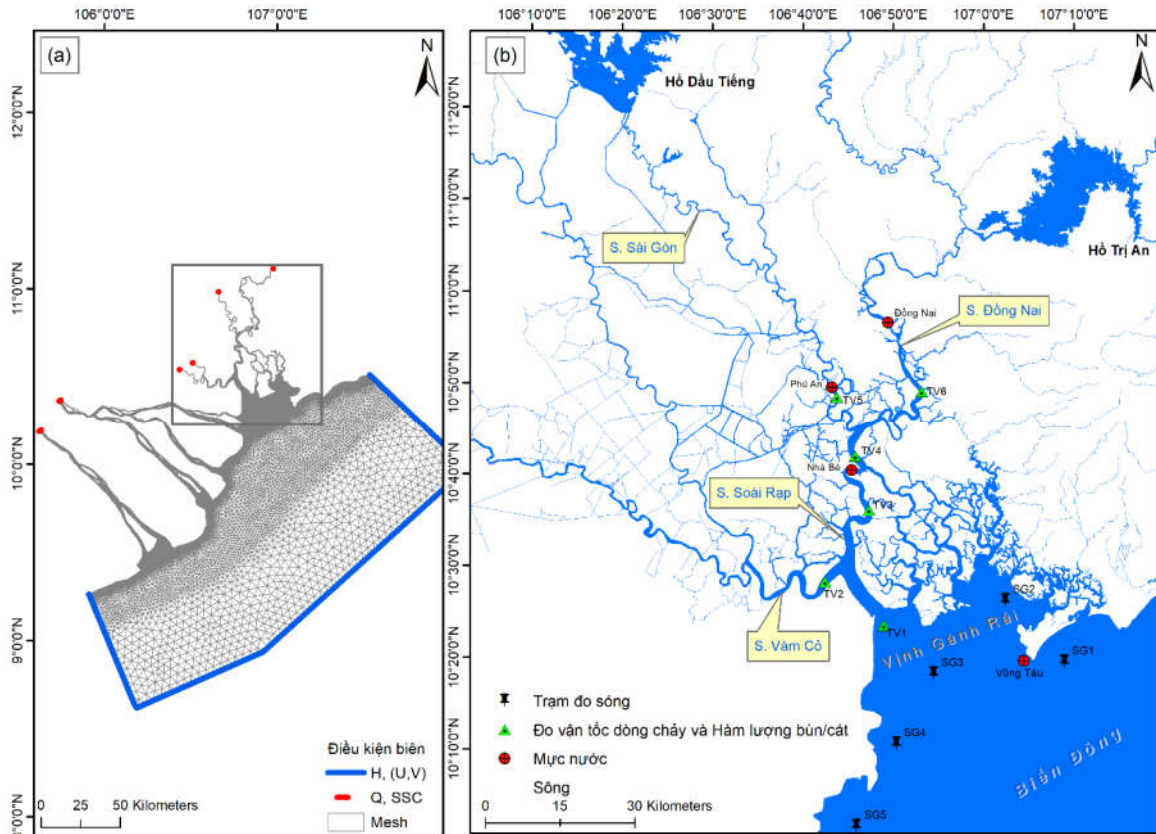
vận chuyển bùn cát không mô tả được quá trình vận chuyển bùn cát cùng với quá trình thủy động lực và vận chuyển bùn cát theo thời gian thực.

Với thể mạnh của mô hình toán mã nguồn mở, TELEMAC cho thấy những vấn đề khoa học hữu ích mà người dùng có thể sửa chữa để mô phỏng quá trình vật lý thực tế hơn so với các họ mô hình thương mại như MIKE.

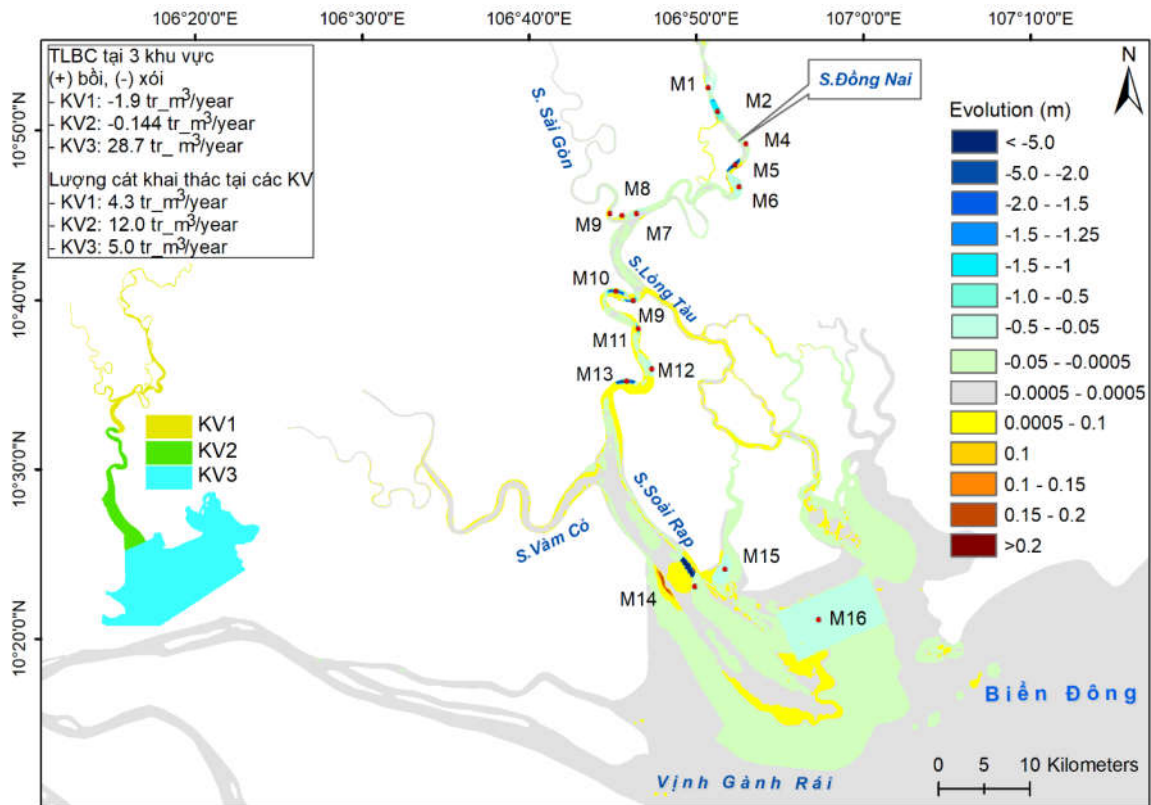
Tương tự như bài toán khai thác cát bằng bơm hút, thì bài toán nuôi bãi phục vụ cho công tác bảo vệ bờ sông, biển cũng có thể vận dụng theo cách tương tự với lượng $S > 0$ tương ứng với lượng cát được bơm vào.



Hình 6. Quá trình thay đổi đáy sau 1 ngày với công suất khai thác $S = 1.800 \text{ m}^3/\text{ngày}$ cho khu vực có phạm vi $F = 100 \text{ m}^2$. (V: tổng lượng bùn/cát bị lấy ra khỏi miền tính)



Hình 7. (a) vị trí biên và loại biên, (b) các vị trí hiệu chỉnh và kiểm định mô hình



Hình 8. So sánh sự thay đổi đáy lòng dẫn do hoạt động khai thác cát với kịch bản nền (KB3-KB0).
(+): bồi, (-) xói so với kịch bản nền (không khai thác cát)

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- M. H. Lê, C. S. Đình, D. K. Nguyễn & T. L. Nguyễn 2015. *Nghiên cứu khoa học liên quan đến dự án về chỉnh trị luồng, đánh giá về sa bồi sau nạo vét*. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam
- N. A. Lê, T. T. Hoàng & B. C. Ngô 2020. *Thiết lập mô hình vận chuyển bùn cát hỗn hợp theo không gian mô phỏng diễn biến hình thái lòng dẫn tại cửa sông Soài Rạp*. Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 69, 175-181.
- T. B. Nguyễn, V. H. Hoàng, H. T. Đặng, T. V. Phạm & N. H. Nguyễn 2012. *Nghiên cứu, điều tra, khảo sát, đánh giá ảnh hưởng và đề ra các giải pháp khắc phục, hạn chế sạt lở bờ do khai thác cát trên địa bàn Thành phố Hồ Chí Minh*. TP. Hồ Chí Minh: Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.
- T. H. Dang, T. V. Bui, T. T. Huynh, T. P. Le, A. Shinichi & D. Ichiro 2013. *Assessing the impacts of sea level rise on sand exploitation in the Can Gio coastal area (VietNam)*. Seed-net.org.
- D. V. D. Eynde, A. Giardino, J. Portilla, M. Fettweis, F. Francken & J. Monbaliu 2010. *Modelling the Effects of Sand Extraction, on Sediment Transport due to Tides, on the Kwinnt Bank*. Journal of Coastal Research, 101-116.
- N. A. Le, D. D. Tran, T. Nguyen, T. V. Can, H. V. Dang, H. A. Nguyen & E. Park 2022. *Drastic variations in estuarine morphodynamics in Southern Vietnam: Investigating riverbed sand mining impact through hydrodynamic modelling and field controls*. Journal of Hydrology, 608.
- M. Sandeck 1989. *Aggregate mining in river systems*. Calif. Geol., 44, 356-365.
- B. T. Yuill, A. Gaweesh, M. A. Allison & E. A. Meselhe 2016. *Morphodynamic evolution of a lower Mississippi River channel bar after sand mining*. Earth Surface Processes and Landforms, 41, 526-542.

Abstract:**MODELING SAND MINING ACTIVITIES USING SUCTION PUMP
ON THE RIVER/SEA BY TELEMAT**

Modeling sand mining using suction pump is a problem in numerical modeling application. Previous studies modeled sand mining on the riverbed using suction pumps and dredging operations which were modeled identically. This approach does not lead to simulate the real-time sand extraction along with the hydrodynamic process and sediment transportation. The objective of this paper is to present a method of modeling sand mining using suction pump in real-time. The research results show that the change of the riverbed is physically consistent, with a very low error of 0.002%. This method can be applied flexibly with sand extraction capacity changing over time and can be similarly applied to the problem of mining site.

Keywords: Sand mining by suction pump, Telemat, Sisyphus.

Ngày nhận bài: 23/7/2022

Ngày chấp nhận đăng: 25/8/2022