

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

**LÊ NGỌC ANH**

**NGHIÊN CỨU SỰ BIẾN ĐỔI HÌNH THÁI ĐÁY SÔNG SOÀI  
RẠP DO CÁC HOẠT ĐỘNG TRỰC TIẾP THAY ĐỔI ĐÁY  
VÀ NƯỚC BIỂN DÂNG**

Chuyên ngành: Kỹ thuật tài nguyên nước

Mã số chuyên ngành: 62580212

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ**

**TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2021**

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS.TS. NGUYỄN THỐNG

Người hướng dẫn 2: TS. LÊ ĐÌNH HỒNG

Phản biện độc lập 1:

Phản biện độc lập 2:

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....  
.....

vào lúc            giờ            ngày            tháng            năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

### Tạp chí quốc tế

1. 01 bài đang được under review trên tạp chí “Journal of Hydrology”.  
HYDROL40827 - “Investigating estuarine morphodynamics related to sand mining activities in the Southern Vietnam via hydrodynamic modelling and field controls” by Le et al, 2021.

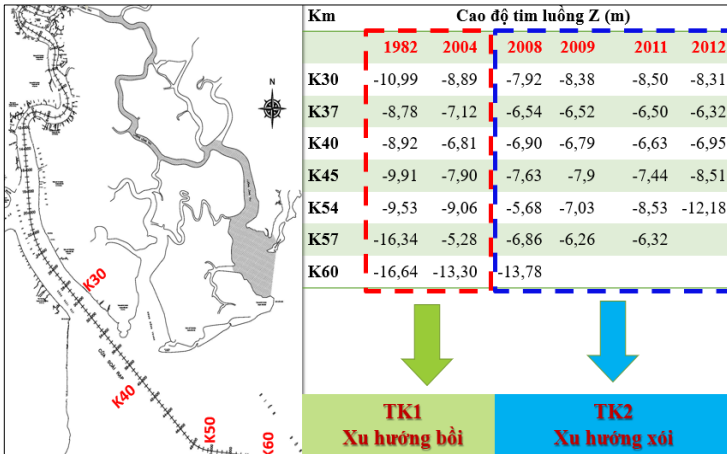
### Tạp chí trong nước

1. Lê Ngọc Anh, Hoàng Trung Thống, "Tác động của nước biển dâng đến vận chuyển và phân phối nguồn bùn cát tại cửa sông Soài Rạp," *Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, vol. 74, pp. 120-127, 2021.
2. Lê Ngọc Anh, Hoàng Trung Thống, and N. B. Châu, "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*, vol. 69, pp. 175-181, 2020.
3. Lê Ngọc Anh and L. X. Lộc, "Tác động của nước biển dâng đến chế độ dòng chảy tại cửa sông Soài Rạp," *Tài Nguyên Nước*, vol. Số chuyên đề, pp. 30-38, 2017.
4. Lê Ngọc Anh, V. T. V. Anh, and N. Thống, "Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu lên dòng chảy lưu vực sông Đồng Nai," *Khí Tượng Thủy Văn*, vol. 656, pp. 1-8, 2015.

# CHƯƠNG 1. MỞ ĐẦU

## 1.1 Giới thiệu

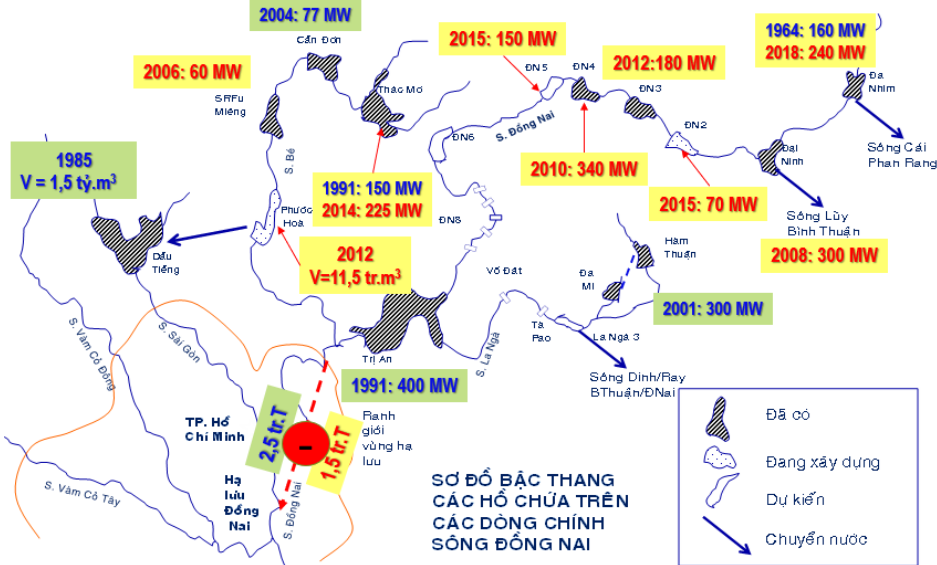
Những sự thay đổi về hình thái tại cửa sông và ven biển gây ra những ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp đối với nguồn tài nguyên, chất lượng nước, môi trường và hệ sinh thái vùng đất ngập vùng cửa sông. Trong ba thập niên qua, hình thái cửa sông Soài Rạp liên tục thay đổi. Giai đoạn đầu (1982 – 2008), khi các hoạt động khai thác tài nguyên trên sông chưa nhiều, đáy lòng dẫn sông Soài Rạp xảy ra xu hướng bồi; giai đoạn từ 2009 – đến nay, khi nền kinh tế phát triển nóng, xuất hiện tình trạng xói lở nhanh, phức tạp và có xu hướng lan rộng lên phía thượng lưu. H. 1 cho thấy sự thay đổi đáy sông Soài Rạp từ 1982 – 2012.



H. 1: Biến đổi đáy sông Soài Rạp từ 1982 – 2012

Những sự thay đổi đó là kết quả của sự điều chỉnh tương ứng đối với những thay đổi về điều kiện dòng chảy và lượng bùn cát và có liên quan đến các hoạt động của con người và nước biển dâng. Trong luận án này, sự biến đổi hình thái của lòng dẫn cửa sông Soài Rạp dưới tác động của các hoạt động do con người và nước biển dâng cần phải được làm sáng tỏ. Nghiên cứu này sẽ là cơ sở cho việc tìm ra các giải pháp nhằm ổn định lòng dẫn ở vùng HLĐNSG phục vụ cho việc xây dựng được các chiến lược quản lý, khai thác và bảo vệ tài nguyên thiên nhiên

theo hướng phát triển bền vững cho vùng. H. 2 trình bày hệ thống các công trình khai thác nguồn nước phía thượng nguồn sông Đồng Nai.



H. 2: Các công trình khai thác thủy điện trên dòng chính sông Đồng Nai

### 1.2 Tình hình nghiên cứu

Các nghiên cứu về hình thái lòng dẫn cửa sông Soài Rạp đã thực hiện có giá trị nghiên cứu cao, cung cấp những thông tin về quá trình thủy động lực và hình thái cửa sông Soài Rạp. Tuy nhiên, một số vấn đề còn tồn tại được khái quát ở những điểm chính như sau:

- Chưa làm rõ được cơ chế vận chuyển bùn cát tại cửa sông Soài Rạp một cách hệ thống và đầy đủ. Thứ nhất, là sự tổng hòa của các yếu tố động lực chính đó là tương tác giữa chế độ dòng chảy theo mùa với dòng triều, sóng và gió. Thứ hai, là mối quan hệ phân phối nguồn bùn cát giữa các khu vực thượng lưu, cửa sông và biển Đông.
- Đánh giá tác động từ các hoạt động của con người đối với hình thái cửa sông Soài Rạp như hoạt động nạo vét luồng lạch, hoạt động khai thác cát nhưng chưa xem xét sự ảnh hưởng của các hoạt động đó đối với sự phân phối nguồn

bùn cát giữa các khu vực khác nhau, mức độ ảnh hưởng của các khu vực.

- Mặc dù một số nghiên cứu có đề cập đến tác động của nước biển dâng đến những thay đổi về chế độ thủy lực và vận chuyển bùn cát, nhưng sự phân phối lại nguồn bùn cát tại các khu vực khác nhau trong điều kiện nước biển dâng tại cửa sông Soài Rạp chưa được xem xét đến.
- Do sự giới hạn bởi phương pháp toán và khả năng về phần cứng máy tính nên các nghiên cứu thường xây dựng miền tính nhỏ để chi tiết hóa cho khu vực cục bộ nên chưa thể làm rõ được sự trao đổi nguồn bùn cát giữa các khu vực.
- Phương pháp mô phỏng quá trình vận chuyển bùn cát thường là bùn rời hoặc bùn dính chưa phù hợp với đặc tính bùn cát biến đổi phức tạp theo không gian như tại vùng cửa sông Soài Rạp.

### **1.3 Câu hỏi và mục tiêu nghiên cứu của luận án**

Để có thể nghiên cứu quá trình thay đổi hình thái đáy sông, sự phân phối nguồn bùn cát tại các khu vực khác nhau có liên quan đến các điều kiện tự nhiên và sự tác động của con người thì những câu hỏi nghiên cứu được đặt ra ở đây là:

- (1) Câu hỏi nghiên cứu 1 (RQ1): Cơ chế vận chuyển bùn cát là sự ảnh hưởng của các yếu tố động lực và sự tổ hợp của các yếu tố đó thể hiện mối quan hệ phân phối bùn cát giữa các khu vực HLĐNSG được biểu diễn bằng quan hệ như thế nào?
- (2) Câu hỏi nghiên cứu 2 (RQ2): Chế độ thủy lực, quá trình biến đổi hình thái và sự phân phối lại tổng lượng bùn cát tại các khu vực HLĐNSG sẽ diễn biến như thế nào dưới tác động trực tiếp thay đổi đáy sông như hoạt động khai thác cát, nạo vét luồng Soài Rạp?
- (3) Câu hỏi nghiên cứu 3 (RQ3): Chế độ thủy lực, quá trình biến đổi hình thái và sự phân phối lại tổng lượng bùn cát tại các khu vực HLĐNSG sẽ diễn biến như thế nào trong điều kiện nước biển dâng?
- (4) Câu hỏi nghiên cứu 4 (RQ4): Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố từ các hoạt động của con người và nước biển dâng đến các khu vực khác nhau thuộc

HLĐNSG như thế nào, khu vực nào chịu ảnh hưởng lớn nhất?

Để trả lời những câu hỏi nghiên cứu trên thì mục tiêu cụ thể của luận án như sau:

- (1) Làm sáng tỏ được những điều kiện về chế độ thủy động lực và cơ chế vận chuyển bùn cát, diễn biến hình thái đáy sông và sự phân phối tổng lượng bùn cát giữa các khu vực cửa sông Soài Rạp;
- (2) Đánh giá được tác động từ những hoạt động tác động của con người trực tiếp đến đáy sông như hoạt động nạo vét, khai thác cát trên sông đến quá trình biến đổi hình thái đáy sông/biển vùng cửa sông Soài Rạp;
- (3) Đánh giá được tác động của nước biển dâng đến chế độ thủy động lực cùng với biến đổi hình thái đáy sông/biển, sự phân phối lại tổng lượng bùn cát tại các khu vực cửa sông Soài Rạp.

#### **1.4 Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

##### **Ý nghĩa khoa học**

Làm sáng tỏ được cơ chế vận chuyển bùn cát; đánh giá được tác động do các hoạt động của con người và nước biển dâng đối với sự thay đổi hình thái cửa sông Soài Rạp. Trong nghiên cứu này, phương pháp mô phỏng quá trình vận chuyển bùn cát với đặc tính bùn hỗn hợp thay đổi theo không gian tỏ ra phù hợp với sự thay đổi về tính chất cơ lý của vật liệu đáy lòng dẫn tại đây.

##### **Ý nghĩa thực tiễn**

Những hiểu biết về cơ chế vận chuyển bùn cát tại cửa sông Soài Rạp cùng với những tác động của con người đến hình thái lòng dẫn là cơ sở cho việc tìm ra các giải pháp nhằm ổn định lòng dẫn; xây dựng được các chiến lược quản lý, khai thác và bảo vệ tài nguyên trên sông, biển theo hướng phát triển bền vững cho vùng hạ lưu hệ thống sông ĐNSG.

## 1.5 Phương pháp nghiên cứu

Xây dựng công thức quan hệ  $(ES_1, ES_2) = f(f_1, f_2, n, ES)$  để áp đặt cách ứng xử mô phỏng vận chuyển bùn cát theo bùn hỗn hợp trong sông và bùn rời phía ngoài biển, ứng dụng vào mô hình mã nguồn mở TELEMAC-2D cho vùng nghiên cứu.

### 1.5.1 Mô hình vận chuyển bùn cát hỗn hợp (Sisyphé – Mixed sediment)

#### a) Các phương trình cơ bản

Phương trình vận chuyển bùn cát hai chiều đối với nồng độ bùn cát lơ lửng trung bình theo phương thẳng đứng  $C = C(x, y, t)$  có dạng sau:

$$\frac{\partial hC_k}{\partial t} + \frac{\partial (hUC_k)}{\partial x} + \frac{\partial (hVC_k)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( h\varepsilon_s \frac{\partial C_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h\varepsilon_s \frac{\partial C_k}{\partial y} \right) + E^k - D^k \quad (1.1)$$

$$(E^k - D^k)_{Z_{ref}} = \omega_s (C_{eq}^k - C_{ref}^k) \quad (1.2)$$

Hệ số k đại diện cho thành phần hạt  $k = 1, 2$  đại diện cho hạt cát và bùn

Trong đó:  $h = Z_s - Z_f \approx Z_s - Z_{ref}$  là chiều sâu nước, giả thiết chiều dày của lớp bùn cát đáy rất mỏng;  $(U, V)$  là vận tốc trung bình theo phương  $x, y$ ;  $E$ : suất xói lở;  $D$ : suất bồi tụ,  $(E - D)$  là lượng trừ của trầm tích lơ lửng;  $C_{eq}$  là nồng độ bùn cát ở trạng thái cân bằng sát đáy;  $C_{ref}$  là nồng độ bùn cát sát đáy.

Sự phân phối hàm lượng bùn cát lơ lửng tuân theo quy luật của Rouse:

$$C(z) = C_{Z_{ref}} \left( \frac{z-h}{z} \cdot \frac{a}{a-h} \right)^R \quad \text{với } R = \frac{W_s}{K\omega_s} \text{ là hằng số Rouse} \quad (1.3)$$

Giá trị  $C_{ref}$  được tính toán dựa vào mối quan hệ giữa nồng độ trung bình theo chiều sâu và nồng độ sát đáy  $C_{ref} = F.C$

$$\text{Với } \begin{cases} F^{-1} = \frac{1}{(1-Z)} B^R (1 - B^{(1-R)}) \Leftrightarrow R \neq 1 \\ F^{-1} = -B \log B \Leftrightarrow R = 1 \end{cases} \quad \text{Với } B = Z_{ref} / h \quad (1.4)$$

Sự thay đổi đáy của lòng dẫn được tính toán dựa trên sự cân bằng khối lượng giữa lưu lượng bồi/xói như sau:



$$(1-\lambda)\frac{\partial z_b}{\partial t} + (E-D)_{z=Z_{ref}} = 0 \quad (1.5)$$

Trong đó:  $\lambda$  là hệ số độ rỗng,  $z_b$  cao trình đáy.

### Ứng xử trong mô phỏng vận chuyển bùn cát hỗn hợp

Trong vận chuyển bùn cát hỗn hợp, tỷ lệ phần trăm khối lượng của bùn trên một lớp  $f_{2_j} = M_{s_j}^2 / (M_{s_j}^1 + M_{s_j}^2)$  được sử dụng để xác định ứng suất đáy tới hạn trung bình trên mỗi lớp  $\overline{\tau_{ce_j}}$  và lưu lượng bồi/xói tương ứng.

### Ứng suất đáy tới hạn trung bình

- Với  $f_{2_j} \leq 30\%$  (cát chiếm tỷ lệ lớn), vận chuyển bùn cát dựa trên đặc tính rời (non-cohesive sediment), khi đó  $\overline{\tau_{ce_j}} = \tau_{ce_j}^1$  (với  $\tau_{ce_j}^1$  ứng suất tới hạn của cát).
- Với  $f_{2_j} \geq 50\%$  (bùn chiếm tỷ lệ lớn), vận chuyển bùn cát dựa trên đặc tính dính của bùn (cohesive sediment), khi đó  $\overline{\tau_{ce_j}} = \tau_{ce_j}^2$  (với  $\tau_{ce_j}^2$  ứng suất tới hạn của bùn).
- Với  $30\% \leq f_{2_j} \leq 50\%$  thể hiện đặc tính bùn hỗn hợp:

$$\overline{\tau_{ce_j}} = \tau_{ce_j}^1 + \frac{(f_{2_j} - 0,3)(\tau_{ce_j}^2 - \tau_{ce_j}^1)}{0,5 - 0,3} \quad (1.6)$$

### Lưu lượng xói trung bình trên mỗi lớp $\overline{E_j}$

➤ Với  $f_{2_j} \leq 30\%$  :

$$\overline{E_j} = E_j^1 = \begin{cases} w_{s^1} \cdot C_{eq} \cdot f_{1_j}; (\tau_b > \overline{\tau_{ce_j}}) \\ 0; (\tau_b \leq \overline{\tau_{ce_j}}) \end{cases} \quad (1.7)$$

Với  $f_{1_j}$  là phần trăm thể tích của cát chứa trong một lớp,  $\tau_b$  là ứng suất tổng tại đáy được tính theo  $\tau_b = 0,5\rho C_f (U^2 + V^2)$ ;  $C_f$  là hệ số ma sát tổng.

➤ Với  $f_{2_j} \geq 50\%$  :

$$\overline{E}_j = E_j^2 = \begin{cases} M \left[ \left( \frac{\tau_b}{\tau_{ce_j}} \right) - 1 \right]; (\tau_b > \overline{\tau_{ce_j}}) \\ 0; (\tau_b \leq \overline{\tau_{ce_j}}) \end{cases} \quad (1.8)$$

Với  $M(\text{kg/m}^2/\text{s})$  là hằng số xói Krone-Partheniades

➤ Với  $30\% \leq f_{2_j} \leq 50\%$  :

$$\overline{E}_j = E_j^1 + \frac{(f_{2_j} - 0,3)(E_j^2 - E_j^1)}{0,5 - 0,3} \quad (1.9)$$

### Lưu lượng bồi của thành phần cát và bùn

- Đối với cát:  $D^1 = w_{s1} T_2$  (1.10)

Với  $T_2$  là tỷ số giữa hàm lượng bùn cát sát đáy và hàm lượng bùn cát trung bình được tính theo quy luật Rouse.

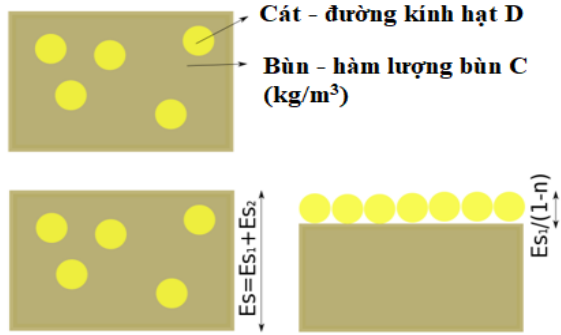
- Đối với bùn:  $D^2 = w_{s2} \left[ 1 - \left( \frac{T_1}{u_{*mud}^{cr}} \right)^2 \right]$  (1.11)

Với  $u_{*mud}^{cr}$  (m/s) là vận tốc tới hạn bồi sát đáy của bùn và  $T_1 = \sqrt{\tau_b / \rho}$

### 1.5.2 Xây dựng công thức quan hệ $(ES_1, ES_2) = f(f_1, f_2, n, ES)$

Trong nghiên cứu này, miền tính chia thành 2 phần, phía trong sông thể hiện đặc tính bùn cát hỗn hợp (Mixed sediment) với điều kiện; phía ngoài biển thể hiện đặc tính bùn cát rời (non-cohesive sediment) (xem H. 4). Để có thể áp đặt được đặc tính bùn cát theo không gian như trên cần thiết phải áp đặt được giá trị  $f_2$  với tỷ lệ thay đổi theo không gian. Tuy nhiên giá trị  $f_2$  phụ thuộc vào chiều dày giữa lớp cát và lớp bùn trên cùng một layer. H. 3 mô tả các thành phần hạt cát và bùn trong một khối đất. Có thể thấy rằng tổng chiều dày của một lớp bùn cát hỗn hợp  $ES = ES_1 + ES_2$  (với  $ES_1$ : chiều dày lớp cát,  $ES_2$ : chiều dày lớp bùn). Bài toán cần đặt ra ở đây là cho trước các giá trị  $f_1, f_2$  ( $f_1 + f_2 = 1$ ) xác định  $ES_1 + ES_2$ .

Gọi  $M_1$ ,  $M_2$  là khối lượng tương ứng của cát và bùn trong khối đất;  $f_1$ ,  $f_2$  là tỷ lệ khối lượng tương ứng của cát và bùn;  $n$ : là độ rỗng giữa các hạt cát. Do kích thước các hạt bùn nhỏ nên bỏ qua độ rỗng giữa các hạt bùn.



H. 3: Minh họa thành phần cát và bùn trong một khối đất

Ta có:  $M_1 = \rho \cdot (1-n) \cdot ES_1$ ;  $M_2 = C \cdot ES_2$

$\rho$ : khối lượng riêng của cát ( $2.650 \text{ kg/m}^3$ );  $C$ : hàm lượng bùn ( $\text{kg/m}^3$ )

$$f_1 = \frac{M_1}{M_1 + M_2}; f_2 = \frac{M_2}{M_1 + M_2} \Rightarrow \frac{M_2}{M_1} = \frac{f_2}{f_1} \Leftrightarrow \frac{C \cdot ES_2}{\rho(1-n)ES_1} = \frac{f_2}{f_1}$$

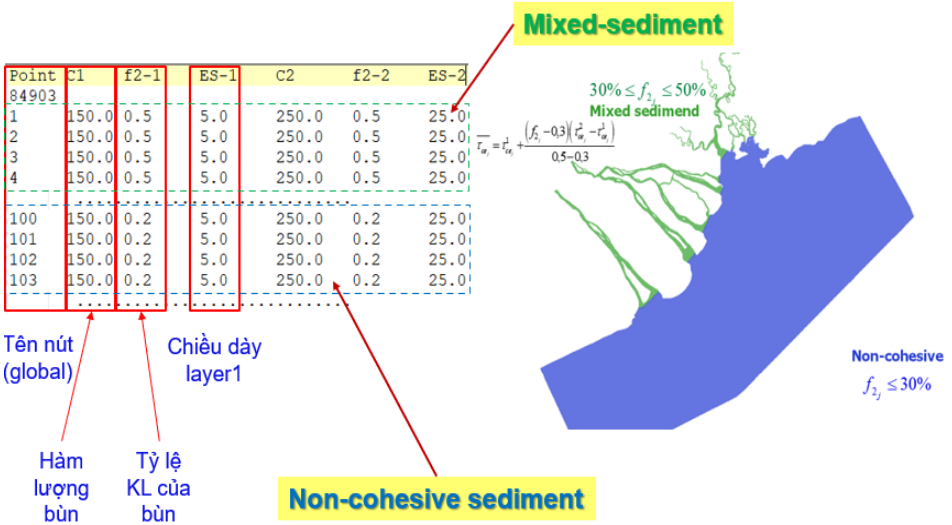
Cho trước chiều dày của lớp đất ES ta có quan hệ sau:

$$\frac{C \cdot ES_2}{\rho(1-n)ES_1} = \frac{f_2}{f_1} \Leftrightarrow \frac{C \cdot ES_2}{\rho(1-n)(ES - ES_2)} = \frac{f_2}{f_1}$$

$$\Rightarrow ES_2 = \frac{\rho \cdot f_2 (1-n) ES}{C \cdot f_1 + \rho \cdot f_2 (1-n)} \quad (1.12)$$

$$\Rightarrow ES_1 = ES - ES_2 = \left( 1 - \frac{\rho \cdot f_2 (1-n)}{C \cdot f_1 + \rho \cdot f_2 (1-n)} \right) ES = \frac{C \cdot f_1}{C \cdot f_1 + \rho \cdot f_2 (1-n)} ES \quad (1.13)$$

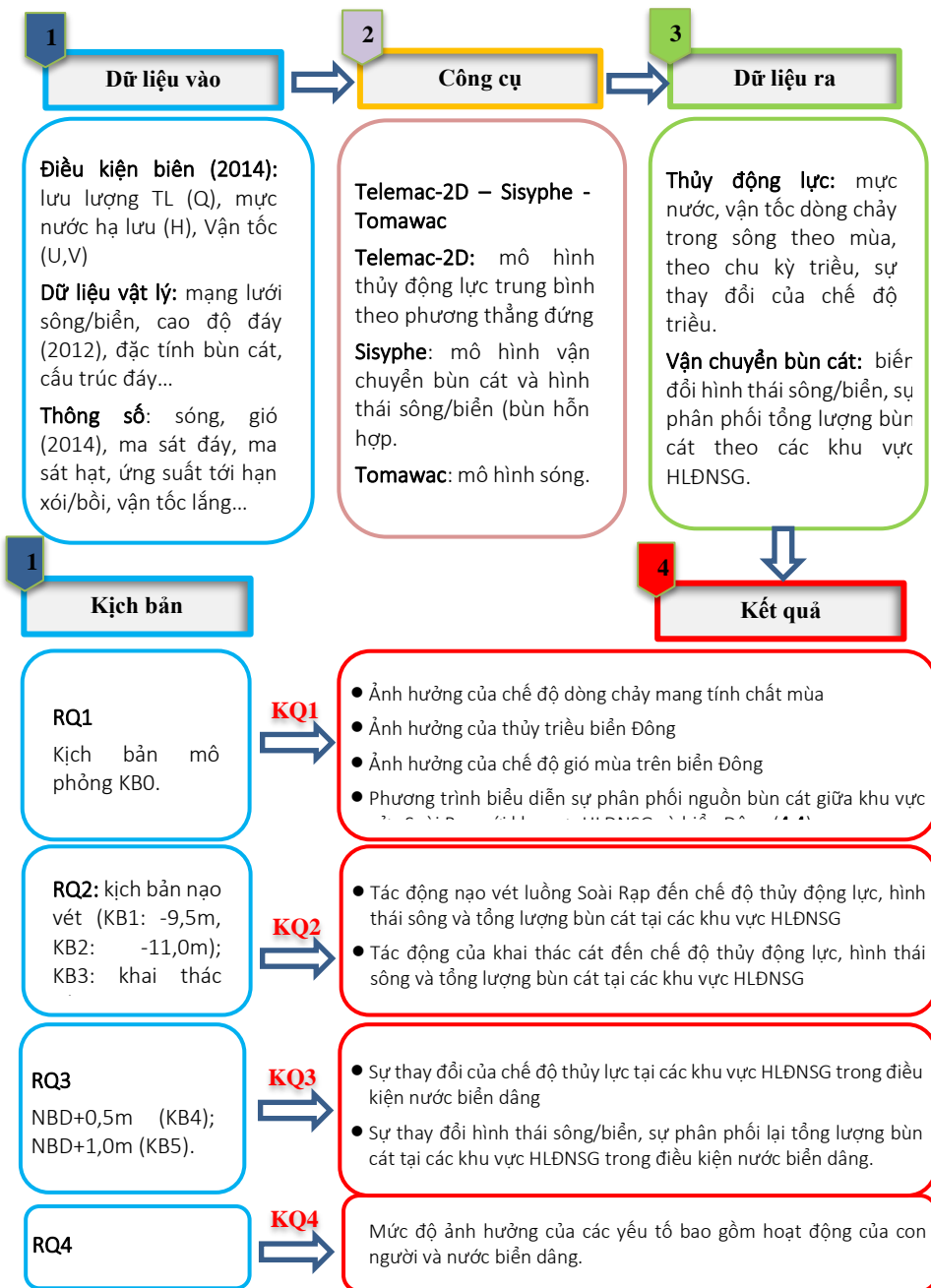
Dựa trên cơ sở chứng minh trên, nghiên cứu đã điều chỉnh lại Subroutine “INIT\_COMPO\_COH” dựa trên quan hệ  $(ES_1, ES_2) = f(f_1, f_2, n, ES)$  sao cho khu vực trong sông thể hiện đặc tính bùn hỗn hợp ( $30\% \leq f_2 \leq 50\%$ ), còn khu vực biển Đông thể hiện đặc tính bùn rời ( $f_2 \leq 30\%$ ). Cấu trúc file dữ liệu áp dụng cho bùn cát hỗn hợp theo không gian được trình bày như H. 4.



H. 4: Cấu trúc file dữ liệu áp đặt bùn cát hỗn hợp theo không gian

## 1.6 Sơ đồ nghiên cứu

Câu hỏi nghiên cứu số 1 đề cập đến sự ảnh hưởng của các yếu tố động lực và biểu diễn mối quan hệ phân phối bùn cát giữa các khu vực khác nhau bằng phương trình tương quan. Kết quả mô phỏng dựa trên các điều kiện thủy hải văn, địa hình đáy sông năm 2014 (KB0) làm dữ liệu đầu vào để trả lời cho câu hỏi số 1. Đối với câu hỏi nghiên cứu 2, các kịch bản nạo vét luồng Soài Rạp -9,5m (KB1), -11,0m (KB2), kịch bản khai thác cát xây dựng cho 16 mỏ cát với tổng lượng cát khai thác trong 21,9 tr.m<sup>3</sup>/năm (KB3) được so sánh với kịch bản nền để xem xét sự thay đổi của chế độ thủy lực và phân phối nguồn bùn cát tại các khu vực cửa sông Soài Rạp. Với câu hỏi 3, điều kiện nước biển dâng NBD+0,5m (KB4), NBD+1,0m (KB5) được mô phỏng và so sánh với kịch bản nền KB0 để xem xét sự thay đổi của chế độ triều, chế độ thủy lực, biến đổi hình thái đáy sông/biển và tổng lượng phân phối bùn cát tại các khu vực hạ lưu sông Soài Rạp. Để trả lời câu hỏi 4, các kết quả tổng hợp khối lượng bùn cát tại các khu vực (KB1, KB2, KB3, KB4, KB5) được so sánh với kịch bản (KB0) để xác định sự thay đổi tương ứng cho từng khu vực và từ đó xây dựng được đồ thị ảnh hưởng của mỗi yếu tố độc lập. (Sơ đồ H. 5).

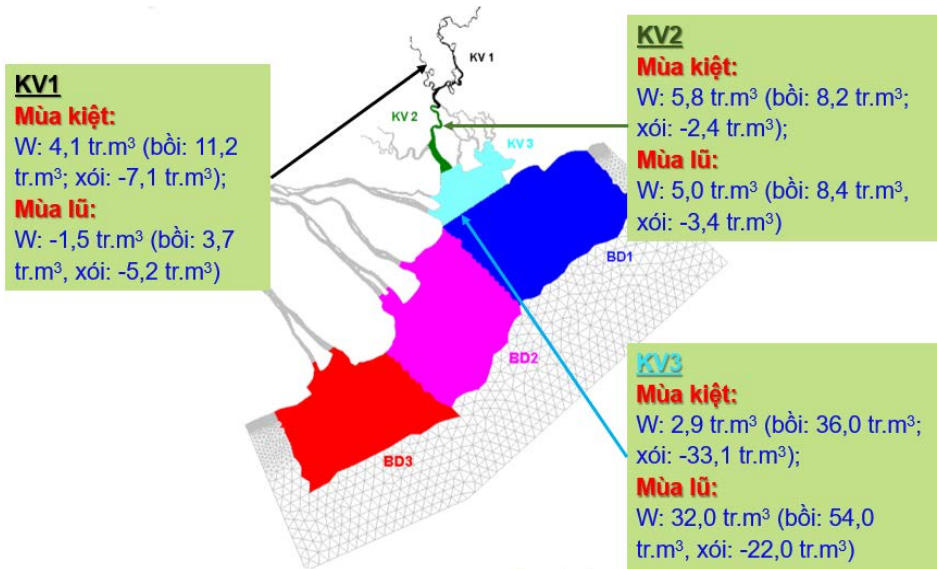


H. 5: Sơ đồ nghiên cứu

## CHƯƠNG 2. CƠ CHẾ VẬN CHUYỂN VÀ PHÂN PHỐI BÙN CÁT TẠI CỬA SÔNG SOÀI RẠP

### 2.1 Ảnh hưởng của chế độ dòng chảy mùa

Do sự trao đổi vùng cát giữa các vùng thay đổi theo mùa cùng với sự thay đổi của chế độ dòng chảy nên quá trình bồi/xói giữa các vùng là khác nhau. Khu vực KV1, vào mùa kiệt, do dòng chảy trong sông suy yếu nên bùn cát tại đây có xu hướng bồi với tốc độ nhanh, đường tổng lượng bùn cát (TLBC) lũy tích rất dốc; trong khi vào mùa lũ, dòng chảy trong sông mạnh và đẩy lượng bùn cát dịch chuyển dần về phía cửa sông, bùn cát có xu hướng xói, đường lũy tích đi xuống và giảm dần. Khu vực KV2, nằm ở trung gian đón nhận nguồn bùn cát cả từ thượng nguồn do dòng chảy trong sông và từ biển do dòng triều mang đến nên tại đây xu hướng bồi là chủ đạo. Khu vực KV3 là vùng cửa biển, là nơi đón nhận lượng bùn cát từ thượng lưu, tại đây diễn biến bồi/xói theo mùa được thể hiện rõ rệt. Vào mùa kiệt, do lượng bùn cát từ thượng lưu về ít, diễn biến bồi/xói tại đây do dòng chảy triều chi phối, bồi/xói tại đây biến động chậm (đường lũy tích bùn cát gần như nằm ngang. TLBC tích lũy tại các khu vực xem H. 6.



H. 6: TLBC tích lũy tại các khu vực theo mùa

## 2.2 Ảnh hưởng của thủy triều biển Đông

**Khu vực KV1**, vào mùa kiệt, trong kỳ triều cường, vận chuyển bùn cát ra vào khá cân bằng, lượng bùn tích lũy trong một chu kỳ triều không lớn khoảng  $2.929\text{m}^3$ ; vào kỳ triều kém, do vận tốc dòng chảy giảm nên lượng bùn cát lắng đọng có xu hướng tăng hơn, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều  $16.026\text{m}^3$ . Trong mùa lũ, vận tốc dòng chảy tăng lên đáng kể làm cho tốc độ trao đổi bùn cát diễn ra mạnh hơn so với trong mùa kiệt; nhìn chung xu hướng xói là chủ đạo trong một chu kỳ triều và lượng xói đó được mang đi đến vùng cửa sông. Vào kỳ triều cường, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều khoảng  $-97.222\text{m}^3$ ; vào kỳ triều kém, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều khoảng  $54.299\text{m}^3$ .

**Khu vực KV2**, trong mùa kiệt, vào kỳ triều cường, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều khoảng  $36.151\text{m}^3$ ; vào kỳ triều kém, lượng bùn cát ra vào khá cân bằng, đường lũy tích gần chạm đáy ở cuối chu kỳ triều, TLBC tích lũy khoảng  $511\text{m}^3$ . Trong mùa lũ, xu hướng bồi chiếm ưu thế do được nguồn bùn cát từ biển đem vào, TLBC tích lũy khoảng  $45.883\text{m}^3$  trong kỳ triều cường và  $157.476\text{m}^3$  trong kỳ triều kém.

**Khu vực KV3**, trong mùa kiệt, vào kỳ triều cường, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều khoảng  $114.093\text{m}^3$ ; vào kỳ triều kém, vận chuyển bùn cát chủ yếu đi ra biển là làm thiếu hụt lượng bùn cát tại đây, TLBC tích lũy là  $-48.012\text{m}^3$ . Trong mùa lũ, lượng bùn cát được dòng chảy biển mang vào rất lớn, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều khoảng  $357.751\text{m}^3$  trong kỳ triều cường và  $448.082\text{m}^3$  trong kỳ triều kém.

## 2.3 Ảnh hưởng của chế độ gió mùa trên biển Đông

Vào thời kỳ gió mùa Tây Nam, lượng bùn cát tăng thêm  $1,72 \text{ tr.m}^3$  (tương ứng với 10% so với trong trường hợp không có gió) và giảm  $1,56 \text{ tr.m}^3$  (tương ứng 9,3%) trong thời kỳ gió mùa Tây Bắc. Có thể nói, chế độ gió mùa chỉ là yếu tố động lực phụ làm tăng cường hoặc giảm bớt quá trình vận chuyển bùn từ trên biển Đông vào Vịnh Gành Rái. Động lực chính gây nên dòng vận chuyển bùn

cát chủ đạo vẫn là dòng triều, chế độ gió mùa tham gia vào quá trình vận chuyển bùn cát thể hiện ở hai mặt: (1) tăng cường hoặc triệt giảm động lực dòng chảy biển, (2) gây ra dòng vận chuyển bùn cát dọc bờ do sóng.

#### **2.4 Mối quan hệ về cân bằng và phân phối nguồn bùn cát giữa khu vực cửa Soài Rạp với khu vực HLĐNSG và biển Đông**

Cơ chế vận chuyển bùn cát tại đây là sự tổng hợp của tất cả các yếu tố động lực bao gồm dòng chảy theo mùa trong sông, dòng triều, sóng và gió mùa. Sự tương tác giữa các yếu tố có thể theo hai chiều thuận nghịch nhau xảy ra không giống nhau tại các khu vực dẫn đến cơ chế cân bằng và phân phối lại bùn cát giữa các khu vực. Bằng phương pháp phân tích tương quan dựa trên lượng bùn cát tích lũy trên các khu vực tại các thời điểm khác nhau, mối quan hệ đó có thể được biểu diễn bằng phương trình tương quan như sau:

$$Y = -4,452 \times X1 + 0,114 \times X2 + 6,958$$

Với: X1 ( $10^6\text{m}^3$ ): TLBC tích lũy tại KV1; X2 ( $10^6\text{m}^3$ ): TLBC tích lũy tại khu vực biển Đông; Y ( $10^6\text{m}^3$ ): TLBC tích lũy tại KV3.

Kết quả phân tích tương quan cho thấy có mối quan hệ chặt về tổng lượng bùn cát giữa khu vực Vịnh Gành Rái với HLĐNSG và Biển Đông. Hệ số tương quan  $R^2 = 0,986$ , các giá trị P-value của các biến độc lập đều đạt giá trị nhỏ hơn 5%. Giá trị P-test về mặt ý nghĩa không phải khẳng định qui luật trên là đúng mà nó bác bỏ giải thuyết nghịch ( $H_0$ ), tức là bác bỏ giả thiết giữa các khu vực kia không có mối quan hệ gì về mặt trao đổi bùn cát; do đó gián tiếp khẳng định mối quan hệ này có ý nghĩa về mặt thống kê. Phương trình tương quan cũng cho thấy rằng, tổng lượng bùn cát tích lũy tại khu vực KV3 có mối quan hệ nghịch biến với KV1 và đồng biến với khu vực biển Đông. Điều này cho thấy sự phù hợp với quy luật dòng chảy và vận chuyển bùn cát tại vùng cửa sông Soài Rạp.



# CHƯƠNG 3. SỰ BIẾN ĐỔI HÌNH THÁI ĐÁY SÔNG SOÀI RẠP DO CÁC HOẠT ĐỘNG TRỰC TIẾP THAY ĐỔI ĐÁY VÀ NƯỚC BIỂN DÂNG

## 3.1 Tác động của các hoạt động thay đổi trực tiếp đáy lòng dẫn

### 3.1.1 Tác động của công trình nạo vét luồng Soài Rạp

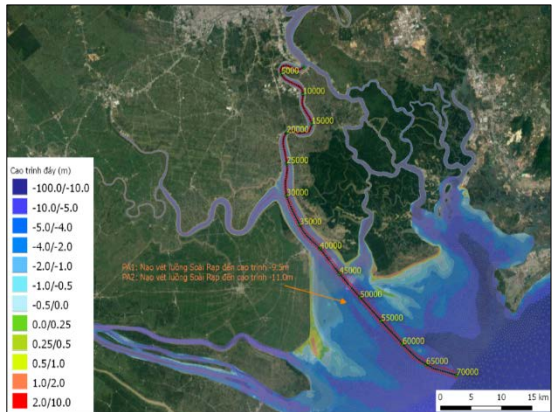
Để đánh giá ảnh hưởng của hoạt động nạo vét luồng Soài Rạp đến chế độ thủy động lực và bùn/cát, hai kịch bản tính toán được mô phỏng gồm KB1 (-9,5m), KB2 (-11,0m), chi tiết xem Bảng 1.

Bảng 1: Các kịch bản nạo vét tại 2 đoạn

|  | Đoạn 1 |      |      | Đoạn 2 |     |       |       |
|--|--------|------|------|--------|-----|-------|-------|
|  | PA     | KB0  | KB1  | KB2    | KB0 | KB1   | KB2   |
| Z <sub>max</sub>                               |        | -6,1 | -9,5 | -11,0  | 4,1 | -9,5  | -11,0 |
| B (bề rộng đáy)                                |        |      | 130  | 130    |     | 170   | 170   |
| m (mái)  |        |      | 5    | 5      |     | 10    | 10    |
| Thể tích nạo (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) |        |      | -1,3 | -3,6   |     | -39,1 | -70   |

#### 3.1.1.1 Thay đổi về chế độ thủy lực

Trong kỳ triều cường, khi triều lên, vận tốc dòng chảy trong kênh tăng so với trường hợp chưa nạo vét; đoạn phía cửa sông có mức tăng lớn nhất là 0,2m/s. Khi triều xuống, vận tốc dòng chảy ở phía cuối kênh tăng cao hơn so với đoạn đầu kênh khi so sánh các phương án nạo vét với KB0, mức tăng có thể lên đến 0,35 m/s. Trong kỳ triều kém, khi triều lên, phía đầu kênh, vận tốc dòng chảy không thay đổi nhiều; phía cuối kênh, vận tốc dòng chảy giảm so với trường hợp chưa nạo vét, có thể giảm 0,13m/s. Khi triều xuống, vào mùa lũ vận



H. 7: Tuyến nạo vét luồng Soài Rạp

tốc không thay đổi nhiều; vào mùa kiệt, vận tốc dòng chảy phía cuối kênh tăng nhiều hơn, có thể tăng thêm 0,3m/s khi so với trường hợp không nạo vét.

Cùng với sự thay đổi về vận tốc dòng chảy do hoạt động nạo vét luồng Soài Rạp, chế độ triều tại đây cũng có những thay đổi. Kết quả phân tích cho thấy rằng, các phương án nạo vét làm cho độ lớn triều tăng lên so với KB0; phương án KB2 gây ra sự thay đổi lớn hơn so với phương án KB1, độ lớn triều có thể tăng thêm 15cm trong kỳ triều cường; sự thay đổi độ lớn triều phía hạ lưu lớn hơn so với phía thượng lưu sông.

### *3.1.1.2 Thay đổi về hình thái lòng dẫn*

#### **Sự biến động tổng lượng bùn cát trong kênh dẫn**

Đánh giá khả năng tích tụ bùn cát trong kênh dẫn sau một năm, kết quả cho thấy rằng: đoạn 1, TLBC bồi trong kênh sau một năm khoảng 513.680m<sup>3</sup> (KB1), 344.111m<sup>3</sup> (KB2); đoạn 2, TLBC mất đi trong kênh dẫn sau một năm khoảng - 3.842.871m<sup>3</sup> (KB1), -4.165.835m<sup>3</sup> (KB2).

#### **Sự biến động tổng lượng bùn cát tại các khu vực**

Quá trình biến đổi đáy sông do các hoạt động nạo vét là hệ quả của sự phân phối lại nguồn bùn cát tại các khu vực khác nhau. Kết quả mô phỏng cho thấy, tại khu vực KV1 TLBC tại đây giảm, TLBC bồi tại đây khoảng 2,1 tr.m<sup>3</sup> giảm 18% (KB1), 1,6 tr.m<sup>3</sup> giảm 36% (KB2). Khu vực KV2, TLBC khoảng 11,5 tr.m<sup>3</sup> tăng 6% (KB1), 12,2 tr.m<sup>3</sup> tăng 13% (KB2). Khu vực 3, TLBC khoảng 33,1 tr.m<sup>3</sup> giảm 5% (KB1), 31,2 tr.m<sup>3</sup> giảm 10% (KB2).

### *3.1.2 Ảnh hưởng của hoạt động khai thác cát*

#### **Những thay đổi về dòng chảy**

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 tại đây có thể tăng thêm

0,4m/s so với kịch bản nền. Tại vị trí mở 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.

**Những thay đổi về hình thái lòng dẫn**

Hoạt động khai thác cát tại các mỏ bằng hình thức bơm hút trực tiếp 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 bùn cát di đáy. Phần lớn dòng bùn cát di đáy bị giữ lại tại các hố khai thác dẫn đến gây xói tại các khu vực khác do thiếu lượng cát bổ xung. 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 (so với khi không khai thác cát) 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 bùn cát trên các khu vực và khả năng tái bồi tại các mỏ cát**

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 hồi 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 TLBC tại các khu vực.

Kết quả mô phỏng cho thấy, KV1 và KV3 là khu vực có lượng cát mất đi cao hơn sản lượng khai thác, khác với KV2 có lượng cát mất đi ít hơn so với sản lượng khai thác. Tổng lượng cát tích lũy tại các khu vực xem Bảng 2.

*Bảng 2: Tổng lượng cát lũy tích tại các khu vực*

| Khu vực | Đvt: tr.m <sup>3</sup> |                 |           |
|---------|------------------------|-----------------|-----------|
|         | Tổng khai thác         | Không khai thác | Khai thác |
| KV1     | 4,300                  | 2,600           | -1,900    |
| KV2     | 12,000                 | 10,800          | -0,144    |
| KV3     | 5,600                  | 34,900          | 28,700    |

Do sự thay đổi về dòng chảy diễn ra khác nhau tại các khu vực do hoạt động khai thác cát nên khả năng tái bồi tại các mỏ khai thác không giống nhau. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, phần lớn các mỏ cát tại khu vực KV1 không có khả năng tái bồi. Tại KV2, sản lượng khai thác cũng vượt quá mức đáp ứng của sông, các mỏ cát tại đây cũng không phục hồi được, có mỏ bị đào sâu -3,2m. Tại KV3, hàng năm nhận được lượng cát khoảng 34 tr.m<sup>3</sup> chủ yếu từ biển Đông, đường lũy tích theo tháng tại các mỏ cho thấy tiềm năng khai thác cát tại đây rất lớn.

### **3.2 Tác động của nước biển dâng đối với sự biến đổi hình thái tại cửa sông Soài Rạp**

#### **3.2.1 Thay đổi của chế độ thủy lực**

Kết quả chỉ ra, NBD làm tăng biên độ của hầu hết các phân triều chính. Đối với thành phần sóng bán nhật, sóng M2 (sóng mặt trăng chính) có biên độ tăng lớn nhất +2,49cm (NBD+0,5m), +4,43cm (NBD+1,0m) và sớm pha 7,5 phút (NBD+0,5m), 14,1 phút (NBD+1,0m) so với kịch bản nền (NBD+0,0m). Đối với thành phần sóng toàn nhật, sóng K1 (lệch góc mặt trăng – mặt trời) có biên độ tăng hơn 1,4cm (NBD+0,5m), 2,45cm (NBD+1,0m) và sớm pha 9,1 phút (NBD+0,5m), 17,0 phút (NBD+1,0m) so với kịch bản nền (NBD+0,0m). Hầu hết các thành phần sóng nước nông có biên độ giảm, sóng M4 có biên độ giảm -0,24m (NBD+0,5m), -0,51cm (NBD+1,0m).

Biên độ triều của các sóng chính tại cửa sông Soài Rạp tăng lên do ảnh hưởng của NBD dẫn đến sự thay đổi về vận tốc dòng chảy trong các hệ thống sông và vùng biển ngoài cửa sông. Vận tốc truyền triều của các sóng toàn nhật có xu hướng nhanh hơn so với sóng bán nhật. Các sóng triều được xem là các sóng dài, vận tốc truyền triều được biểu diễn theo công thức  $V = \sqrt{g \cdot h}$  ( $h$ : chiều sâu nước), trong trường hợp nước biển dâng  $h$  tăng lên và  $V$  sẽ tăng do đó sóng sẽ truyền đi nhanh hơn và sớm pha hơn.

Những thay đổi về tính chất triều có liên quan chặt chẽ tới quá trình vận chuyển bùn cát tại vùng cửa sông Soài Rạp. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng, vận tốc dòng chảy trong trường hợp nước biển dâng có xu hướng tăng lên tại các khu vực nước

nông trước cửa sông phía ngoài biển. Sông Soài Rạp được chia thành hai phần, đoạn từ P1÷P4 (bên ngoài cửa sông) vận tốc có xu hướng giảm; đoạn từ P4 trở lên bên trong cửa sông vận tốc có xu hướng tăng lên trong trường hợp nước biển dâng. Với kịch bản NBD+0,5m, khu vực nước nông bên ngoài cửa sông có thể tăng từ 0,01÷0,3 m/s; bên trong cửa sông, vận tốc có thể tăng từ 0,02÷0,20 m/s; tại khu vực bên ngoài cửa sông, vận tốc giảm từ -0,04÷-0,10 m/s. Với kịch bản NBD+1,0m, khu vực nước nông bên ngoài cửa sông có thể tăng từ 0,02÷0,37 m/s; bên trong cửa sông, vận tốc có thể tăng từ 0,03÷0,50 m/s; tại khu vực bên ngoài cửa sông, vận tốc giảm từ -0,05÷-0,22 m/s.

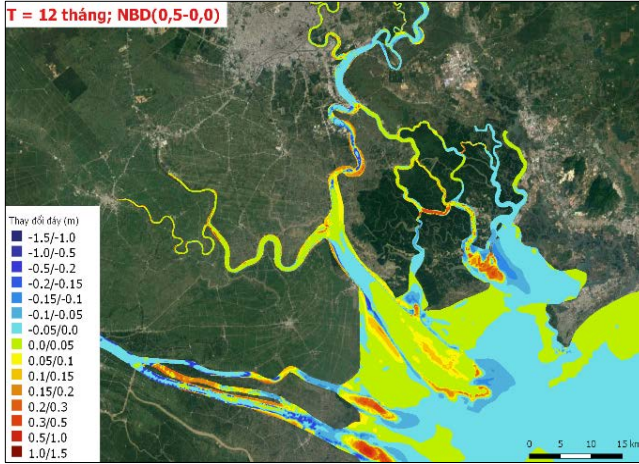
### **3.2.2 Vận chuyển và phân phối lại nguồn bùn cát**

NBD ảnh hưởng đến quá trình vận chuyển bùn cát tại các khu vực khác nhau. Đối với khu vực KV1, NBD làm giảm lượng bùn cát bồi lắng tại đây, mùa lũ ảnh hưởng sẽ lớn hơn so với mùa kiệt. Đối với khu vực KV2, NBD làm giảm lượng bùn cát lắng đọng trong mùa kiệt nhưng lại làm gia tăng lượng bùn cát lắng đọng trong mùa lũ, sự gia tăng đó bù đắp được sự thiếu hụt trong mùa kiệt nên trong một năm TLBC không thay đổi nhiều trong điều kiện NBD. Đối với khu vực KV3, NBD làm gia tăng lượng bùn cát tích lũy trong năm, vào mùa lũ sự gia tăng lớn hơn so với mùa kiệt. Các khu vực ngoài biển Đông, NBD có xu hướng làm giảm lượng bùn cát; riêng khu vực BĐ2 (vùng biển bên ngoài cửa sông Tiền), NBD làm gia tăng thêm lượng bùn cát tại đây. TLBC tích lũy tại các khu vực xem Bảng 3.

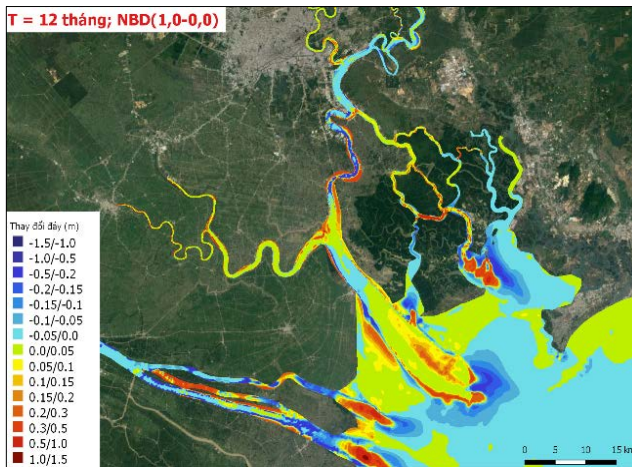
NBD gây ra sự thay đổi chế độ dòng chảy tại các khu vực khác nhau và làm cho hình thái sông cũng thay đổi tương ứng. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, các khu vực nước nông, khu vực cửa sông và khu vực lòng sông phía thượng lưu chịu tác động mạnh của NBD. Các khu vực nước nông và vùng cửa sông, NBD có xu hướng làm gia tăng bồi lắng; trong khi đó, càng đi về phía thượng lưu, NBD làm gia tăng khả năng xói lở lòng sông và bờ sông. Sự thay đổi hình thái đáy sông tại khu vực cửa Soài Rạp ứng với các kịch bản NBD thể hiện ở H. 8.

Bảng 3: TLBC tích lũy tại các khu vực ứng với các trường hợp NBD  
đvt: 1000m<sup>3</sup>

| Tháng    | KV1    |        |        | KV2    |        |        | KV3    |        |        |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | 0,0m   | 0,5m   | 1,0m   | 0,0m   | 0,5m   | 1,0m   | 0,0m   | 0,5m   | 1,0m   |
| Mùa kiệt | 4.142  | 4.049  | 4.067  | 5.755  | 5.419  | 4.883  | 2.915  | 3.651  | 4.489  |
| Mùa lũ   | -1.540 | -2.026 | -2.378 | 5.058  | 5.461  | 5.728  | 31.996 | 34.805 | 37.391 |
| Năm      | 2.602  | 2.023  | 1.689  | 10.813 | 10.880 | 10.611 | 34.911 | 38.456 | 41.879 |



(NBD+0,5m) – (NBD+0,0 m)



(NBD+1,0m) – (NBD+0,0 m)

H. 8: So sánh mức độ biến đổi đáy sau 1 năm tại cửa Soài Rạp

## CHƯƠNG 4. KẾT LUẬN

### Kết luận

Những mục tiêu chính của nghiên cứu này là: (1) làm sáng tỏ được những điều kiện về chế độ thủy động lực và cơ chế vận chuyển bùn cát, qui luật cân bằng bùn cát giữa các khu vực tại cửa sông Soài Rạp; (2) đánh giá được tác động từ những hoạt động chính của con người gây ra đến quá trình biến đổi hình thái cửa sông Soài Rạp; (3) đánh giá được tác động của nước biển dâng đến chế độ thủy động lực cùng với biến đổi hình thái lòng dẫn. Những mục tiêu và nội dung chính trong luận án được khái quát ở 5 điểm sau:

#### 1. Thiết lập được mô hình toán thủy động lực và vận chuyển bùn cát hỗn hợp với đặc tính bùn cát thay đổi theo không gian.

Sự phức tạp trong mô phỏng quá trình thủy động lực và vận chuyển bùn cát tại vùng cửa sông Soài Rạp thể hiện ở: (1) sự tương tác giữa chế độ dòng chảy trong sông mang tính chất mùa với các yếu tố động lực biển như dòng triều, sóng và gió; (2) sự thay đổi về đặc tính bùn cát theo không gian thể hiện đặc tính bùn hỗn hợp trong sông và bùn rời phía ngoài biển; (3) sự trao đổi bùn cát giữa các khu vực thượng lưu, vùng cửa sông và biển Đông.

- Đối với yêu cầu thứ nhất và thứ hai, miền tính phải đủ rộng để có thể mô phỏng được tương tác động lực sông và biển; các điều kiện đầu vào bao gồm điều kiện biên phía thượng lưu và phía biển, các quá trình vật lý như gió, sóng cần đầy đủ; thời gian mô phỏng đủ dài.
- Đối với yêu cầu thứ ba, dựa vào tính mở của mô hình Telemac (open source), nghiên cứu đã bổ xung thuật toán xác định chiều dày của  $ES_1$  (cát) và  $ES_2$  (bùn) bằng cách chứng minh mối quan hệ  $(ES_1, ES_2) = f(f_1, f_2, ES, n)$ . Trong đó:  $f_1$  là tỷ lệ khối lượng của cát,  $f_2$  là tỷ lệ khối lượng của bùn,  $ES$  là tổng chiều dày của một lớp,  $n$ : độ rỗng hạt.

$$ES_2 = \frac{\rho \cdot f_2 (1-n)}{C \cdot f_1 + \rho \cdot f_2 (1-n)} ES; ES_1 = \frac{C \cdot f_1}{C \cdot f_1 + \rho \cdot f_2 (1-n)} ES$$

## **2. Làm sáng tỏ được những điều kiện về chế độ thủy động lực và cơ chế vận chuyển bùn cát, qui luật cân bằng bùn cát giữa các khu vực cùng với diễn quá trình biến đổi hình thái tại cửa sông Soài Rạp**

Chế độ thủy lực tại đây là sự tương tác thuận nghịch giữa dòng chảy theo mùa và dòng triều có liên hệ với cơ chế vận chuyển bùn cát được tóm tắt bởi những điểm chính sau:

- Vận chuyển bùn cát chịu sự ảnh hưởng của dòng chảy theo mùa. Khu vực thượng lưu (KV1) chịu ảnh hưởng mùa sâu sắc, mùa kiệt có xu hướng bồi và mùa lũ có xu hướng xói, lượng bùn cát tại đây chủ yếu từ các lưu vực thượng lưu tích lũy trong mùa kiệt và di chuyển nhiều xuống hạ lưu vào mùa lũ. Khu vực Soài Rạp (KV2) có động lực bùn cát cân bằng, TLBC tích lũy khá cân bằng giữa mùa kiệt và mùa lũ. Khu vực Vịnh Gành Rái (KV3) khu vực chịu sự chi phối của triều biển Đông, TLBC tích lũy trong năm lớn nhất, nguồn bùn cát phần lớn do dòng chảy biển mang vào.
- Triều biển Đông ảnh hưởng đến vận chuyển bùn cát và tạo ra sự tích lũy bùn cát trong các khu vực khác nhau. Kết quả chỉ ra rằng, tại KV1, vào mùa kiệt, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều là 2.929 m<sup>3</sup> (triều cường), 16.026 m<sup>3</sup> (triều kém); vào mùa lũ, TLBC tích lũy -97.222 m<sup>3</sup> (triều cường), 54.299 m<sup>3</sup> (triều kém). Tại KV2, vào mùa kiệt, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều là 36.151 m<sup>3</sup> (triều cường), 511 m<sup>3</sup> (triều kém); vào mùa lũ là 45.883 m<sup>3</sup> (triều cường), 157.476 m<sup>3</sup> (triều kém). Tại KV3, vào mùa kiệt, TLBC tích lũy trong một chu kỳ triều là 114.093 m<sup>3</sup> (triều cường), -48.012 m<sup>3</sup> (triều kém); vào mùa lũ là 357.751 m<sup>3</sup> (triều cường), 448.082 m<sup>3</sup> (triều kém).
- Do ảnh hưởng của gió mùa kết hợp với đường bờ biển có hình dạng phát triển



theo hướng Tây Nam – Đông Bắc nên Vịnh Gành Rái đón nhận dòng bùn cát đi từ hướng Tây Nam – Đông Bắc nhiều hơn so với hướng ngược lại từ Đông Bắc – Tây Nam. Vào thời kỳ gió mùa Tây Nam, TLBC tích lũy tại Vịnh Gành Rái tăng thêm 1,78 tr.m<sup>3</sup> (tương ứng với 10%) và giảm 1,56 tr.m<sup>3</sup> (tương ứng 9,3%) trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc.

- Cuối cùng, cơ chế vận chuyển bùn cát tại đây là sự tổng hợp của tất cả các yếu tố động lực bao gồm dòng chảy theo mùa trong sông, dòng triều, sóng và gió mùa. Sự tương tác giữa các yếu tố có thể theo hai chiều thuận nghịch nhau xảy ra không giống nhau tại các khu vực, dẫn đến cơ chế cân bằng và phân phối lại bùn cát giữa các khu vực. Mỗi quan hệ cân bằng giữa các khu vực có thể được biểu diễn bằng phương trình tương quan như sau:

$$Y = -4,452 \times X1 + 0,114 \times X2 + 6,958$$

Với X1 (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>): TLBC tích lũy tại KV1, X2 (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>): TLBC tích lũy tại khu vực biển Đông, Y (10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>): TLBC tích lũy tại KV3.

### **3. Đánh giá được tác động từ những hoạt động của con người gây ra đến quá trình biến đổi hình thái cửa sông Soài Rạp**

Các hoạt động gián tiếp như xây dựng đập, hồ chứa, các công trình chuyển nước đã giữ lại bùn cát và làm thay đổi dòng chảy về hạ lưu dẫn đến sự suy giảm lượng bùn cát về hạ lưu.

Hoạt động nạo vét gây ra những thay đổi về chế độ thủy lực, biên độ triều tại cửa sông có thể tăng thêm 15cm trong kỳ triều cường. Đối với khả năng tái bồi của kênh, đoạn 1 có xu hướng bồi sau một năm khoảng 513.680m<sup>3</sup> (KB1), 344.111m<sup>3</sup> (KB2); đoạn 2 có xu hướng xói -3.842.871m<sup>3</sup> (KB1), -4.165.835m<sup>3</sup> (KB2). Khi xem xét trên diện rộng, hoạt động nạo vét làm cho lượng bùn cát tích lũy phía thượng lưu (KV1) giảm 18% (KB1), 36%(KB2);

khu vực Soài Rạp (KV2) có lượng bùn cát tăng 6% (KB1), 13% (KB2); Khu vực Vịnh Gành Rái (KV3) giảm 5% (KB1), giảm 10% (KB2).

Hoạt động khai thác cát tạo ra các mỏ, bùn cát bị giữ lại trong các hố, gây ra sự mất liên tục của dòng dịch chuyển bùn cát, dẫn đến sự thiếu hụt nguồn bùn cát tại các khu vực. TLBC tích lũy tại các khu vực là -1,9 tr.m<sup>3</sup>/năm (KV1), -144.000 m<sup>3</sup>/năm (KV2), 28,7 tr.m<sup>3</sup>/năm (KV3). Về khả năng tái bồi tại các mỏ khai thác cát, khu vực KV1 là khu vực có nhu cầu khai thác cát rất lớn và gần như không có khả năng tái bồi do sản lượng khai thác vượt mức đáp ứng của sông; khu vực sông Soài Rạp (KV2) và khu vực cửa biển (KV3) chủ yếu là cát san lấp, có khả năng tái bồi cao hơn do nguồn bùn cát lớn từ biển đưa vào.

#### **4. Đánh giá được tác động của nước biển dâng đến chế độ thủy động lực và quá trình vận chuyển bùn cát, biến đổi hình thái lòng dẫn tại vùng cửa sông Soài Rạp**

Sự tăng lên của NBD gây ra những thay đổi đối với chế độ triều tại vùng HLĐNSG. Biên độ của các sóng triều chính tăng lên cùng với sự gia tăng của mực nước biển; chiều sâu nước tăng lên kéo theo vận tốc truyền triều tăng và các pha sóng có xu hướng nhanh pha hơn. Sóng M2 có biên độ tăng lớn nhất +2,49 cm (NBD+0,5m), +4,43 cm (NBD+1,0m) và nhanh pha hơn 7,5 phút (NBD+0,5m), 14,1 phút (NBD+1,0m) so với kịch bản nền (NBD+0,0m).

Vận tốc dòng chảy tại cửa sông cũng có những thay đổi đáng kể, với kịch bản NBD+1,0m, khu vực nước nông bên ngoài cửa sông có thể tăng từ 0,02÷0,37 m/s; bên trong cửa sông, vận tốc có thể tăng từ 0,03÷0,50 m/s; tại khu vực bên ngoài cửa sông, vận tốc giảm từ -0,05÷-0,22 m/s.

Khu vực thượng lưu (KV1), TLBC tích lũy trong một năm có xu hướng giảm đi, cụ thể 2,6 tr.m<sup>3</sup> (NBD+0,0m), 2,0 tr.m<sup>3</sup> (NBD+0,5m) và 1,7 tr.m<sup>3</sup> (NBD+1,0m). Đối với khu vực KV2, NBD làm giảm lượng bùn cát lắng đọng trong mùa kiệt nhưng lại làm gia tăng lượng bùn cát lắng đọng trong mùa lũ,

sự gia tăng đó bù đắp được sự thiếu hụt trong mùa kiệt nên trong một năm, TLBC không thay đổi nhiều trong điều kiện NBD. Đối với khu vực KV3, NBD làm gia tăng lượng bùn cát tích lũy trong năm, cụ thể như sau: 32,0 tr.m<sup>3</sup> (NBD+0,0m), 34,8 tr.m<sup>3</sup> (NBD+0,5m) và 37,4 tr.m<sup>3</sup> (NBD+1,0m). Các khu vực ngoài biển Đông có TLBC giảm đi, tổng lượng cát tích lũy trên biển Đông là 335,2 tr.m<sup>3</sup> (NBD+0,0m), 325,4 tr.m<sup>3</sup> (NBD+0,5m) và 313,4 tr.m<sup>3</sup> (NBD+1,0m).

## **5. Đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đối với các khu vực khác nhau tại cửa sông Soài Rạp**

Dựa trên đồ thị có thể thấy, đối với KV1, hoạt động khai thác cát gây ra sự thiếu hụt bùn cát lớn nhất với TLBC bị thiếu hụt 176%, kể đến là hoạt động nạo vét (KB2) gây ra sự thiếu hụt 36%, còn yếu tố NBD (KB5) gây ra sự thiếu hụt 35%. Đối với KV2, tác động do hoạt động khai thác cát cũng gây ra sự thiếu hụt lớn nhất, TLBC thiếu hụt khoảng 100%, các hoạt động khác nhìn chung không ảnh hưởng nhiều. Đối với KV3, hoạt động khai thác cát gây ra sự thiếu hụt bùn cát khoảng 17%, hoạt động nạo vét gây thiếu hụt 10% (KB2). Đối với khu vực này, trong điều kiện nước biển dâng, nguồn bùn cát được bổ xung thêm chủ yếu từ biển Đông và gây bồi tại đây.

Có thể thấy rằng, KV1 là khu vực rất nhạy cảm khi có sự thay đổi về chế độ thủy động lực do hoạt động con người và trong điều kiện nước biển dâng. Mặc dù có vị trí khá xa cửa sông, nhưng mức độ thiếu hụt bùn cát là lớn nhất dưới tác động của các hoạt động do con người và NBD. KV2 là khu vực trung gian, có trạng thái tương đối cân bằng, mức độ ảnh hưởng thấp và khả năng phục hồi tốt hơn so với KV1 khi chịu tác động do các hoạt động nạo vét và khai thác cát. Điều này là do KV2 nằm ở vị trí trung gian nên nó đón nhận được dòng bùn cát từ thượng lưu xuống và từ biển đưa vào nên nhanh chóng tái bồi trong thời gian ngắn. KV3 là khu vực ít bị tác động nhất do tác động của con người và trong điều kiện NBD.