



Original Article

Grain-size Characteristics and Net Transport Patterns of Surficial Sediments in the Day River Estuary

Dinh Xuan Thanh¹, Nguyen Hong Quan^{1,*}, Nguyen Thi Huyen Trang¹,
Tran Thi Thanh Nhan¹, Vu Cong Huu²

¹*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

²*Key Laboratory of River and Coastal Engineering, Vietnam Academy for Water Resources (KLORCE),
No 1, 65 Lane, Chua Boc, Dong Da, Hanoi, Vietnam*

Received 23 April 2024

Revised 12 May 2024; Accepted 05 June 2024

Abstract: The Day estuary area is accreting relatively quickly, expanding the land area for Nam Dinh and Ninh Binh provinces. To understand the sediment accreting mechanism in this region, 42 surficial sediment samples were taken and analyzed for grain size to determine the rules of surficial sediment distribution and analyze the net sediment transport pattern. Research result shows that in the Day estuary area: sand is mainly dominated in the east and south, silty sand is distributed in front of the estuary and south of Con Noi, and sandy silt is distributed in the west and center of the study area. The coarsest-grained sediments are distributed in the North and South, while finer-grained sediments occupy the main area in the East and finest-grained sediments are spread out in the West of the study area. Well-sorted sediments are dominated throughout the region, covering the center and the East of the study area, showing that the hydrodynamic regime is relatively stable. Medium-sorted sediments are distributed in the West, North, and South, reflecting a less stable hydrodynamic regime. Poorly-sorted sediments at the Day estuary mouth represent the most complex hydrodynamic conditions here. Sediment tends to be transported from the southeast and west to the central area, causing a strong accretion process to create Con Noi and shallow mild tidal flats in the Day estuary area.

Keywords: Surficial sediment, grain size characteristics, net sediment transport pattern, Day river.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyenhongquan160198@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5103>

Đặc điểm và xu hướng vận chuyển trầm tích tầng mặt khu vực cửa sông Đáy

Đình Xuân Thành¹, Nguyễn Hồng Quân^{1,*}, Nguyễn Thị Huyền Trang¹,
Trần Thị Thanh Nhân¹, Vũ Công Hữu²

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển,
Số 1, Ngõ 165 Chùa Bộc, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 23 tháng 4 năm 2024

Chỉnh sửa ngày 12 tháng 5 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 05 tháng 6 năm 2024

Tóm tắt: Khu vực cửa sông Đáy diễn ra quá bồi tụ tương đối nhanh, không ngừng mở rộng quỹ đất cho hai tỉnh Nam Định và Ninh Bình. Để góp phần làm rõ cơ chế bồi tụ ở khu vực này, 42 mẫu trầm tích tầng mặt đã được lấy và phân tích độ hạt nhằm xác định đặc điểm và quy luật phân bố trầm tích tầng mặt và phân tích xu hướng vận chuyển trầm tích. Kết quả nghiên cứu cho thấy trầm tích trong khu vực cửa Đáy chủ yếu là cát phân bố ở phía Đông và Nam, cát bột phân bố ở trước cửa sông và phía nam Cồn Nôi, bột cát phân bố ở phía Tây và trung tâm vùng nghiên cứu. Trầm tích hạt thô nhất phân bố ở phía Bắc và phía Nam, mịn hơn ở phía Đông và mịn nhất ở phía Tây vùng nghiên cứu. Trầm tích có độ chọn lọc tốt chiếm ưu thế, phân bố ở trung tâm và phía Đông cho thấy chế độ thủy động lực tương đối ổn định ở khu vực này. Trầm tích có độ chọn trung bình phân bố ở phía Tây, phía Bắc và phía Nam phản ánh chế độ thủy động lực kém ổn định hơn. Trầm tích có độ chọn lọc kém phân bố ngay cửa Đáy thể hiện điều kiện thủy động lực phức tạp nhất ở đây. Trầm tích có xu hướng vận chuyển từ phía Đông Nam và phía Tây đến khu vực trung tâm gây ra quá trình bồi tụ mạnh tạo nên Cồn Nôi và bãi triều nông thoải khu vực cửa Đáy.

Từ khóa: Trầm tích tầng mặt, tham số độ hạt, xu hướng vận chuyển trầm tích, sông Đáy.

1. Mở đầu

Trầm tích tầng mặt là sản phẩm của quá trình xói mòn, vận chuyển và lắng đọng vật liệu trầm tích, bởi vậy nghiên cứu đặc điểm trầm tích tầng mặt có thể luận giải được các quá trình này. Kích thước hạt là một trong những tính chất cơ bản của trầm tích và là một phương pháp nghiên cứu trầm tích cổ điển. Do đó, nghiên cứu về sự phân bố kích thước hạt trầm tích có thể cung cấp sự hiểu biết về môi trường lắng đọng nơi có trầm

tích và cũng là một công cụ phổ biến để suy ra xu hướng vận chuyển và phân tán trầm tích. Nghiên cứu sự thay đổi trong đặc điểm phân bố kích thước hạt trầm tích trong một khu vực có thể phản ánh các đặc điểm của điều kiện thủy động lực trong khu vực và những thay đổi trong xu hướng di chuyển trầm tích và điều kiện cung cấp trầm tích [1, 2]. Nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước đã sử dụng dữ liệu kích thước hạt để xác định xu hướng vận chuyển trầm tích [3-7].

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyenhongquan160198@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5103>

Phương pháp phân tích xu hướng vận chuyển trầm tích được giới thiệu lần đầu tiên bởi McLauren (1981) [8], sau đó mô hình này đã được bổ sung và cải tiến bởi sự đóng góp của nhiều nhà khoa học. Hiện nay, nó đã và đang được sử dụng rộng rãi và được các nhà trầm tích học tiếp tục thảo luận [9-12]. Phân tích xu hướng vận chuyển trầm tích đã được chấp nhận như một công cụ phục vụ điều tra trong các dự án đới bờ của Quân đội Hoa Kỳ [13] và được sử dụng thành công trong các vùng biển và cửa sông ven biển khác nhau trên thế giới [14-18].

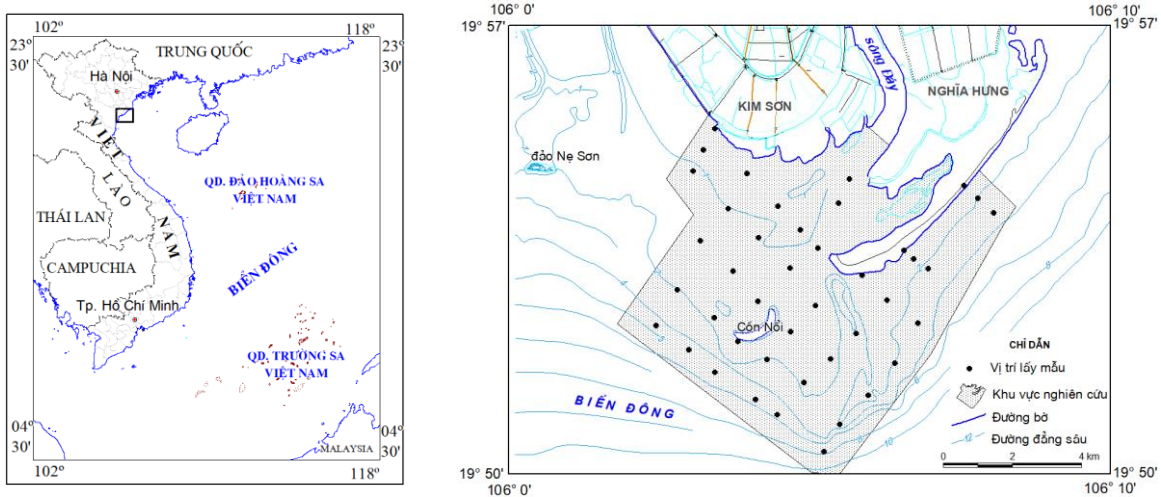
Sông Đáy là một chi lưu nằm phía hữu ngạn của sông Hồng. Khu vực cửa sông Đáy trong những năm qua có tốc độ bồi tụ và lắng đọng trầm tích rất mạnh [19]. Bồi tụ ven bờ và quá trình lấn biển làm tăng nhanh chóng diện tích đất tự nhiên cho quỹ đất của hai tỉnh Nam Định và

Ninh Bình. Bên cạnh đó, quá trình bồi tụ diễn ra nhanh chóng ở khu vực có những ảnh hưởng nhất định đến thay đổi chế độ thủy động lực và khả năng thoát lũ của sông Đáy. Do đó, việc nghiên cứu xác định quy luật phân bố trầm tích tầng mặt và phân tích xu hướng vận chuyển trầm tích cần được thực hiện để làm rõ xu hướng vận chuyển trầm tích và cơ chế bồi tụ trầm tích ở khu vực này.

2. Phương pháp

2.1. Khảo sát thực địa

42 mẫu trầm tích tầng mặt được thu thập từ khu vực có diện tích khoảng 65 km² (Hình 1). Mẫu được lấy đến độ sâu khoảng 10 cm tính từ bề mặt đáy, sau đó được chia đều và lấy 30-50 g để thí nghiệm phân tích độ hạt.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu và vị trí lấy mẫu.

2.2. Phương pháp phân tích độ hạt

Phân tích độ hạt trầm tích được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Trầm tích và Địa chất biển, Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Mẫu trầm tích trước khi phân tích cần được xử lý loại bỏ vật chất hữu cơ, các thành phần carbonat (như khoáng vật tại sinh, vụn vỏ sò), và hợp phần silic sinh học (các loại tảo). Các bước loại bỏ được

thực hiện lần lượt tương ứng bằng dung dịch H₂O₂ (10%), HCl (10%), và NaOH (2M). Sau đó tiếp tục phân tán chống kết vón bằng natri hexametaphosphate (0,5%) và được phân tích độ hạt bằng phương pháp rây và lazer. Trầm tích được phân cấp độ hạt theo C. K. Wentworth, 1922 [20] (Bảng 1), các thông số kích thước hạt được tính toán theo công thức của Trask, 1932 [21], phân loại trầm tích theo Folk, 1954 [22].

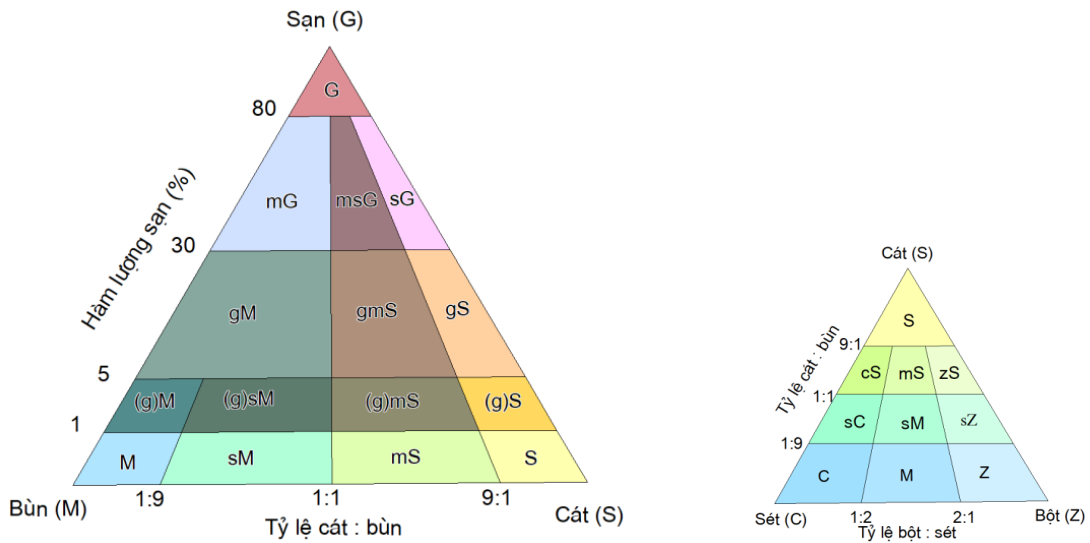
2.3. Cơ sở phân loại trầm tích tầng mặt

Dựa vào hàm lượng phần trăm hợp phần sạn, tỷ lệ hàm lượng phần trăm của hợp phần cát và bùn, sử dụng biểu đồ phân loại của Folk, 1954 để

xác định tên gọi 15 trường trầm tích chính (Hình 2). Nếu hàm lượng sạn trong trầm tích nhỏ hơn 1%, dựa trên 3 hợp phần cát, bột và sét, trầm tích được phân loại theo biểu đồ tam giác 9 trường trầm tích phụ.

Bảng 1. Thang phân cấp độ hạt trầm tích vụn cơ học (Wentworth, 1922 [20])

Cấp hạt		milimet	phi (φ)
Sạn		> 2	< -1
Cát	Rất thô	2 - 1	-1 - 0
	Thô	1 - 0,5	0 - 1
	Trung	0,5 - 0,25	1 - 2
	Mịn	0,25 - 0,125	2 - 3
	Rất mịn	0,125 - 0,0625	3 - 4
Bùn	Bột	Thô	0,0625 - 0,031
		Trung	0,031 - 0,0156
		Mịn	0,0156 - 0,0078
		Rất mịn	0,0078 - 0,0039
	Sét	< 0,0039	> 8



- G- Sạn sỏi
- sG- Sạn cát
- msG- Sạn cát bùn
- mG- Sạn bùn
- gmS- Cát bùn sạn
- gS- Cát sạn
- (g)S- Cát lẫn sạn
- (g)mS- Cát bùn lẫn sạn

- mS- Cát bùn
- S- Cát
- gM- Bùn sạn
- (g)sM- Bùn cát lẫn sạn
- (g)M- Bùn lẫn sạn
- sM- Bùn cát
- M- Bùn

- zS- cát bột
- cS- cát sét
- sZ - bột cát
- sC - sét cát
- Z - bột
- C - sét

Hình 2. Biểu đồ phân loại trầm tích (Folk, 1954 [22]).

2.4. Phương pháp xác định xu hướng vận chuyển trầm tích

McLaren 1981,1985 đã đề xuất phương pháp tính xu hướng vận chuyển trầm tích [8, 23], phương pháp này đã được Gao và Collins 1992, 1994 bổ sung và cải tiến [1, 24] và lần đầu tiên được áp dụng tại Việt Nam năm 2003 [25]. Phương pháp phân tích xu hướng vận chuyển trầm tích dựa trên số liệu phân tích độ hạt theo thang đo kích thước hạt phi (ϕ), bao gồm kích thước hạt trung bình – $Md(\phi)$, hệ số chọn lọc - $So(\phi)$ và hệ số bất đối xứng (hay độ lệch) – $Sk(\phi)$ được tính toán theo phương pháp của Folk và Ward, 1957 [26]. Theo phương pháp Trask,

1932, các thông số độ hạt nêu trên được tính toán dựa trên số liệu phân tích độ hạt theo thang đo mm và được ký hiệu tương ứng: Md (mm), So (mm), Sk (mm). Phương pháp này hiện đang được sử dụng phổ biến ở nước ta. Các cặp thông số theo thang ϕ hay thang mm được tính toán theo các phương pháp khác nhau nhưng tương tự nhau về bản chất, vì đều phản ánh kích thước hạt trung bình, độ đồng đều và độ lệch của các cấp hạt có trong mẫu trầm tích, do đó đều có thể sử dụng trong phân tích xu hướng vận chuyển trầm tích.

McLaren và Bowles, 1985 [23] đã chứng minh 2 trường hợp xảy ra dòng vận chuyển vật liệu trầm tích từ điểm d_1 đến điểm d_2 (Bảng 2).

Bảng 2. Hai trường hợp xảy ra dòng vận chuyển trầm tích

Trường hợp	Sự thay đổi tương đối các thông số độ hạt của trầm tích tại vị trí d_2 và d_1			
	Folk, 1957 (ϕ)		Trask, 1932 (mm)	
1	$So_2(\phi) \leq So_1(\phi)$	Chọn lọc tốt hơn	$So_2(\text{mm}) \leq So_1(\text{mm})$	Chọn lọc tốt hơn
	$Md_2(\phi) > Md_1(\phi)$	Mịn hơn	$Md_2(\text{mm}) < Md_1(\text{mm})$	Mịn hơn
	$Sk_2(\phi) \leq Sk_1(\phi)$	Độ lệch âm hơn	$Sk_2(\text{mm}) \geq Sk_1(\text{mm})$	Độ lệch lớn hơn
2	$So_2(\phi) \leq So_1(\phi)$	Chọn lọc tốt hơn	$So_2(\text{mm}) \leq So_1(\text{mm})$	Chọn lọc tốt hơn
	$Md_2(\phi) < Md_1(\phi)$	Thô hơn	$Md_2(\text{mm}) > Md_1(\text{mm})$	Thô hơn
	$Sk_2(\phi) \geq Sk_1(\phi)$	Độ lệch dương hơn	$Sk_2(\text{mm}) \leq Sk_1(\text{mm})$	Độ lệch nhỏ hơn

Trong trường hợp 1, dòng vận chuyển có xu hướng lắng đọng, trường hợp 2 có xu hướng xói mòn. Để xác định xu hướng vận chuyển thực, Gao và Collins đã đề xuất quy trình xác định các vector xu hướng theo các bước dưới đây:

Xác định các vector xu hướng đơn vị (XHĐV) và vector xu hướng chung (XHC)

Bước đầu tiên là xác định các vector xu hướng cho một mạng lưới các vị trí lấy mẫu. Để xác định một vị trí “lân cận”, khoảng cách đặc trưng được chỉ định. Nếu khoảng cách giữa hai vị trí lấy mẫu bất kỳ nhỏ hơn khoảng cách đặc trưng, chúng được coi là các vị trí lân cận. Nếu xu hướng trường hợp 1 hoặc trường hợp 2 (Bảng 2) được xác định giữa hai vị trí, vector “xu hướng” không thứ nguyên được xác định chạy từ vị trí có giá trị hệ số chọn lọc lớn hơn đến vị trí có giá trị nhỏ hơn. Vector được coi là “đơn vị” bởi vì các giá trị kích thước hạt trung bình, hệ số

chọn lọc và độ lệch được kết hợp với nhau để tạo thành một xu hướng [24, 25].

Tại mỗi vị trí lấy mẫu, có thể có nhiều hơn một vector XHĐV. Đối với một vị trí như vậy, các vector được tính tổng để tạo ra một vector duy nhất theo công thức (4).

$$\vec{R}(x, y) = \sum_1^n \vec{r}(x, y)_i \tag{4}$$

Trong đó, n là số vector XHĐV được xác định cho một vị trí lấy mẫu, $\vec{r}(x, y)_i$ là các vector XHĐV tại một vị trí lấy mẫu và $\vec{R}(x, y)$ là tổng của các vector XHĐV hay vector XHC [24, 25].

Xác định vector xu hướng vận chuyển thực (XHVCT)

Để loại bỏ nhiễu có trong các vector XHC, phép tính trung bình được áp dụng. Nhiễu được loại bỏ bằng cách lấy trung bình các vector của một vị trí lấy mẫu cụ thể với các vector ở các vị trí liên kề, được xác định theo công thức (5).

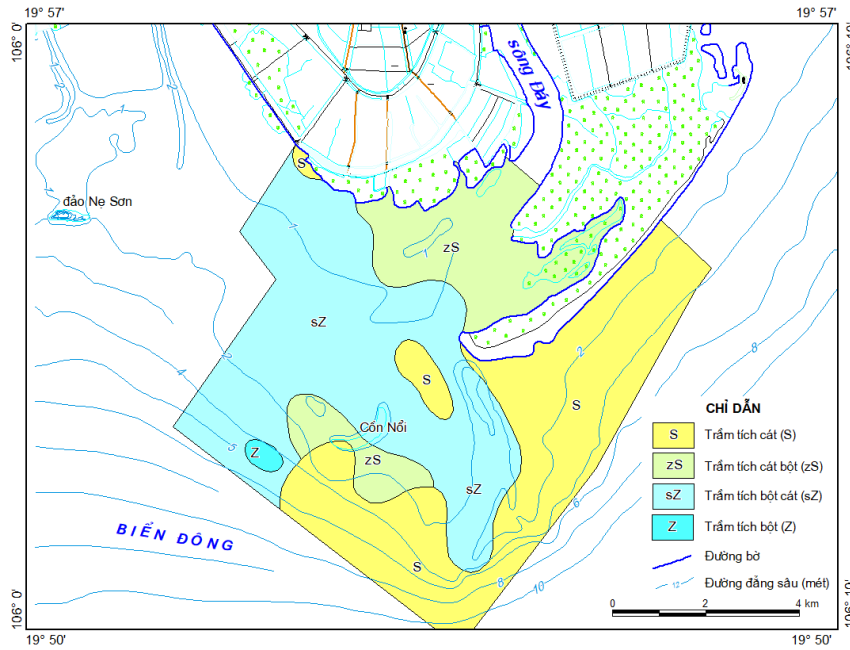
$$\vec{R}_{av}(x, y) = \frac{1}{k+1} [\vec{R}(x, y) + \sum_1^k \vec{R}_j] \quad (5)$$

Trong đó $\vec{R}(x, y)$ và $\vec{R}_{av}(x, y)$ là vectơ XHC và vectơ XHVCT, \vec{R}_j là vectơ XHC tại các vị trí lân cận, k là tổng số vị trí lân cận [24, 25].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đặc điểm trầm tích tầng mặt

Khu vực đáy biển vùng nghiên cứu có mặt 04 trường trầm tích tầng mặt, bao gồm trầm tích cát, cát bột, bột cát và bột (Hình 3).



Hình 3. Bản đồ trầm tích tầng mặt khu vực Cửa Đáy.

Bảng 3. Thành phần và thông số độ hạt trầm tích tầng mặt khu vực Cửa Đáy

STT	Trường Trầm tích	Số lượng mẫu	Giá trị	Thành phần độ hạt (%)				Thông số độ hạt		
				Cát	Bùn	Bột	Sét	Md (mm)	So	Sk
1	Cát (S)	20	Min	92,36	0,38	0,38	0,00	0,1130	1,09	0,86
			TB	97,26	2,74	2,74	0,00	0,1285	1,26	1,19
			Max	99,62	7,64	7,64	0,00	0,2773	1,52	1,59
2	Cát bột (zS)	5	Min	60,97	21,15	21,15	0,00	0,0691	1,48	0,40
			TB	71,33	35,41	35,41	0,00	0,0902	1,95	0,51
			Max	87,93	45,80	45,80	0,00	0,1102	2,30	0,60
3	Bột cát (sZ)	15	Min	11,56	52,05	52,05	0,00	0,0258	1,39	0,74
			TB	27,55	72,45	72,45	0,00	0,0362	1,64	1,27
			Max	47,95	88,44	88,44	0,00	0,0717	1,98	2,05
4	Bột (Z)	2	Min	0,31	90,99	90,99	0,00	0,0199	1,44	0,90
			TB	4,66	95,34	91,84	3,50	0,0241	1,48	1,04
			Max	9,01	99,69	92,69	7,00	0,0283	1,51	1,17

i) Trầm tích cát

Trầm tích cát phân bố ven bờ từ phía Tây Nam cửa sông Lạch Giang kéo dài đến phía Nam cửa sông Đáy, từ độ sâu 0 – 10 m nước với diện tích khá lớn. Khi đến gần cửa Đáy, trường trầm tích cát có dạng bao phía ngoài cửa sông. Ngoài ra, còn một diện nhỏ trường trầm tích cát ở giữa cửa Đáy và Cồn Nôi (cồn cát nổi phía Nam Tây Nam cửa Đáy). Thành phần độ hạt của trầm tích cát bao gồm: cát chiếm chủ yếu: 92,36 – 99,62%, trung bình: 97,26%; Bùn chiếm 0,38 – 7,64%, trung bình: 2,74%, trong đó bột chiếm hoàn toàn, không có sét. Kích thước hạt trung bình của trầm tích dao động trong khoảng từ 0,1130 mm đến 0,2773 mm, trung bình: 0,1285 mm, thuộc loại cát hạt rất mịn đến mịn. Trầm tích có độ chọn lọc tốt, So: 1,09 – 1,52. Hệ số độ nhon Sk từ 0,86 đến 1,59, trung bình 1,19, cho thấy cấp hạt lớn hơn giá trị Md chiếm đa số so với cấp hạt nhỏ hơn giá trị Md. Hình dạng phân bố của trường cát có thể nhận định rằng trầm tích được vận chuyển từ phía Đông Bắc xuống do dòng chảy ven bờ và phía Nam vào cửa sông do động lực sóng;

ii) Trầm tích cát bột

Trầm tích cát bột phân bố thành hai diện: ngay sát cửa sông và phía Tây Nam Cồn Nôi. Thành phần độ hạt bao gồm: cát chiếm chủ yếu: 60,97 – 87,93%, trung bình: 71,33%; Bùn chiếm 21,15 – 45,8%, trung bình: 35,41%, trong đó bột chiếm toàn bộ, không có cấp hạt sét. Kích thước hạt trung bình của trầm tích từ 0,0691 đến 0,1102 mm, trung bình: 0,0902 mm. Theo kích thước hạt trung bình, trầm tích tương đương với bột thô đến cát rất mịn. Trầm tích có độ chọn lọc tốt đến kém, giá trị So dao động trong khoảng 1,48 – 2,3, trung bình: 1,95 (chọn lọc trung bình). Hệ số độ nhon Sk từ 0,4 đến 0,6, trung bình 0,51, cho thấy cấp hạt lớn hơn giá trị Md chiếm tỷ lệ ít hơn cấp hạt nhỏ hơn giá trị Md. Từ vị trí phân bố của trường cát bột có thể nhận định về xu hướng vận chuyển trầm tích từ sông ra do dòng chảy sông và từ phía Nam về phía cửa sông do động lực sóng;

iii) Trầm tích bột cát

Trầm tích bột cát có diện phân bố khá lớn, chủ yếu ở phía Nam, Tây Nam và Tây cửa sông Đáy trong khoảng độ sâu từ 0 đến 6 m nước. Thành phần độ hạt bao gồm: cát: 11,56 –

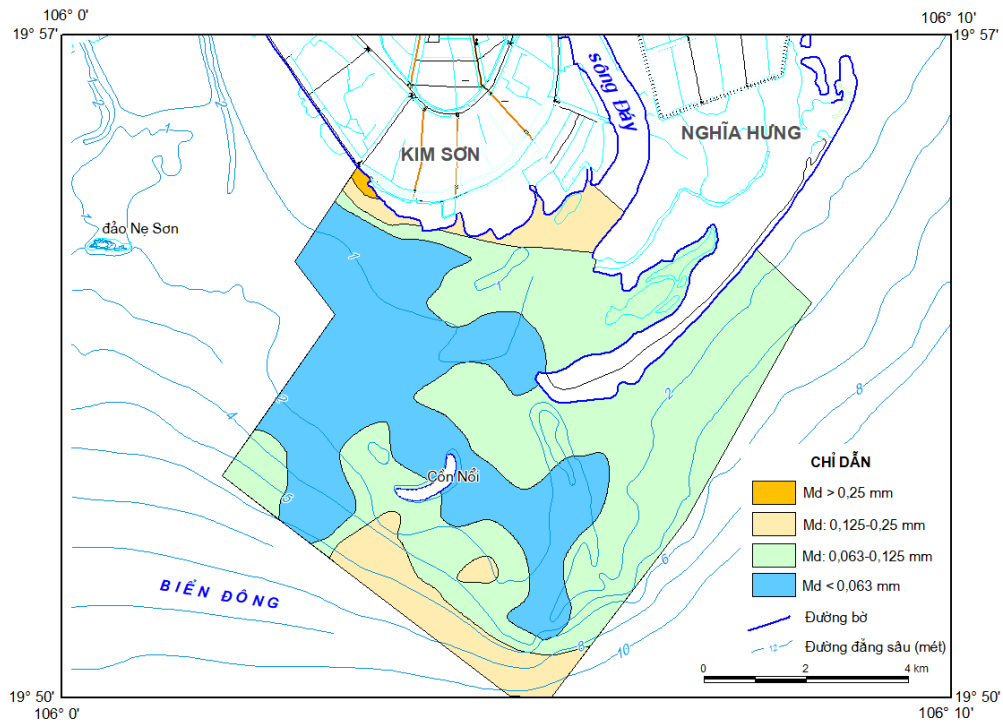
47,95%, trung bình: 27,55%; Bùn chiếm 52,05 – 88,44%, trung bình: 72,45%, trong đó bột chiếm toàn bộ, không có cấp hạt sét. Kích thước hạt trung bình của trầm tích từ 0,0258 đến 0,0717 mm, trung bình: 0,0362 mm. Theo kích thước hạt trung bình, trầm tích tương đương với bột hạt trung. Trầm tích có độ chọn lọc tốt – trung bình, So: 1,39 – 1,98, trung bình: 1,64 (chọn lọc trung bình). Hệ số độ nhon Sk từ 0,74 – 2,05, trung bình 1,27, cho thấy cấp hạt có kích thước lớn hơn giá trị Md chiếm nhiều hơn cấp hạt nhỏ hơn Md. Từ vị trí phân bố của trường bột cát có thể nhận định trường trầm tích này phân bố ở địa hình lòng cửa sông và khu vực vịnh cửa sông nơi có điều kiện thủy động lực yếu;

iv) Trầm tích bột

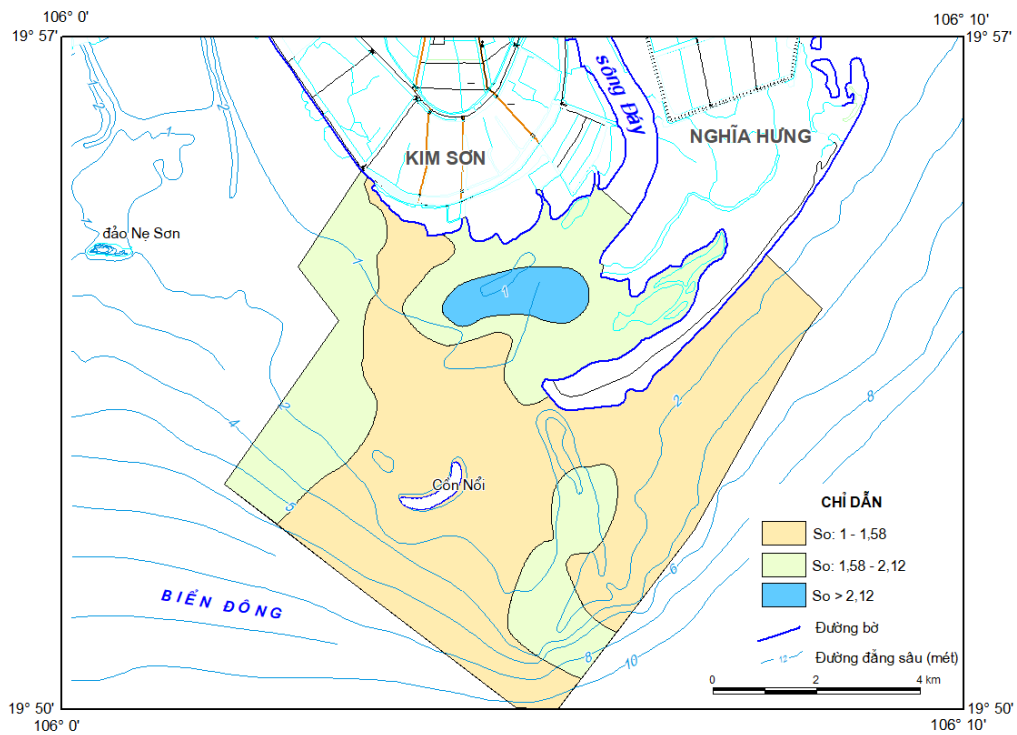
Trầm tích bột phân bố ở phía tây Cồn Nôi với diện tích rất hẹp. Thành phần độ hạt bao gồm: cát: 0,03 – 9,01%, trung bình: 4,66%; Bùn chiếm 90,99 – 99,69%, trung bình: 95,34%, trong đó bột chiếm chủ yếu: 90,99 – 92,69%, sét chiếm 0-7%. Kích thước hạt trung bình của trầm tích từ 0,0199 mm - 0,0283 mm, trung bình: 0,0241 mm, tương đương với bột hạt trung. Trầm tích có độ chọn lọc tốt, So: 1,44 – 1,51, trung bình: 1,48. Hệ số độ nhon Sk từ 0,9 đến 1,17, trung bình 1,04.

3.2. Phân bố giá trị các tham số độ hạt khu vực nghiên cứu

Kích thước hạt trung bình của trầm tích tầng mặt khu vực cửa Đáy dao động trong khoảng từ 0,0199 mm đến 0,2773 mm (Bảng 3). Sơ đồ phân bố kích thước hạt trung bình (Hình 4) cho thấy trầm tích có kích thước hạt trung bình lớn hơn 0,25 mm (tương ứng với cát hạt trung) phân bố ở gần bờ biển Tây Bắc khu vực nghiên cứu. Trầm tích có kích thước hạt trung bình từ 0,125 mm đến 0,15 mm (tương ứng với cát hạt mịn) phân bố ở ven bờ biển Kim Sơn và phía Nam khu vực nghiên cứu. Trầm tích có kích thước hạt trung bình từ 0,063 mm đến 0,125 mm và trầm tích có kích thước hạt trung bình nhỏ hơn 0,063 mm có diện phân bố rộng nhất (Hình 4). Hiện trạng phân bố hệ số kích thước hạt trung bình cho thấy trầm tích hạt thô nhất phân bố ở phía Bắc và phía Nam, mịn hơn phân bố ở phía Đông và mịn nhất phân bố ở phía Tây vùng nghiên cứu.



Hình 4. Sơ đồ phân bố giá trị kích thước hạt trung bình (Md).



Hình 5. Sơ đồ phân bố giá trị hệ số chọn lọc (So).

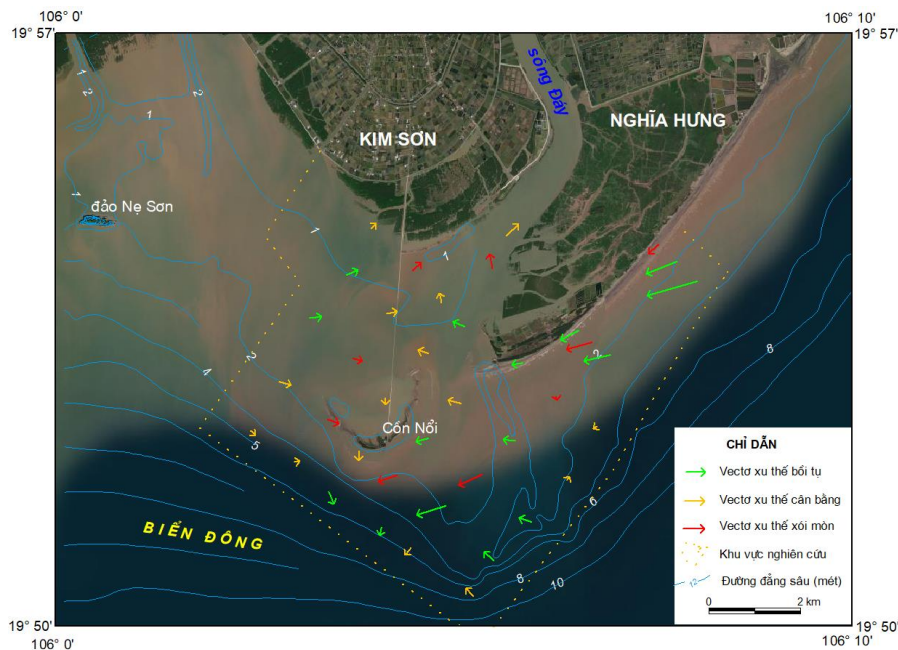
Hệ số chọn lọc (So) của trầm tích tầng mặt khu vực cửa Đáy dao động từ 1,09 đến 2,3. Trầm tích có độ chọn lọc tốt ($So < 1,58$) chiếm ưu thế, phân bố ở trung tâm và phía Đông dọc theo bờ biển tỉnh Nam Định. Các khu vực có độ chọn trung bình ($So: 1,58-2,12$) tập trung về phía Tây, phía Bắc và phía Nam khu vực nghiên cứu. Trầm tích có độ chọn lọc kém ($So > 2,12$) phân bố ngay cửa Đáy (Hình 5). Đặc điểm phân bố hệ số chọn lọc cho thấy điều kiện thủy động lực ở khu vực cửa Đáy khá ổn định, đặc biệt ở khu vực phía Đông và trung tâm. Thủy động lực kém ổn định hơn ở khu vực phía Tây, Đông Nam, kém ổn định nhất là khu vực ngay cửa sông Đáy.

3.3. Xu hướng vận chuyển trầm tích

Kết quả áp dụng phân tích xu hướng vận chuyển trầm tích của McLaren và Bowles (Hình 6) cho thấy trầm tích trong khu vực nghiên cứu vận chuyển theo các hướng chính như sau: i) Hướng Đông Bắc – Tây Nam, dọc bờ biển từ cửa Lạch Giang đến cửa Đáy; ii) Hướng Tây – Đông về phía trung tâm vùng nghiên cứu; và iii) Hướng Đông Nam – Tây Bắc về phía Cồn Nổi. Vùng nghiên cứu có xu hướng bồi tụ và cân

bằng trầm tích là chủ yếu. Trong các hướng vận chuyển trầm tích, hướng thứ nhất có cường độ vận chuyển mạnh nhất với xu hướng bồi tụ là chủ yếu, đây chính là nguyên nhân dẫn đến việc bồi tụ kéo dài “mũi nhô Nghĩa Hưng” về phía Tây Nam. Kết quả phân tích này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây [27]. Cả ba xu hướng vận chuyển trầm tích nêu trên cho thấy phần trung tâm vùng nghiên cứu có xu hướng tích tụ trầm tích, tương ứng với diện phân bố trầm tích mịn nhất – trầm tích bột cát gần khu vực Cồn Nổi. Nguồn trầm tích được vận chuyển tới gần khu vực Cồn Nổi được xác định từ các trường trầm tích thô hơn (cát, cát bột) phân bố ở phía Đông và Nam Cồn Nổi. Mặc dù ngay tại cửa sông Đáy có sự hiện diện của trầm tích cát bột nằm phía Bắc của trường trầm tích bột cát, tuy nhiên kết quả phân tích xu hướng vận chuyển trầm tích cho thấy không có sự vận chuyển trầm tích từ sông Đáy.

Như vậy, sự hội tụ của các hướng vận chuyển trầm tích về phía trung tâm cửa sông Đáy là nguyên nhân dẫn đến hình thành Cồn Nổi, bồi tụ kéo dài “mũi nhô Nghĩa Hưng” về phía Tây Nam và bồi tụ khu vực bãi triều giữa bờ biển Kim Sơn và Cồn Nổi.



Hình 6. Sơ đồ xu hướng vận chuyển trầm tích tầng mặt khu vực Cửa Đáy.

4. Kết luận

Nghiên cứu đặc điểm trầm tích tầng mặt và xu hướng vận chuyển trầm tích góp phần làm rõ cơ chế bồi tụ cửa sông Đáy. Vùng biển khu vực nghiên cứu có mặt 04 trường trầm tích tầng mặt, bao gồm trầm tích cát, cát bột, bột cát và bột. Trầm tích cát phân bố chủ yếu ở phía Đông và Nam khu vực nghiên cứu. Trầm tích cát bột phân bố ở khu vực cửa sông Đáy và phía Nam Cồn Nổi. Trầm tích bột cát phân bố chủ yếu ở khu vực phía Tây và trung tâm khu vực nghiên cứu. Trầm tích bột phân bố không đáng kể phía Tây Cồn Nổi.

Kích thước hạt trung bình của trầm tích dao động trong khoảng từ 0,0199 mm đến 0,2773 mm, trầm tích hạt thô nhất phân bố ở phía Bắc và phía Nam, mịn hơn ở phía Đông và mịn nhất ở phía Tây vùng nghiên cứu. Hệ số chọn lọc dao động từ 1,09 đến 2,3, trầm tích có độ chọn lọc tốt chiếm ưu thế, phân bố ở trung tâm và phía Đông cho thấy chế độ thủy động lực tương đối ổn định ở khu vực này. Trầm tích có độ chọn trung bình phân bố ở phía Tây, phía Bắc và phía Nam phản ánh chế độ thủy động lực yếu hơn. Trầm tích có độ chọn lọc kém phân bố ngay cửa Đáy thể hiện chế độ thủy động lực phức tạp nhất ở đây.

Trầm tích có xu hướng vận chuyển hội tụ về trung tâm cửa Đáy từ các hướng: Đông Bắc – Tây Nam, dọc bờ biển từ cửa Lạch Giang đến cửa Đáy với cường độ mạnh nhất; Tây – Đông về phía trung tâm vùng nghiên cứu; Đông Nam – Tây Bắc về phía Cồn Nổi là nguyên nhân dẫn đến hình thành Cồn Nổi, bồi tụ kéo dài “mũi nhô Nghĩa Hưng” về phía tây nam và bồi tụ khu vực bãi triều giữa bờ biển Kim Sơn và Cồn Nổi.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2023 - 2025: "Nghiên cứu, đánh giá diễn biến vùng ven biển cửa sông Đáy và đề xuất giải pháp chỉnh trị". Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ này.

Tài liệu tham khảo

- [1] S. Gao, M. B. Collins, J. Lanckneus, G. D. Moor, V. V. Lancker, Grain Size Trends Associated with Net Sediment Transport Patterns: An Example from the Belgian Continental Shelf, *Marine Geology*, Vol. 121, No. 3-4, 1994, pp. 171-185, [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0025-3227(94)90029-9).
- [2] J. Liang, J. Liu, G. Xu, B. Chen, Grain-Size Characteristics and Net Transport Patterns of Surficial Sediments in the Zhejiang Nearshore Area, East China Sea, *Oceanologia*, Vol. 62, No. 1, 2020, pp. 12-22, <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2019.06.002>.
- [3] M. D. Dong, E. Poizot, D. H. Cuong, L. D. Anh, D. Q. Hung, T. T. T. Huong, N. V. Diep, N. B. Huong, Transport Trend of Recent Sediment Within the Nearshore Seabed of Hai Hau, Nam Dinh Province, Southwest Red River Delta, *Quaternary Science, Geomorphology and Paleoenvironment*, Vol. 11, 2023, <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1099730>.
- [4] D. M. Duc, T. T. Tung, P. M. Laren, T. N. Anh, D. T. Quynh, Sediment Transport Trends and Cross-Sectional Stability of A Lagoonal Tidal Inlet on the Central Coast of Vietnam, *International Journal of Sediment Research*, Vol. 34, No. 4, 2019, pp. 322-334, <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2019.01.001>.
- [5] M. Duman, M. Avcı, S. Duman, E. Demirkurt, M. K. Duzbastular, Surficial Sediment Distribution and Net Sediment Transport Pattern in Izmir Bay, Western Turkey, *Continental Shelf Research*, Vol. 24, 2004, pp. 956-981, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.03.001>.
- [6] E. Talas, M. Duman, Comparison of Grain Size Trend Analysis and Multi-Index Pollution Assessment of Marine Sediments of the Gülbahçe Bay, Aegean Sea, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, Vol. 10, No. 2, 2023, pp. 159-179, <https://doi.org/10.30897/ijgeo.1292129>.
- [7] H. Wang, Y. Wu, X. Wan, L. Xia, S. Wang, Grain Size Characteristics of Surface Sediments and Their Migration Trends in the Nearshore Waters of East Guangdong, *Sustainability*, Vol. 15, 2023, <https://doi.org/10.3390/su151411069>.
- [8] P. McLauren, An Interpretation of Trends in Grain Size Measures, *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 51, No. 2, 1981, pp. 611-624, <https://doi.org/10.1306/212F7CF2-2B24-11D7-8648000102C1865D>.

- [9] P. M. Laren, R. P. Beveridge, Sediment Trend Analysis of the Hylebos Waterway: Implications for Liability Allocations, *Integrated Environmental Assessment and Management*, Vol. 2, No. 3, pp. 262-272.
- [10] J. P. L. Roux, E. M. Rojas, Sediment Transport Patterns Determined from Grain Size Parameters: Overview and State of the Art, *Sedimentary Geology*, Vol. 202, 3, 2007, pp. 473-488, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.03.014>.
- [11] E. Poizot, Y. Méar, L. Biscara, Sediment Trend Analysis Through The Variation of Granulometric Parameters: A Review of Theories and Applications, *Earth-Science Reviews*, Vol. 86, No. 1-4, 2008, pp. 15-41, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.07.004>.
- [12] P. M. Laren, Sediment Trend Analysis (STA®): Kinematic vs. Dynamic Modeling, *Journal of Coastal Research*, Vol. 30, No. 3, 2014, pp. 429-437, <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00121.1>.
- [13] S. A. Hughes, Use of Sediment Trend Analysis (STA) for Coastal Projects ERDC/CHL Chetn-VI-40, Vicksburg, MS: US Army Corps of Engineers, Vol. 17, 2005.
- [14] J. P. L. Roux, R. D. O'Brien, F. Rios, M. Cisternas, Analysis of Sediment Transport Paths Using Grain-Size Parameters, *Computers & Geosciences*, Vol. 28, No. 5, 2002, pp. 717-721, [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(01\)00074-7](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(01)00074-7).
- [15] E. Talas, M. Duman, Comparison of Grain Size Trend Analysis and Multi-Index Pollution Assessment of Marine Sediments of the Gülbahçe Bay, Aegean Sea, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, Vol. 10, No. 2, 2023, pp. 159-179, <https://doi.org/10.30897/ijgeo.1292129>.
- [16] P. McLaren, R. P. Beveridge, Sediment Trend Analysis of the Hylebos Waterway: Implications for Liability Allocations, *Integrated Environmental Assessment and Management*, Vol. 2, No. 3, 2009, pp. 262-272, <https://doi.org/10.1002/ieam.5630020306>.
- [17] E. Poizot, Y. Méar, Using a GIS to Enhance Grain Size Trend Analysis, *Environmental Modelling & Software*, Vol. 25, No. 4, 2010, pp. 513-525, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.10.002>.
- [18] R. Pedreros, H. L. Howa, D. Michel, Application of Grain Size Trend Analysis for the Determination of Sediment Transport Pathways in Intertidal Areas, *Marine Geology*, Vol. 135, No. 1-4, 1996, pp. 35-49, [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(96\)00042-4](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(96)00042-4).
- [19] V. D. Vinh, N. M. Hai, Coastal Zones of the Red River Delta and Yangtze River Delta, Vietnam *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 19, 2019, pp. 449-461, <https://doi.org/10.15625/1859-3097/19/4/12651>.
- [20] C. K. Wentworth, A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, *The Journal of Geology*, Vol. 30, No. 5, 1922, pp. 377-392.
- [21] P. D. Trask, *Origin and Environment of Source Sediments*, Gulf Publishing Co, Houston, Vol. 2, 1933, pp. 24-30.
- [22] R. L. Folk, The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature, *J. Geol.*, Vol. 62, 1954, pp. 344-359.
- [23] P. McLaren, D. Bowles, The Effects of Sediment Transport on Grain-Size Distributions, *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 55, No. 4, 1985, pp. 457-470, <https://doi.org/10.1306/212F86FC-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- [24] S. Gao, M. Collins, Net Sediment Transport Patterns Inferred from Grain-Size Trends, Based Upon Definition of Transport Vectors, *Sedimentary Geology*, Vol. 81, No. 1-2, 1992, pp. 47-60, [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90055-V](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90055-V).
- [25] D. M. Duc, T. Nghi, M. T. Nhuan, D. M. Tien, The Method for Determining Sediment Transport Trends Is Based on the Results of Grain Size Analysis, *Geology Journal*, Vol. 5-6, 2003 (in Vietnamese).
- [26] R. L. Folk, W. C. Ward, Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters, *J. Sediment, Petrol*, Vol. 27, 1957, pp. 3-26.
- [27] V. V. Lam, N. H. Lam, Application Mike 21 Model to Calculate Sediment Transport Along the Beach of Nam Dinh Province, *Journal of Science on Natural Resources and Environment*, Vol. 36, 2021, pp. 46-56 (in Vietnamese).