

TÀI NGUYÊN CÁT ĐỘNG HƯỚNG TIẾP CẬN MỚI TRONG QUẢN LÝ KHAI THÁC CÁT LÒNG SÔNG TRÊN HỆ THỐNG SÔNG GIANH - NHẬT LỆ

NGUYỄN VĂN CANH; PHẠM PHƯỚC TOÀN;
NGUYỄN THỊ THỦY; ĐẶNG KIM HÒA; HOÀNG HOA THÁM;
NGUYỄN QUANG VIỆT; ĐỖ QUANG THIÊN

Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

1. Đặt vấn đề

Vật liệu cát lòng sông (CLS) là nguồn vật liệu xây dựng thiết yếu đối với phát triển hạ tầng giao thông, đô thị, công nghiệp và các công trình dân dụng. Trong bối cảnh quá trình đô thị hóa và đầu tư xây dựng diễn ra mạnh mẽ, nhu cầu sử dụng cát xây dựng (CXĐ) ở Việt Nam nói chung và khu vực Bắc Trung Bộ nói

riêng không ngừng gia tăng. Trong khi đó, nguồn vật liệu thay thế vẫn chưa đáp ứng đầy đủ yêu cầu về khối lượng và chất lượng, khiến CLS tiếp tục giữ vai trò là nguồn cung chủ yếu cho ngành xây dựng (UNEP, 2019).

Sự gia tăng nhanh nhu cầu khai thác đã tạo ra nhiều áp lực đối với hệ thống sông. Tại nhiều lưu vực, hoạt động khai thác (HĐKT) vượt quá



Hình 1. Chuỗi đổi mới trong quản lý tài nguyên cát lòng sông



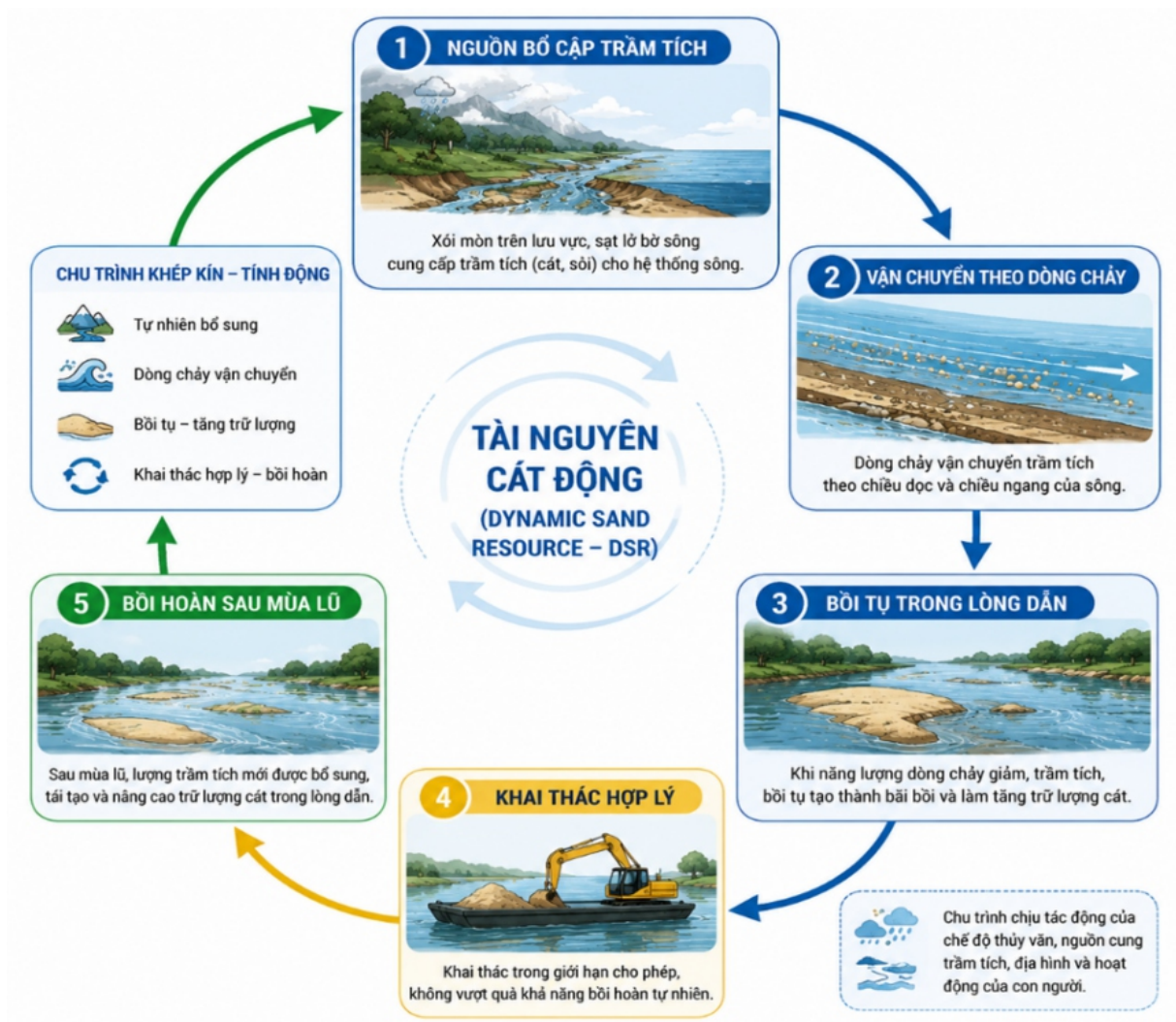
Hình 2. Từ khai thác cát truyền thống đến yêu cầu đổi mới phương thức quản lý

khả năng bồi hoàn tự nhiên đã làm thay đổi chế độ vận chuyển bùn cát, gây hạ thấp đáy sông, gia tăng xói lở bờ, ảnh hưởng đến ổn định công trình ven sông, sản xuất nông nghiệp và sinh kế của cộng đồng. Những tác động này không chỉ xảy ra tại Việt Nam mà còn được ghi nhận ở nhiều quốc gia trên thế giới, nơi khai thác cát đã trở thành một trong những nguyên nhân làm suy giảm cân bằng địa mạo của hệ thống sông (Kondolf, 1997; UNEP, 2019).

Trên hệ thống sông Gianh - Nhật Lệ, qua nhiều năm nghiên cứu của nhóm tác giả đã chỉ

ra rằng, diễn biến xói lở - bồi lắng chịu tác động tổng hợp của chế độ thủy văn, nguồn cung trầm tích từ thượng lưu, hình thái lòng dẫn và các hoạt động khai thác (HĐKT) cát, sỏi (Đỗ Quang Thiên, 2013; Do, 2018). Điều này cho thấy, CLS không phải là nguồn tài nguyên bất biến mà luôn biến đổi theo không gian và thời gian dưới tác động của các quá trình địa mạo - thủy văn.

Tuy nhiên, công tác điều tra, quy hoạch và cấp phép khai thác (CPKT) hiện nay vẫn chủ yếu dựa trên trữ lượng địa chất (tài nguyên tĩnh)



Hình 3. Chu trình hình thành và bồi hoàn của tài nguyên cát động

được xác định tại thời điểm khảo sát. Cách tiếp cận này chưa phản ánh đầy đủ quá trình bồi sung, vận chuyển và bồi hoàn trầm tích sau các mùa lũ, do đó khó đánh giá chính xác khả năng phục hồi của nguồn tài nguyên cũng như xác định quy mô khai thác phù hợp trong từng giai đoạn. Khi điều kiện thủy văn hoặc nguồn cung trầm tích thay đổi, các kết quả đánh giá theo phương pháp truyền thống nhanh chóng trở nên lạc hậu và làm giảm hiệu quả quản lý.

Xuất phát từ yêu cầu đổi mới tư duy quản lý tài nguyên (QLTN), nghiên cứu này đề xuất chuyển từ cách tiếp cận quản lý theo trữ lượng tĩnh sang quản lý theo khả năng bồi hoàn tự nhiên của hệ thống sông. Đây là nền tảng để hình thành khái niệm tài nguyên cát động (DSR - Dynamic Sand Resource) và phát triển các công cụ đánh giá, hỗ trợ ra quyết định dựa trên năng lực bồi hoàn của từng đoạn sông, góp phần khai thác hợp lý, bảo vệ lòng dẫn và nâng cao hiệu quả QLTN cát, sỏi trong bối cảnh biến đổi khí hậu và chuyển đổi số (Hình 2).

2. Tài nguyên cát động - Quan điểm mới trong đánh giá tài nguyên cát

Trong nhiều năm qua, công tác điều tra và quản lý CLS ở Việt Nam chủ yếu được thực hiện theo quan điểm tài nguyên tĩnh, nghĩa là trữ lượng cát được xác định tại một thời điểm khảo sát và được xem là cơ sở cho quy hoạch, CPKT. Cách tiếp cận này phù hợp với nhiều loại khoáng sản rắn nhưng chưa phản ánh đầy đủ đặc điểm của CLS, một loại tài nguyên luôn biến đổi dưới tác động của dòng chảy, vận chuyển bùn cát và quá trình bồi tụ theo thời gian (Hình 3, Bảng 1).

Từ kết quả nghiên cứu trên hệ thống sông Gianh - Nhật Lệ, nhóm nghiên cứu đề xuất khái niệm tài nguyên cát động (DSR). Theo đó, tài nguyên cát động được hiểu là khối lượng cát, sỏi tồn tại trong lòng dẫn có khả năng được bồi sung, vận chuyển, bồi tụ và bồi hoàn tự nhiên theo các chu kỳ thủy văn và diễn biến địa mạo của hệ thống sông. Khác với tài nguyên tĩnh, DSR không chỉ phản ánh lượng vật liệu hiện có

mà còn phản ánh khả năng tái tạo tự nhiên của nguồn tài nguyên dưới tác động của nguồn cung trầm tích, chế độ dòng chảy và điều kiện hình thái lòng dẫn.

Bản chất của tài nguyên cát động là sự cân bằng động giữa 4 quá trình liên tục gồm bồi cấp trầm tích từ thượng lưu, vận chuyển bồi dòng chảy, bồi tụ tại các khu vực có điều kiện thủy động lực thuận lợi và khai thác của con người. Khi HĐKT được kiểm soát trong giới hạn năng lực bồi hoàn tự nhiên, lượng vật liệu mất đi có thể được bồi sung dần qua các mùa lũ, góp phần duy trì trạng thái ổn định của lòng dẫn. Ngược lại, nếu cường độ khai thác vượt quá khả năng bồi hoàn, cân bằng bùn cát sẽ bị phá vỡ, làm gia tăng xói lở, hạ thấp đáy sông và suy giảm nguồn tài nguyên trong thời gian dài (Kondolf, 1997; Church, 2006).

Trong chu trình này, mùa lũ giữ vai trò quyết định đối với quá trình bồi hoàn tự nhiên. Đây là thời kỳ nguồn cung trầm tích từ lưu vực đạt giá trị lớn nhất, năng lượng dòng chảy đủ khả năng vận chuyển và tái phân bố vật liệu trên toàn hệ thống sông. Sau mỗi mùa lũ, nhiều đoạn sông hình thành các bãi bồi mới hoặc được bồi sung đáng kể lượng cát, sỏi trong lòng dẫn. Tuy nhiên, mức độ bồi hoàn không đồng đều giữa các đoạn sông mà phụ thuộc vào điều kiện địa mạo, chế độ thủy văn, nguồn cung trầm tích và mức độ ổn định của lòng dẫn. Chính sự khác biệt này đặt ra yêu cầu phải đánh giá năng lực bồi hoàn của từng đoạn sông thay vì áp dụng một ngưỡng khai thác chung cho toàn lưu vực.

Quan điểm tài nguyên cát động không phủ nhận giá trị của phương pháp đánh giá trữ lượng truyền thống mà mở rộng cách tiếp cận từ “đánh giá khối lượng hiện có” sang “đánh giá khả năng tái tạo của hệ thống sông”. Đây là cơ sở khoa học để phát triển chỉ số năng lực bồi hoàn tự nhiên của hệ thống sông (SRCI) và các công cụ quản lý khai thác theo hướng thích ứng, bảo đảm hài hòa giữa nhu cầu sử dụng tài nguyên với yêu cầu bảo vệ lòng dẫn và phát triển bền vững.

Bảng 1. So sánh giữa quản lý theo tài nguyên tĩnh và quản lý theo tài nguyên cát động

TT	Tiêu chí	Quản lý theo tài nguyên tĩnh	Quản lý theo tài nguyên cát động
1	Quan điểm đánh giá	Trữ lượng tại thời điểm khảo sát	Năng lực bồi hoàn tự nhiên của hệ thống sông
2	Đối tượng quản lý	Khối lượng cát hiện có	Chu trình bồi cập - vận chuyển - bồi tụ - bồi hoàn
3	Cơ sở cấp phép	Trữ lượng địa chất	Khả năng bồi hoàn và chỉ số SRCI
4	Cập nhật dữ liệu	Theo chu kỳ điều tra	Sau các mùa lũ hoặc khi điều kiện thủy văn thay đổi
5	Mục tiêu quản lý	Khai thác theo trữ lượng	Khai thác gắn với duy trì cân bằng bùn cát và ổn định lòng dẫn
6	Khả năng thích ứng	Hạn chế	Cao, phù hợp với biến đổi khí hậu và chuyển đổi số

Tóm lại: CLS không phải là một “kho vật liệu cố định” mà là một nguồn tài nguyên động, có khả năng bồi hoàn tự nhiên nếu HĐKT được quản lý trong giới hạn năng lực phục hồi của hệ thống sông. Chính vì vậy, quản lý hiện đại cần chuyển từ “quản lý theo trữ lượng” sang “quản lý theo năng lực bồi hoàn”.

3. Những kết quả nổi bật của nghiên cứu trên hệ thống sông Gianh - Nhật Lệ

3.1. Điều tra hiện trạng tài nguyên CLS

Nhóm nghiên cứu đã tiến hành điều tra tổng hợp trên hệ thống sông Gianh và Nhật Lệ bằng nhiều phương pháp kết hợp, bao gồm khảo sát thực địa, đo đạc địa hình lòng dẫn, thu thập mẫu trầm tích, phân tích ảnh viễn thám đa thời gian, xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL) GIS và tổng hợp các số liệu thủy văn, địa mạo. Kết quả cho thấy nguồn tài nguyên cát, sỏi phân bố không đồng đều theo chiều dài sông mà biến đổi rõ rệt theo đặc điểm hình thái lòng dẫn, chế độ dòng chảy và nguồn cung trầm tích từ lưu vực.

Tại các đoạn trung lưu và một số khu vực hạ lưu có điều kiện thủy động lực thuận lợi, quá trình bồi tụ diễn ra tương đối mạnh, tạo nên các bãi bồi và vùng tích tụ cát, sỏi có quy mô đáng kể. Ngược lại, một số đoạn chịu tác động đồng

thời của khai thác cát và xói lở tự nhiên có xu hướng suy giảm nguồn vật liệu đáy, làm gia tăng nguy cơ mất ổn định lòng dẫn. Kết quả điều tra cũng cho thấy sự khác biệt rõ rệt về khả năng phục hồi giữa các đoạn sông, khẳng định rằng không thể áp dụng một ngưỡng khai thác thống nhất cho toàn bộ hệ thống sông.

3.2. Mô hình MIKE làm rõ cơ chế vận chuyển bùn cát và biến động lòng dẫn

Để làm rõ quy luật vận chuyển trầm tích và diễn biến hình thái lòng dẫn, nghiên cứu đã ứng dụng mô hình thủy động lực và vận chuyển bùn cát MIKE kết hợp với dữ liệu khảo sát thực địa và GIS. Kết quả mô phỏng cho thấy quá trình vận chuyển cát, sỏi chịu sự chi phối của chế độ dòng chảy mùa lũ, điều kiện địa hình lòng dẫn và nguồn cung trầm tích từ thượng lưu.

Mô hình MIKE đã nhận diện được các khu vực ưu thế bồi tụ, các đoạn có xu hướng xói lở và hướng dịch chuyển của vật liệu đáy sau các trận lũ lớn. Đặc biệt, kết quả mô phỏng cho thấy nhiều đoạn sông sau mùa lũ đã được bổ sung một lượng đáng kể vật liệu trầm tích, trong khi một số đoạn khác tiếp tục có xu hướng thiếu hụt nguồn cung do điều kiện thủy động lực không thuận lợi hoặc chịu tác động mạnh của khai thác. Những kết quả này là cơ sở quan trọng để

đánh giá khả năng bồi hoàn tự nhiên của từng đoạn sông thay vì chỉ dựa trên khối lượng cát hiện có tại thời điểm khảo sát.

3.3. Khả năng bồi hoàn tự nhiên của hệ thống sông

Một trong những kết quả nổi bật của nghiên cứu là chứng minh được rằng CLS có khả năng bồi hoàn tự nhiên thông qua quá trình vận chuyển và bồi tụ trầm tích sau các mùa lũ. Tuy nhiên, mức độ bồi hoàn không giống nhau giữa các đoạn sông mà phụ thuộc vào sự tương tác giữa nguồn cung trầm tích, năng lực vận chuyển của dòng chảy, điều kiện tích tụ và mức độ ổn định của lòng dẫn.

Kết quả phân tích cho thấy, các đoạn có nguồn cung trầm tích dồi dào và điều kiện tích tụ thuận lợi thường có khả năng bồi hoàn cao hơn, trong khi các đoạn bị chia cắt nguồn cung hoặc chịu tác động mạnh của xói lở có tốc độ phục hồi chậm hơn. Điều này khẳng định rằng, việc xác định hạn mức khai thác cần dựa trên năng lực bồi hoàn của từng đoạn sông, thay vì áp dụng chung cho toàn lưu vực.

3.4. Chỉ số SRCI và phân vùng tài nguyên cát động

Trên cơ sở tích hợp 4 hợp phần gồm nguồn cung trầm tích (SS), năng lực vận chuyển dòng chảy (FC), khả năng tích tụ trầm tích (DA) và mức độ ổn định hình thái lòng dẫn (MS), nghiên cứu đã xây dựng chỉ số năng lực bồi hoàn tự

nhiên của hệ thống sông (SRCI). Đây là công cụ định lượng đầu tiên cho phép đánh giá tổng hợp khả năng bồi hoàn của tài nguyên cát, sỏi trên từng đoạn sông.

Kết quả tính toán SRCI đã được sử dụng để xây dựng bản đồ phân vùng tài nguyên cát động trên hệ thống sông Gianh - Nhật Lệ, phân biệt các khu vực có năng lực bồi hoàn cao, trung bình và thấp. Việc phân vùng này không chỉ phản ánh đặc điểm địa mạo - thủy văn của từng đoạn sông mà còn tạo cơ sở khoa học cho việc lựa chọn khu vực ưu tiên khai thác, khu vực cần kiểm soát hoặc hạn chế khai thác và khu vực cần bảo vệ nhằm duy trì cân bằng bùn cát.

So với phương pháp đánh giá trữ lượng truyền thống, SRCI cung cấp cách tiếp cận toàn diện hơn khi kết hợp đồng thời các yếu tố địa mạo, thủy văn và động lực vận chuyển trầm tích. Đây là nền tảng quan trọng để phát triển các công cụ quản lý hiện đại như DEQ và SRCI-DSS, hướng tới quản lý khai thác cát theo năng lực bồi hoàn tự nhiên và thích ứng với sự biến đổi của hệ thống sông.

Nhìn chung: Nhiệm vụ không chỉ đánh giá hiện trạng tài nguyên cát mà còn lượng hóa được năng lực bồi hoàn tự nhiên của từng đoạn sông, xây dựng chỉ số SRCI và phân vùng tài nguyên cát động. Đây là nền tảng khoa học cho việc đổi mới phương thức quản lý, từ quản lý theo trữ lượng tĩnh sang quản lý theo khả năng

Bảng 2. Một số kết quả nổi bật của nghiên cứu

TT	Nội dung	Kết quả nổi bật	Ý nghĩa
1	Điều tra thực địa	Xác định sự khác biệt về phân bố cát, sỏi theo từng đoạn sông	Cơ sở xây dựng CSDL DSR
2	Mô hình MIKE	Làm rõ quy luật vận chuyển, bồi tụ và xói lở	Định lượng quá trình bồi hoàn
3	Khả năng bồi hoàn	Xác định sự khác biệt giữa các đoạn sông sau mùa lũ	Cơ sở quản lý theo năng lực bồi hoàn
4	Chỉ số SRCI	Phân vùng tài nguyên cát động thành các mức khác nhau	Hỗ trợ quy hoạch và CPKT
5	Định hướng quản lý	Đề xuất chuỗi DSR → SRCI → DEQ → SRCI-DSS	Chuyển từ quản lý theo trữ lượng tĩnh sang quản lý thích ứng

phục hồi của hệ thống sông, tạo tiền đề để giới thiệu mô hình quản lý tích hợp.

4. Đề xuất mô hình quản lý tài nguyên cát động

Kết quả nghiên cứu trên hệ thống sông Gianh - Nhật Lệ cho thấy, quản lý tài nguyên cát, sỏi theo phương pháp truyền thống, dựa chủ yếu vào trữ lượng địa chất và điều tra định kỳ, khó đáp ứng yêu cầu quản lý trong bối cảnh nguồn tài nguyên luôn biến động theo diễn biến thủy văn và địa mạo. Để nâng cao hiệu quả quản lý, nhiệm vụ đề xuất mô hình quản lý tài nguyên cát động theo hướng tích hợp công nghệ số, kết hợp giữa điều tra hiện trường, mô hình hóa, viễn thám và hệ thống hỗ trợ ra quyết định (Hình 4).

Nền tảng của mô hình là CSDL số hệ thống sông (DRD - Digital River Database), nơi lưu trữ tập trung toàn bộ thông tin về địa hình lòng dẫn, đặc điểm địa mạo, thủy văn, trầm tích, hiện trạng khai thác, kết quả quan trắc và các dữ liệu viễn thám. Việc xây dựng CSDL thống nhất không chỉ tạo điều kiện cập nhật thông tin theo thời gian thực mà còn bảo đảm tính đồng bộ giữa các cơ quan quản lý, phục vụ hiệu quả công tác quy hoạch và CPKT.

Trên CSDL này, mô hình MIKE được sử dụng để mô phỏng chế độ dòng chảy, vận chuyển bùn cát và dự báo xu thế bồi tụ, xói lở trong các điều kiện thủy văn khác nhau. Đồng thời, công nghệ GIS và ảnh viễn thám hỗ trợ quản lý không gian, theo dõi biến động lòng dẫn và cập nhật hiện trạng khai thác trên toàn lưu vực. Đối với các khu vực có diễn biến nhanh, thiết bị bay không người lái (UAV) cho phép thu nhận dữ liệu địa hình có độ phân giải cao, giúp kiểm tra hiện trạng khai thác và biến động địa hình sau các trận lũ với độ chính xác và tính kịp thời cao.

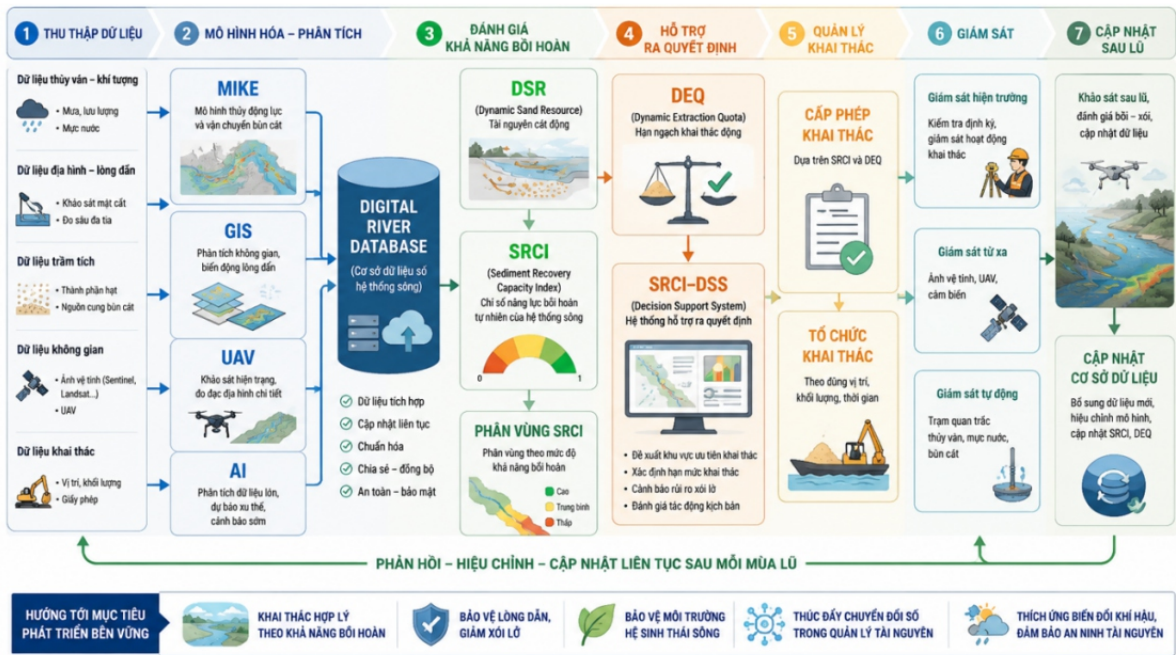
Từ các nguồn dữ liệu trên, chỉ số năng lực bồi hoàn tự nhiên của hệ thống sông (SRCI) được tính toán và cập nhật định kỳ nhằm phản ánh khả năng phục hồi của từng đoạn sông. Đây là thông tin đầu vào quan trọng để xác định khu vực ưu tiên khai thác, khu vực cần kiểm soát hoặc hạn chế khai thác, đồng thời hỗ trợ xây

dựng hạn ngạch khai thác động (DEQ) phù hợp với năng lực bồi hoàn của từng đoạn sông. Cách tiếp cận này giúp việc CPKT không còn dựa hoàn toàn vào trữ lượng hiện có mà chuyển sang đánh giá tổng hợp cả khả năng tái tạo của nguồn tài nguyên.

Trong xu hướng chuyển đổi số, nghiên cứu cũng định hướng tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) vào quá trình quản lý nhằm tự động phân tích dữ liệu quan trắc, nhận diện xu thế biến động lòng dẫn, cảnh báo sớm nguy cơ suy giảm nguồn cát và hỗ trợ cập nhật chỉ số SRCI sau mỗi mùa lũ. Khi kết hợp với CSDL số và các mô hình mô phỏng, AI sẽ góp phần hình thành hệ thống hỗ trợ ra quyết định SRCI-DSS, cho phép cơ quan quản lý đánh giá nhanh hiện trạng tài nguyên, lựa chọn phương án cấp phép phù hợp và theo dõi hiệu quả khai thác theo thời gian.

Điểm nổi bật của mô hình quản lý được đề xuất là quản lý theo chu trình động, trong đó dữ liệu được cập nhật liên tục sau các mùa lũ thay vì chỉ điều tra theo chu kỳ nhiều năm như trước đây. Thông tin về địa hình lòng dẫn, nguồn cung trầm tích, kết quả mô hình MIKE và giá trị SRCI được bổ sung định kỳ vào CSDL, tạo nên một quy trình quản lý khép kín từ điều tra, đánh giá, cấp phép đến giám sát và điều chỉnh hoạt động khai thác. Mô hình này không chỉ phù hợp với điều kiện của hệ thống sông Gianh - Nhật Lệ mà còn có khả năng mở rộng áp dụng cho các lưu vực sông khác ở miền Trung, góp phần hiện thực hóa mục tiêu quản lý tài nguyên cát theo hướng số hóa, thích ứng với biến đổi khí hậu và phát triển bền vững.

Nếu nhiều nghiên cứu trước đây chỉ dừng ở việc đánh giá trữ lượng hoặc mô phỏng diễn biến lòng dẫn, thì nghiên cứu này tiến thêm một bước khi chuyển hóa kết quả khoa học thành mô hình quản lý tích hợp, kết nối DRD - MIKE - GIS - UAV - AI - DSR - SRCI - DEQ - SRCI-DSS trong một quy trình thống nhất, tạo nền tảng bước đầu cho QLTN cát động theo thời gian thực và hỗ trợ ra quyết định dựa trên bằng chứng khoa học. Đây cũng là thông điệp chính mà bài viết muốn truyền tải đến các nhà quản lý,



DSR: Dynamic Sand Resource – Tài nguyên cát động; SRCI: Sediment Recovery Capacity Index – Chỉ số năng lực bồi hoàn tự nhiên của hệ thống sông; DEQ: Dynamic Extraction Quota – Hạn ngạch khai thác động; DSS: Decision Support System – Hệ thống hỗ trợ ra quyết định.

Hình 4. Mô hình quản lý tài nguyên cát động tích hợp công nghệ số

doanh nghiệp và cộng đồng khoa học.

5. Kết luận

Nghiên cứu trên hệ thống sông Gianh - Nhật Lệ cho thấy CLS là một dạng tài nguyên động, luôn biến đổi dưới tác động của các quá trình địa mạo, thủy văn và vận chuyển trầm tích. Vì vậy, việc đánh giá và quản lý nguồn tài nguyên này cần được tiếp cận theo khả năng bổ sung và bồi hoàn tự nhiên thay vì chỉ dựa trên trữ lượng địa chất tại một thời điểm.

Kết quả nghiên cứu khẳng định mùa lũ giữ vai trò quyết định đối với quá trình bồi hoàn và tái tạo tài nguyên cát, thông qua việc bổ sung, vận chuyển và tái phân bố trầm tích trong hệ thống sông. Tuy nhiên, năng lực bồi hoàn không đồng đều giữa các đoạn sông mà phụ thuộc vào nguồn cung trầm tích, điều kiện thủy động lực và đặc điểm hình thái lòng dẫn.

Việc tích hợp mô hình MIKE, công nghệ GIS, điều tra thực địa và chỉ số năng lực bồi hoàn tự nhiên của hệ thống sông (SRCI) đã tạo

ra một phương pháp tiếp cận mới, cho phép lượng hóa khả năng bồi hoàn, phân vùng tài nguyên cát động và hỗ trợ xác định hạn mức khai thác phù hợp với điều kiện tự nhiên của từng đoạn sông. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất bước đầu chuyển từ quản lý theo trữ lượng tĩnh sang quản lý theo tài nguyên cát động, kết hợp DRD, MIKE, GIS, UAV, AI, SRCI, DEQ và hệ thống hỗ trợ ra quyết định SRCI-DSS nhằm nâng cao hiệu quả quy hoạch, cấp phép và giám sát khai thác theo hướng số hóa, thích ứng với biến đổi khí hậu.

Mặc dù được xây dựng từ nghiên cứu điển hình trên hệ thống sông Gianh - Nhật Lệ, phương pháp tiếp cận và mô hình quản lý được đề xuất có thể tham khảo, điều chỉnh và áp dụng cho nhiều lưu vực sông khác ở miền Trung. Đây là cơ sở khoa học quan trọng góp phần đổi mới tư duy QLTN cát, hướng tới khai thác hợp lý, bảo vệ lòng dân và phát triển bền vững ■

(Xem tiếp trang 59)

Tài liệu tham khảo:

1. Bộ Khoa học và Công nghệ (2025), *Báo cáo tổng kết nhiệm vụ KH&CN: Nghiên cứu xây dựng quy trình kỹ thuật sản xuất giống và nuôi thương phẩm cá Chêm (*Lates calcarifer*) thích ứng với điều kiện khí hậu tỉnh Quảng Bình (nay là tỉnh Quảng Trị)*, Trung tâm Giống Nông nghiệp tỉnh Quảng Trị.
2. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2021), *Báo cáo hiện trạng nuôi trồng thủy sản Việt Nam*, Hà Nội.
3. Tổng cục Thủy sản (2020), *Hướng dẫn thực hành nuôi tốt (VietGAP) đối với nuôi trồng thủy sản*, Nxb Nông nghiệp.
4. Viện Nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản I (2019), *Kỹ thuật nuôi cá Chêm thương phẩm trong ao đất*, Nxb Nông nghiệp.
5. American Public Health Association (APHA) (2012), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd ed.). American Public Health Association.
6. Biswas, G., Thirunavukkarasu, A. R., Sundaray, J. K., & Kailasam, M. (2010), Effect of stocking density on growth, survival and feed utilization of Asian seabass (*Lates calcarifer*) juveniles. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, 3 (3), 215-224.
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2024), *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action*. FAO.
8. Glencross, B. D. (2006), The nutritional management of barramundi (*Lates calcarifer*): A review. *Aquaculture Nutrition*, 12 (4), 291-309.
9. Jerry, D. R. (Ed.). (2013), *Biology and Culture of Asian Seabass (*Lates calcarifer*)*. CRC Press.
10. Rimmer, M. A., & Russell, D. J. (1998), Aspects of the biology and culture of Asian seabass (*Lates calcarifer*). In S. S. De Silva (Ed.), *Tropical Mariculture* (pp. 449-476). Academic Press.
11. Rimmer, M. A. (2021), *Barramundi Farming Handbook*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR).

TÀI NGUYÊN CÁT ĐỘNG... (Tiếp theo trang 48)

Tài liệu tham khảo:

1. Church, M. (2006), *Bed material transport and the morphology of alluvial river channels*. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 34, 325–354.
2. Kondolf, G. M. (1997), Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, 21(4), 533–551.
3. Van Rijn, L. C. (1993), *Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas*. Aqua Publications.
4. Knighton, D. (1998), *Fluvial Forms and Processes: A New Perspective*. Arnold.
5. Walling, D. E., & Webb, B. W. (1996), *Erosion and Sediment Yield: A Global Overview*. IAHS Publication.
6. DHI. (2022), *MIKE Powered by DHI - Hydrodynamic and Sediment Transport Modelling System*.
7. Đỗ Quang Thiên. (2013), *Nghiên cứu, dự báo và đề xuất giải pháp phòng chống xói lở - bồi lấp vùng trung, hạ lưu sông Gianh và Nhật Lệ phục vụ phát triển bền vững*, Nhiệm vụ KH&CN cấp tỉnh Quảng Bình.
8. Do, Q. T., Nguyen, T., Trinh, T. G. C., & Hoang, N. T. D. (2012), Effects of torrential rainfall on the Gianh River bank erosion due to global warming and climate change. In *Proceedings of the International Workshop on Geo-engineering for Responding to Climate Change and Sustainable Development of Infrastructure*.
9. Do, Q. T. (2016), Assessing the motive of erosion process along main river channels in the Mid-Central Part of Vietnam. In *Proceedings of the 2nd National Conference on Transport Infrastructure with Sustainable Development*. Construction Publishing House.