



Rừng là vàng, nếu mình biết bảo vệ và xây dựng thì rừng rất quý

(Lời Hồ Chủ tịch)

Rừng & Môi trường

ISSN 1859-1248

HỘI KHOA HỌC KỸ THUẬT LÂM NGHIỆP VIỆT NAM



Số 125

Năm 2025



Tỷ lệ che phủ
rừng toàn quốc tăng,
đạt 42,03%

Ngày 31/3/2025, Thứ trưởng Bộ Nông nghiệp và Môi trường Nguyễn Quốc Trị đã ký ban hành Quyết định số 561/QĐ-BNNMT công bố hiện trạng rừng toàn quốc năm 2024.

Theo công bố, diện tích rừng, bao gồm cả diện tích rừng chưa đủ tiêu chí tính tỷ lệ che phủ của cả nước năm 2024 là 14.874.302 ha, trong đó, diện tích rừng tự nhiên là 10.133.952 ha, rừng trồng là 4.740.350 ha. Diện tích rừng đủ tiêu chí tính tỷ lệ che phủ là 13.927.309 ha, trong đó, rừng tự nhiên 10.133.952 ha, rừng trồng 3.793.357 ha. Tỷ lệ che phủ rừng toàn quốc: 42,03%. Như vậy so với năm 2023, cả diện tích rừng và tỷ lệ che phủ rừng toàn quốc đều tăng. Cụ thể, diện tích rừng tăng 13.993 ha. Tỷ lệ che phủ rừng tăng 0,01%.





SỐ 125
NĂM 2025



Tổng Biên tập
PGS. TS. Triệu Văn Hùng



Phó tổng Biên tập
Đàm Thị Mỹ



Thiết kế
Nguyễn Zùng



Tòa soạn và Trị sự
Số 114 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội
ĐT: (024) 3.7541311 - 0913. 381559
Fax: (024) 3.7552220
Website: trungvamoitruong.vn
Email: tckhrungvamoitruong@gmail.com
f: www.facebook.com/tapchiRungvaMoiTruong

GPXB số: 224/GP-BTTTT

Cấp ngày 8/6/2015

In tại: CTCP Khoa học và công nghệ

Hoàng Quốc Việt

Giá: 20.000 đ

Rừng & Môi trường

Khoa học công nghệ

- ♦ **Đặng Thị Tố Nga, Nguyễn Thuý Hà, Đinh Đại Ngọc:** Nghiên cứu ảnh hưởng của liều lượng phân đạm đến sinh trưởng phát triển... 4
- ♦ **Phan Thị Mai Hoa, Trần Thị Ngọc, Nguyễn Thị Cúc:** Ứng dụng mô hình thủy lực MIKE 21 tích hợp Mike NAM trong đánh giá tác động... 9
- ♦ **Trần Cao Nguyên, Nguyễn Tử Kim:** Đánh giá khả năng sử dụng và giá trị thương mại gỗ Trắc ở Việt Nam 16
- ♦ **Nguyễn Thị Hồng, Đào Trung Thành:** Nghiên cứu rủi ro môi trường từ hoạt động khai thác, chế biến khoáng sản chì - kẽm... 23
- ♦ **Nguyễn Thị Thanh Thủy, Nguyễn Thị Yến:** Phân tích ma trận SWOT về phát triển nông nghiệp ứng dụng công nghệ cao... 28
- ♦ **Nguyễn Thị Cúc:** Nghiên cứu dự báo chất lượng nước sông Hồng... 33
- ♦ **Phan Thị Mai Hoa, Trần Thị Ngọc:** Tổng quan hệ thống các yếu tố không gian trong đánh giá du lịch sinh thái: Định hướng ứng dụng... 39
- ♦ **Đào Trung Thành, Nguyễn Thị Hồng:** Đánh giá hàm lượng kim loại nặng trong nước và trầm tích ven bờ đảo Cái Bàu... 47
- ♦ **Nguyễn Thị Minh Hạnh, Vương Sỹ Tú Anh, Nguyễn Ngọc Bích Hân, Phạm Thị Minh Nghĩa, Nguyễn Phương Bắc, Vũ Phương Lan:** Tái tạo địa hình đáy khu vực ven biển, đảo sử dụng công nghệ... 53
- ♦ **Nguyễn Thị Cúc, Phan Thị Mai Hoa:** Ứng dụng ảnh viễn thám nhiệt đánh giá sự biến đổi nhiệt độ bề mặt của TP Hạ Long... 61
- ♦ **Nguyễn Thị Hoà, Nguyễn Thị Thu Huyền, Nguyễn Phương Đông:** Đánh giá hiện trạng chất lượng và đề xuất phương án bảo vệ... 67
- ♦ **Nguyễn Ngọc Thùy:** Đánh giá thực trạng quản lý nhà nước... 73
- ♦ **Đinh Thị Lan:** Nghiên cứu thành phần loài nấm lớn ăn được ở một số xã trên địa bàn huyện Bạch Thông, tỉnh Bắc Kạn 79
- ♦ **Nguyễn Đắc Bình Minh, Chu Huy Tưởng, Phan Thị Lan Anh, Phạm Hồng Nhung:** Sản xuất nông nghiệp gắn với du lịch... 83
- ♦ **Đào Thị Thu Hà, Nguyễn Thị Thanh:** Đánh giá thực trạng và đề xuất giải pháp phát triển rừng trồng Mỡ theo hướng hiệu quả... 87
- ♦ **Nguyễn Thị Thu Hoàn, Dương Trung Dũng:** Kết quả thử nghiệm trồng mô hình tre Lục trúc lấy măng tại khu mô hình... 95
- ♦ **Vũ Thị Lan Anh, Nguyễn Thị Hồng, Nguyễn Thị Hòa:** Đánh giá tác động và đề xuất giải pháp cải tạo phục hồi môi trường... 99
- ♦ **Nguyễn Văn Huân, Trịnh Đình Trung, Nguyễn Hồng Ngọc, Ninh Khắc Bẩy, Trần Quang Minh:** Kết quả gây đột biến chủng vi khuẩn Bacillus subtilis BK bằng Acridine Orange nhằm nâng cao... 105
- ♦ **Trần Quốc Hưng, Nguyễn Công Hoan, Nguyễn Đức Thiện:** Nghiên cứu khả năng tích lũy Các bon rừng trồng Keo tai tượng... 112
- ♦ **Nguyễn Thị Thu Trang, Nguyễn Văn Dũng:** Nghiên cứu ảnh hưởng của khí phóng xạ radon đến môi trường khu vực... 119
- ♦ **Nguyễn Công Hoan, Trần Quốc Hưng:** Phân cấp sinh trưởng và đề xuất biện pháp tỉa thưa rừng trồng Keo tai tượng... 126
- ♦ **Dương Trung Dũng, Nguyễn Thị Thu Hoàn:** Nghiên cứu ảnh hưởng của phân bón cho cây mẹ đến sản xuất hom giống... 132
- ♦ **Nguyễn Thị Thu Hà:** Nghiên cứu tác động phân bố... 136
- ♦ **Vũ Thị Quý, Trần Quang Hoàng Long:** Đánh giá công tác bồi thường GPMB tại Dự án Xây dựng tuyến đường từ đê... 141
- ♦ **Nguyễn Anh Trụ, Bùi Thị Lâm, Ngô Thanh Sơn, Đỗ Thị Tuyết Mai, Phạm Thị Vân Anh:** Đánh giá mức độ rủi ro khí hậu... 147
- ♦ **Phạm Thị Thu Huyền, Đỗ Tuấn Tùng, Bùi Trung Nguyên:** Đánh giá khả năng sinh trưởng và năng suất của một số giống đậu... 156
- ♦ **Nguyễn Thuý Hà:** Ảnh hưởng của phân bón đến sinh trưởng... 162
- ♦ **Nguyễn Hà, Phạm Khôi Nguyên, Nguyễn Thị Ánh Nguyệt, Phạm Ngọc Nam:** Nghiên cứu tạo chi tiết cong gỗ cao su... 166
- ♦ **Vũ Lệ Hà, Trịnh Thanh Thương, Nguyễn Quỳnh Mai, Đinh Ngọc Hân, Nguyễn Thị Huệ:** Thực trạng pháp luật về quyền tiếp cận thông tin đất đai ở Việt Nam và kinh nghiệm của một số nước... 174

Hoạt động trong ngành

- ♦ **Nguyễn Quý:** Hội nghị sơ kết công tác 4 tháng đầu năm và triển khai nhiệm vụ trọng tâm năm 2025 của Quý... 182

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH THỦY LỰC MIKE 21 TÍCH HỢP MIKE NAM

TRONG ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG BỒI XÓI DO KHAI THÁC CÁT TẠI CÁC SÔNG Ở BẮC GIANG VÀ BẮC KẠN

◆ Phan Thị Mai Hoa^{1,2}, Trần Thị Ngọc¹,
Nguyễn Thị Cúc¹

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đánh giá tác động của hoạt động khai thác cát đối với hiện tượng bồi tụ và xói lở tại khu vực sông ở Bắc Giang và Bắc Kạn. Trước bối cảnh thiếu hụt dữ liệu đo đạc thực địa, phương pháp tiếp cận kết hợp mô hình thủy văn MIKE NAM và mô hình thủy lực hai chiều MIKE 21FM đã được áp dụng để mô phỏng quá trình dòng chảy và vận chuyển trầm tích trong điều kiện trận lũ lịch sử tháng 9 năm 2014. Kết quả cho thấy, hoạt động khai thác cát chỉ gây ra biến đổi nhỏ về tốc độ dòng chảy đỉnh lũ (dao động từ 0,1-1,6 m/s so với 0,1-1,85 m/s trước khai thác), nhưng làm gia tăng đáng kể hàm lượng bùn cát lơ lửng trong nước (đỉnh lũ tăng từ khoảng 2240 g/m³ lên 2710 g/m³). Sự suy giảm khối lượng trầm tích do khai thác đã tạo ra các khoảng trống địa hình, làm biến đổi trường lưu tốc, thúc đẩy quá trình bồi lắng mạnh ở trung tâm khu vực khai thác (có nơi bồi cao gần 2 m) và hình thành các khu vực bồi - xói đan xen dọc hai bờ sông. Phân tích mặt cắt ngang cho thấy xu hướng bồi chủ yếu diễn ra tại vùng khai thác và bờ phải, trong khi bờ trái có biểu hiện xói nhẹ. Kết quả này khẳng định hiệu quả của việc kết hợp mô hình MIKE NAM và MIKE 21FM trong việc mô phỏng và dự báo diễn biến dòng chảy,

trầm tích trong điều kiện hạn chế dữ liệu đầu vào, đồng thời cung cấp cơ sở khoa học đáng tin cậy cho đánh giá tác động bồi xói. Việc so sánh hai kịch bản trước và sau khai thác cho phép nhận diện rõ ràng mức độ biến đổi hình thái lòng sông do hoạt động khai thác gây ra. Nghiên cứu đồng thời nhấn mạnh vai trò thiết yếu của việc kiểm soát lưu lượng khai thác và giám sát diễn biến địa hình lòng sông nhằm bảo vệ ổn định bờ sông và khai thác bền vững tài nguyên cát.

Từ khóa: Khai thác cát; bồi xói; sông Bắc Giang; MIKE NAM; MIKE 21FM

1. GIỚI THIỆU

Khai thác cát từ lòng sông là hoạt động khai thác khoáng sản phổ biến nhưng tiềm ẩn nguy cơ gây biến đổi hình thái sông, ảnh hưởng đến ổn định hai bên bờ và hệ sinh thái sông ngòi. Việc lấy đi trầm tích (cát, sỏi) khiến lòng dẫn bị trũng hơn, thay đổi chế độ dòng chảy và năng lực vận chuyển bùn cát của dòng nước, dẫn đến hiện tượng bồi tụ ở khu vực khai thác và xói lở ở hạ lưu hoặc hai bên bờ.

Trong những năm gần đây, mô hình MIKE (bao gồm MIKE NAM và MIKE 21 ST) đã được áp dụng hiệu quả trong nhiều nghiên cứu thủy văn - thủy lực, đặc biệt là đánh giá tác động của khai thác cát và biến động hình thái sông. Bùi Đạt Trâm và nnk (2020) đã sử dụng MIKE 21 để mô phỏng xói lở bờ sông Hậu tại tỉnh An Giang, cho kết quả chính xác cao trong phân

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất

² Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

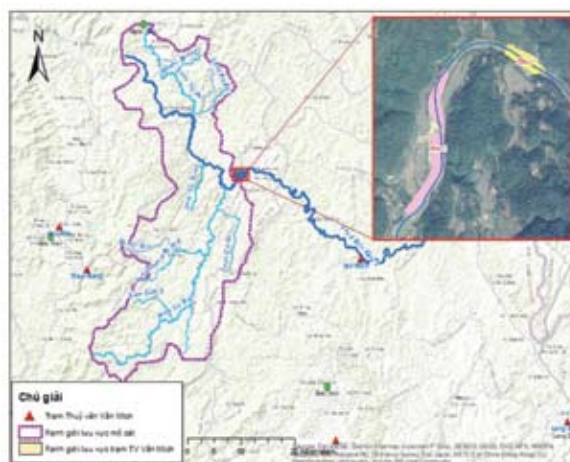
tích bồi - xói cục bộ. Đoàn Quang Trí (2019) kết hợp MIKE 11 để dự báo lũ tại lưu vực Vu Gia - Thu Bồn, khẳng định tính ổn định của mô hình khi áp dụng tại các lưu vực thiếu số liệu. Ngoài ra, Nguyễn Thị Thục Anh (2018) ứng dụng MIKE 21 ST để đánh giá ảnh hưởng của khai thác cát đến lòng dẫn sông Hồng, cho thấy rõ sự thay đổi địa hình đáy sông sau khai thác. Các nghiên cứu này cho thấy mô hình MIKE là công cụ đáng tin cậy để mô phỏng dòng chảy, vận chuyển bùn cát và đánh giá tác động môi trường tại các khu vực có hoạt động khai thác tài nguyên nước.

Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung tại các vùng đồng bằng lớn hoặc lưu vực sông có đầy đủ dữ liệu quan trắc. Trong khi đó, tại các khu vực miền núi phía Bắc như tỉnh Bắc Kạn, nơi có địa hình chia cắt mạnh, hệ thống sông ngòi ngắn và dốc, dữ liệu thủy văn, khí tượng còn thiếu hụt, thì các ứng dụng mô hình MIKE vẫn còn rất hạn chế. Do đó, nghiên cứu này lựa chọn mỏ cát Vàng Kháp, Hát Chập tại xã Sơn Thành, huyện Na Rì, tỉnh Bắc Kạn làm vùng nghiên cứu điển hình nhằm kiểm nghiệm khả năng áp dụng tổ hợp mô hình MIKE NAM - MIKE 21 ST trong điều kiện đặc thù địa hình miền núi và thiếu số liệu quan trắc thực đo. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần đánh giá nguy cơ bồi xói do khai thác cát mà còn làm cơ sở khoa học cho các dự án khai thác khoáng sản bền vững tại các lưu vực tương tự trong khu vực Trung du và miền núi phía Bắc Việt Nam.

II. KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ PHƯƠNG PHÁP

1. Khu vực nghiên cứu

Mỏ cát Vàng Kháp - Hát Chập nằm dọc theo sông Bắc Giang, thuộc địa bàn xã Sơn Thành, huyện Na Rì, tỉnh Bắc Kạn. Khu vực cách thành phố Bắc Kạn khoảng 80 km về phía Đông Bắc và cách thị trấn Yên Lạc khoảng 2,5 km. Tổng diện tích vùng nghiên cứu là 6,88 ha, gồm hai phân khu: Khu I (1,62 ha) và Khu II (5,26 ha). Địa hình khu vực đặc trưng bởi lòng sông hẹp, hai bên bờ có bãi bồi xen lẫn dốc đá, thảm phủ thực vật tự nhiên còn nhiều. Nguồn vật liệu cát, sỏi là trầm tích sông hiện đại, chủ yếu dạng cuội, sỏi, cát hạt trung đến thô [11].



Hình 1. Phạm vi lưu vực sông Bắc Giang đến vị trí khai thác cát

2. Phương pháp nghiên cứu

Phần này mô tả dữ liệu, công cụ mô hình và quy trình phân tích. Theo hướng dẫn của TCVN, do khu vực nghiên cứu chưa có trạm quan trắc thủy văn nên nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp lưu vực tương tự để hiệu chỉnh mô hình MIKE NAM với dữ liệu trạm Vân Mịch lân cận (cùng sông Bắc Giang, diện tích lưu vực tương đương). Dữ liệu khí tượng - thủy văn gồm mưa quan trắc (1961-2014 tại Vân Mịch) và trầm tích nền từ TCVN 13615:2022 (315 g/m³ là giá trị đỉnh lịch sử) được dùng làm biên đầu cho mô hình NAM. Đặc trưng vật lý trầm tích đáy (độ rỗng là 0,449, tỷ trọng tại khu vực nghiên cứu là 2,65 tấn/m³, hệ số Shields là 0,056) và tham số khuếch tán cũng được xác định theo tiêu chuẩn TCVN 13615:2022. Cuối cùng, mô hình được chạy mô phỏng trong suốt thời gian diễn ra trận lũ, với bước thời gian $\Delta t = 30s$ nhằm đảm bảo độ ổn định ($Cr < 0,8$) và độ phân giải thời gian đủ để ghi nhận các biến đổi nhanh trong trường dòng chảy và phân bố bùn cát.

Mô hình thủy văn MIKE NAM [8]: Mô hình NAM (thủy văn đầu nguồn) được thiết lập để tính toán dòng chảy từ lưu vực đến điểm đầu của khu vực nghiên cứu. Mô hình được hiệu chỉnh trên trạm Vân Mịch, sau đó áp dụng bộ tham số cho lưu vực mỏ Sơn Thành, tuân thủ các quy định về lưu vực tương tự (TCVN 9845:2013). MIKE NAM kết hợp 5 bể chứa hàng thẳng đứng và 2 bể tuyến tính theo

phương ngang để mô phỏng quá trình mưa - dòng chảy (theo nguyên tắc Nash). Kết quả mô hình NAM cung cấp lịch sử lưu lượng đỉnh (tần suất thiết kế), làm biên trên cho mô hình thủy lực.

Mô hình thủy lực MIKE 21FM [7]: MIKE 21 Flexible Mesh (MIKE 21FM) là mô hình hai chiều không gian, giải các phương trình Navier-Stokes tuần hoàn cho sông. Mạng lưới lưới tam giác được thiết lập chi tiết quanh khu vực nghiên cứu để mô phỏng trường dòng chảy và vận chuyển trầm tích. Module Sand Transport của MIKE 21FM tính toán vận chuyển bùn cát theo công thức bán thực nghiệm (tổng hợp phương pháp Engelund-Fredsoe). Biên trên của mô hình được khai báo là lưu lượng và nồng độ bùn cát đầu nguồn từ kết quả MIKE NAM; biên hạ lưu áp dụng điều kiện cân bằng thủy lực. Hai kịch bản mô phỏng được xây dựng: (i) trước khai thác - địa hình đáy tự nhiên, (ii) sau khai thác - đã trừ toàn bộ khối lượng cát sỏi dự kiến khai thác. Mỗi kịch bản chạy trong điều kiện cùng mực nước lũ do trận lũ tháng 9 năm 2014 gây ra. Thông qua so sánh kết quả, nghiên cứu định lượng được tác động bồi lắng và xói lở do khai thác cát.

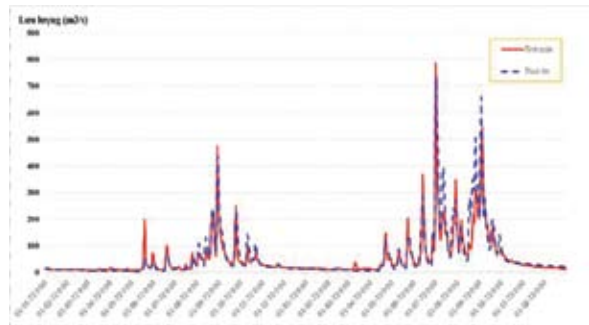
III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

1. Hiệu chỉnh và kiểm định MIKE NAM

Mô hình MIKE NAM được hiệu chỉnh và kiểm định nhằm tái hiện quá trình sinh dòng chảy trên lưu vực phục vụ mô phỏng thủy lực. Giai đoạn hiệu chỉnh được thực hiện với chuỗi số liệu từ năm 1972 đến năm 1974 tại trạm thủy văn Vân Mịch, một trong những trạm đo lưu lượng có số liệu tương đối ổn định trong khu vực. Kết quả hiệu chỉnh đạt giá trị Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) là 0,75, hệ số tương quan $R = 0,844$, và sai số tổng lượng dòng chảy là 4,8%, cho thấy mô hình có khả năng tái hiện tốt quá trình dòng chảy thực tế.

Trong giai đoạn kiểm định (1975-1976), mô hình vẫn duy trì độ ổn định cao với $NASH = 0,72$, $R = 0,77$ và sai số tổng lượng dòng chảy là 7,2%. Các chỉ số này đều nằm trong ngưỡng chấp nhận theo khuyến nghị của các nghiên cứu mô hình thủy văn [5]. Với mức độ

phù hợp này, MIKE NAM được đánh giá là đủ tin cậy để sử dụng trong việc cung cấp dữ liệu đầu vào (lưu lượng lũ) cho mô hình thủy lực - bùn cát tại khu vực nghiên cứu Vằng Khấp - Hát Chấp.

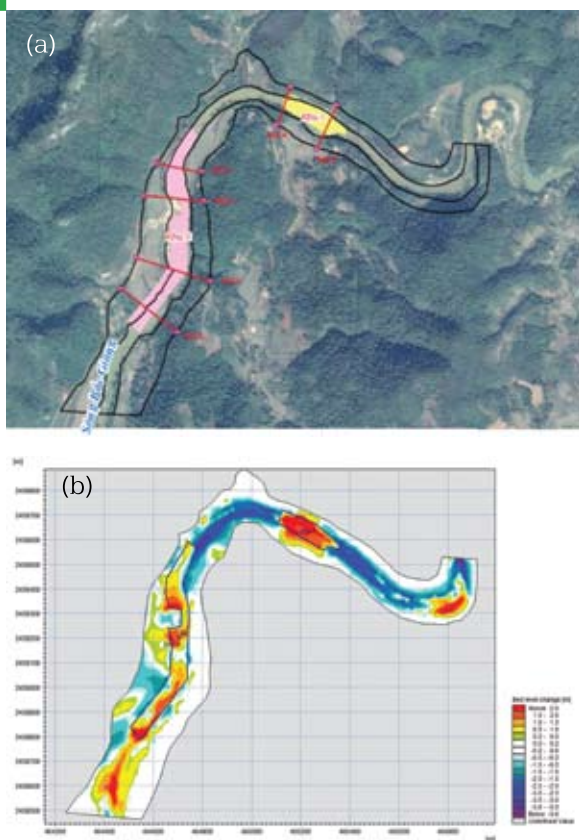


Hình 2. Kết quả hiệu chỉnh mô hình tại trạm thủy văn Vân Mịch

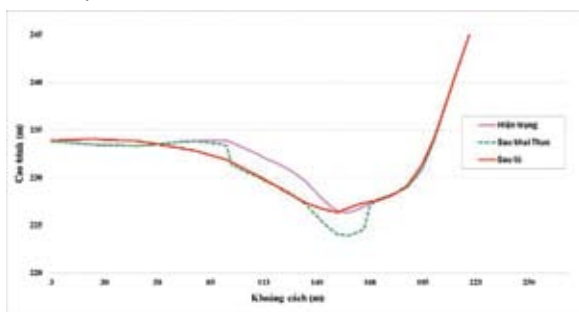
2. Kết quả mô phỏng trước và sau khi khai thác cát

Kết quả mô phỏng trước khai thác cho thấy, khi đỉnh lũ xuất hiện (17/09/2014), tốc độ dòng chảy tại khu vực dao động từ 0,1 đến 1,85 m/s (giá trị lớn nhất tại vùng dốc nhất). Trong khi đó, sau khai thác, tốc độ đỉnh lũ chỉ đạt 1,6 m/s (trong khi giới hạn thấp nhất $\sim 0,2$ m/s), giảm nhẹ so với trước khai thác. Như vậy, khai thác cát không làm thay đổi đáng kể phân bố tốc độ tại khu vực trong trận lũ giả định (thay đổi khoảng vài phần trăm). Tuy nhiên, sự thay đổi địa hình đáy đã làm biến đổi trường vận tốc cục bộ (tốc độ có xu hướng gia tăng tại vùng bồi lắng mới được hình thành). Về nồng độ bùn cát, trước khai thác mô hình cho thấy giá trị dao động từ ~ 222 đến 2240 g/m^3 trong suốt trận lũ (đỉnh lũ gần 2240 g/m^3).

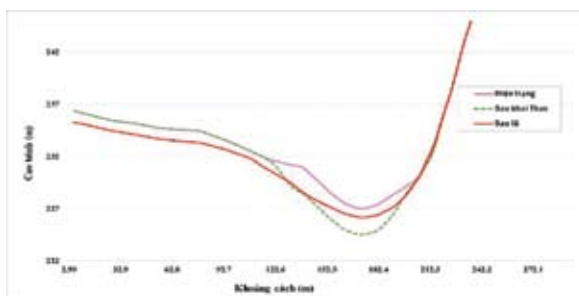
Sau khai thác, biên độ nồng độ tăng cao hơn rõ rệt: nồng độ đỉnh lũ đạt $\sim 2710 \text{ g/m}^3$, cao hơn $\sim 21\%$ so với kịch bản trước khai thác. Sau khi lũ đi qua, nồng độ bùn cát dao động trong khoảng $155\text{--}300 \text{ g/m}^3$. Nguyên nhân là do sau khai thác, dòng chảy tại khu vực có khả năng cuốn nhiều trầm tích từ vùng đào mới (và từ lớp đáy bị nhiễm bùn) vào dòng chảy đỉnh lũ. Kết quả này nhấn mạnh là khai thác cát có thể làm tăng đáng kể tải lượng bùn cát trong các trận lũ lớn, từ đó có thể tác động đến trầm tích lắng đọng ở hạ lưu.



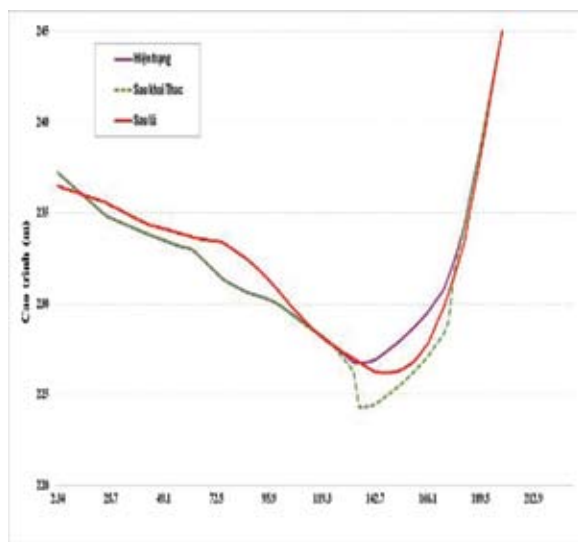
Hình 3. (a) Vị trí 4 mặt cắt phân tích kết quả bồi xói tại khu nghiên cứu, (b) Trường bồi, xói do điều kiện lũ sau khi khai thác cát



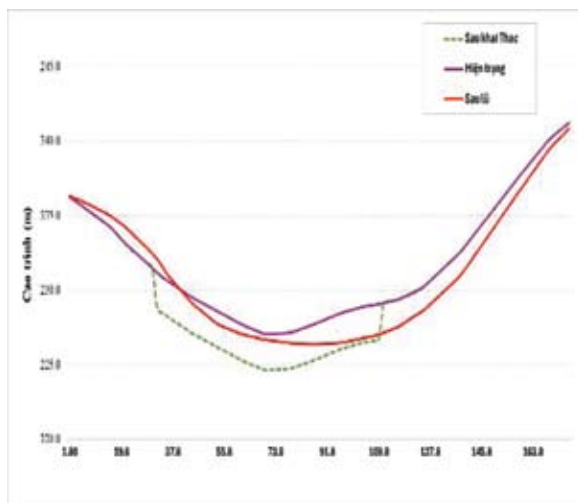
Hình 4. Mặt cắt 1 trước và sau khi khai thác



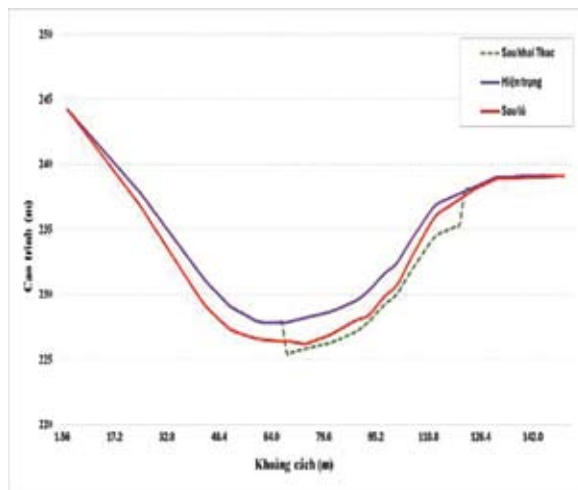
Hình 5. Mặt cắt 2 trước và sau khi khai thác



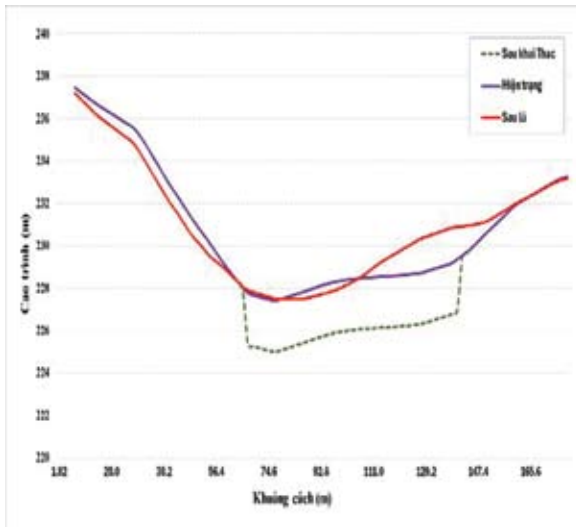
Hình 6. Mặt cắt 3 trước và sau khi khai thác



Hình 7. Mặt cắt 4 trước và sau khi khai thác cát



Hình 8. Mặt cắt 5 trước và sau khi khai thác



Hình 9. Mặt cắt 6 trước và sau khi khai thác cát

Về bồi tụ hay xói lở đáy sông, mô hình MIKE 21FM dự báo rõ rệt sự thay đổi hình thái giữa hai kịch bản. Trước khai thác, kết quả cho thấy tại khu vực khoan cắt, đáy sông bị bồi tụ nhẹ (dưới 1 m) và những vị trí sạt lở chủ yếu xuất hiện ở các khúc cong phía hạ du khoảng 70 - 120 m từ khu vực nghiên cứu (biên bờ trái). Mức biến đổi tổng thể trước khai thác chỉ dao động khoảng 0,21 - 0,83 m trên các mặt cắt ngang gần mực nước bình thường. Trong khi đó, sau khai thác quan sát được bồi lắng mạnh tại chính khu vực: vùng giữa và phải khu vực có mức bồi lên đến gần 2 m, phần lớn dao động 0,5-1 m. Các khu vực ngoài phạm vi vùng nghiên cứu cũng có sự xen kẽ bồi và xói: bờ phải chủ yếu bồi (có nơi tới ~2 m), bờ trái có xu hướng xói (nhẹ, khoảng 0,2-0,36 m).

Phân tích chi tiết các mặt cắt ngang đại diện (Hình 3a, b) cho thấy: tại mặt cắt số 1 (hình 4), cả hai mép khai thác (trái và phải) bồi lắng từ 0,2-1,2 m, trong khi khu vực giữa lòng sông hầu như không đổi; ngoài phạm vi vùng nghiên cứu, bờ phải bồi mạnh (~2 m), bờ trái xói nhẹ (0,2-0,36 m). Các mặt cắt còn lại (hình 5 - hình 9) có xu hướng tương tự, với các khu vực giữa lòng có thể sâu hoặc nông tùy hình dáng ban đầu. Như vậy, khai thác cát làm tăng khả năng bồi tụ ngay tại vị trí khu vực nghiên cứu và khu vực lân cận, trong khi có thể gây xói nhẹ cho một số đoạn bờ. Điều này phù hợp với cơ chế dòng chảy: lấy trầm tích tại khu vực

nghiên cứu tạo ra khoảng trống, khiến dòng chảy đẩy bùn cát về giữa lòng và bờ đối diện, làm bồi lên vùng bị đào.

So sánh trước và sau khai thác chỉ rõ các khác biệt: tốc độ dòng chảy và lưu lượng đỉnh tương đương giữa hai kịch bản, nhưng nồng độ bùn cát và biến dạng đáy thay đổi đáng kể. Sự gia tăng hàm lượng bùn cát đỉnh (từ 2240 lên 2710 g/m³) đi kèm bồi lắng sâu mới ngay tại vùng nghiên cứu là hệ quả trực tiếp của việc khai thác lấy trầm tích. Các vùng ngoài khu vực nghiên cứu có độ biến đổi nhỏ hơn, cho thấy tác động lan truyền yếu dần. Kết quả phân tích này giúp lượng đánh giá tác động môi trường: việc khai thác cát cần được kiểm soát để tránh gây sạt lở nghiêm trọng ở hạ du và đảm bảo cân bằng trầm tích lâu dài. Những thay đổi dự báo cũng gợi ý khả năng tăng nồng độ bùn cát xuống hạ nguồn, có thể ảnh hưởng đến hệ sinh thái và chất lượng nước. Nghiên cứu trước đây cũng chỉ ra rằng mô hình MIKE 21FM có thể mô phỏng tốt trường bùn cát và biến động đáy sông trong điều kiện tương tự [1, 6 12].

Tính mới của nghiên cứu là ứng dụng đồng bộ hai mô hình MIKE NAM và MIKE 21FM trong điều kiện số liệu quan trắc thiếu hụt để phân tích bồi xói sau khai thác. Việc triển khai mô hình thủy văn trên lưu vực tương tự và liên kết với mô hình thủy lực tại chỗ là phương pháp tương đối mới ở Việt Nam, đặc biệt với lưu vực sông ở Bắc Giang. Kết quả rút ra phản ánh giá trị thực tiễn cao: tác giả cung cấp cơ sở định lượng cho công tác ra quyết định của chính quyền địa phương và đơn vị khai thác. Dựa vào mô phỏng, người quản lý có thể thiết lập bản đồ cảnh báo xói lở, đề xuất giải pháp kỹ thuật (gia cố bờ, điều chỉnh công nghệ khai thác), hoặc quy định mức khai thác an toàn nhằm hạn chế bồi lấp không mong muốn. Ví dụ, khu vực giữa vùng nghiên cứu sau khai thác có mức bồi 1-2 m cho thấy cần quan tâm khơi thông định kỳ để tránh cản dòng. Trái lại, bờ trái chịu xói nhẹ cần bổ sung gia cố bằng đá ốp hoặc trồng cây bảo vệ bờ. Các kết quả mô hình cũng có thể tham khảo cho công tác giám sát biến động hình thái sông về lâu dài.

TT	Mặt cắt	Vị trí (km)	Khu vực	Vận tốc trung bình (m/s)	Biến đổi độ cao đáy (m)	Loại biến động
1	MC1	0,2	Thượng lưu (khu I)	2,1	-0,45	Xói mạnh
2	MC2	0,8	Thượng lưu (khu I)	1,8	-0,38	Xói trung bình
3	MC3	1,5	Chuyển tiếp	1,3	-0,12	Ổn định nhẹ
4	MC4	2,1	Hạ lưu (khu II)	0,9	0,26	Bồi nhẹ
5	MC5	2,7	Hạ lưu (khu II)	0,6	0,41	Bồi rõ rệt

Bảng 1. Bảng phân bố vận tốc và trường vận chuyển trầm tích

Ngoài ra, bảng phân bố vận tốc và trường vận chuyển trầm tích từ mô hình cho thấy tồn tại điểm nóng thủy lực, nơi dòng chảy phân kỳ mạnh và gây xói cắt nghiêm trọng. Các điểm này có khả năng mở rộng nếu tình trạng khai thác tiếp tục kéo dài mà không có sự kiểm soát dòng chảy hoặc bồi đắp bù hợp lý (Bảng 1).

IV. KẾT LUẬN

Ứng dụng mô hình kết hợp MIKE NAM (thủy văn) và MIKE 21FM (thủy lực 2D) cho phép mô phỏng liên tục từ đầu nguồn đến khu vực nghiên cứu là mỏ cát Sơn Thành. Phương pháp này xử lý được bài toán thiếu dữ liệu quan trắc bằng cách sử dụng lưu vực tương tự và kích bản lũ lớn lịch sử. Đây là điểm mới quan trọng giúp đánh giá tác động khai thác cát theo hướng dự báo.

Kết quả cho thấy sau khai thác, tốc độ dòng chảy đỉnh lũ thay đổi rất nhỏ (0,1-1,6 m/s so với 0,1-1,85 m/s), nhưng hàm lượng bùn cát tăng đáng kể (đỉnh lũ từ 2240 g/m³ lên 2710 g/m³). Điều này giải thích bởi việc lấy cát làm gia tăng khả năng cung cấp trầm tích cho dòng chảy.

Mô hình dự báo bồi lắng mạnh vùng giữa và phải của mỏ (đạt ~1-2 m) đồng thời xuất hiện các vùng bồi hay xói xen kẽ ở xung quanh. Phân tích mặt cắt ngang chi tiết cho thấy hai mép vùng khai thác bồi chủ yếu, trong khi bờ trái có nguy cơ xói nhẹ. Trước khai thác, các mức độ bồi/xói tổng quát thấp hơn (dưới ~0,8 m) và phân bố đều hai bờ.

Nhìn chung, khai thác cát tác động chủ yếu vào sự phân bố trầm tích và độ cao đáy sông thay vì thay đổi lớn lưu lượng hay tốc độ tổng thể. Kết quả nghiên cứu này cung cấp góc nhìn

định lượng cho việc quản lý khai thác cát bền vững: cần lường trước mức bồi lấp tại khu mỏ, đồng thời có biện pháp bảo vệ bờ và kiểm soát lưu lượng khai thác. Như các hành lang bồi lắng nên được theo dõi và nạo vét định kỳ, bờ sông có thể gia cố để chống xói. Việc mô hình hóa cũng hỗ trợ đánh giá nhiều kịch bản khác, như lũ ở tần suất khác, điều chỉnh tổ chức khai thác, nhằm đề xuất chiến lược tối ưu cho khai thác cát phù hợp với điều kiện địa phương.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Anh Nguyễn Thị Thục, Huân Trần Ngọc (2018). *Ứng dụng mô hình Mike 11 ST đánh giá khả năng tái tạo cát sỏi lòng sông Hồng từ Trạm thủy văn Sơn Tây đến Hưng Yên*. Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường, 23 (2018), 56 - 64.
2. Anh Thục Thi Nguyen, Huan Ngoc Tran, Huong Thi Vu, Trinh Manh Nguyen (2020). *Applying MIKE 21 FM (HD + ST) model to evaluate the ability to regenerate sand and gravel for efficient management of river exploitation and protection*. Journal of Mining and Earth Sciences, 61(4), 86–94. [https://doi.org/10.46326/JMES.2020.61\(4\).09](https://doi.org/10.46326/JMES.2020.61(4).09).
3. Bùi Đạt Trâm, Mai Anh Vũ, Võ Tấn Linh (2005). *Ứng dụng mô hình MIKE 21C tính toán diễn biến lòng sông Hậu đoạn chảy qua thành phố Long Xuyên, tỉnh An Giang*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 540(12), 16-26.
4. Đoàn Quang Trí (2019), *Ứng dụng mô hình thủy văn-thủy lực kết hợp mua dự báo IFS phục vụ cảnh báo lũ, ngập lụt hạ lưu sông Vu Gia-Thu Bồn*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 703, 27-41.

5. Nguyễn Ngọc An, Võ Thị Minh Nguyệt, Phạm Văn Hùng, et al. (2025). *Spatiotemporal dynamics of suspended sediment in coastal Mekong Delta: a hydrodynamic modelling approach under tropical monsoon climate*. Scientific Reports, 15, 5851. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89111-z>.

6. DHI (2020). *MIKE 21 & MIKE 21FM User Guide*. DHI Water & Environment, Đan Mạch.

7. DHI (2019). *MIKE NAM Hydrologic Model Manual*. DHI Water & Environment, Đan Mạch.

8. TCVN 13615:2022 - Tính toán các đặc trưng thủy văn thiết kế - Dữ liệu trầm tích bùn cát ở Việt Nam. Bộ Xây dựng, Hà Nội, 2022.

9. TCVN 9845:2013 - Thiết kế đê điều - Xác định lưu vực tương tự. Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Hà Nội, 2013.

10. UBND tỉnh Bắc Kạn (2024). Quyết định số 1464/QĐ-UBND ngày 24/8/2024 của UBND tỉnh Bắc Kạn phê duyệt trữ lượng khoáng sản trong "Báo cáo kết quả thăm dò khoáng sản cát, sỏi làm vật liệu xây dựng thông thường tại khu vực Vằng Kháp - Hát Chập, xã Sơn Thành, huyện Nà Rì, tỉnh Bắc Kạn"

11. Yan, J., Chen, M., Xu, L., Liu, Q., Shi, H., & He, N. (2022). *Mike 21 Model Based Numerical Simulation of the Operation Optimization Scheme of Sedimentation Basin*. Coatings, 12(4), 478. <https://doi.org/10.3390/coatings12040478>.

APPLICATION OF THE MIKE 21 HYDRODYNAMIC MODEL INTEGRATED WITH MIKE NAM FOR ASSESSING SEDIMENT DEPOSITION AND EROSION IMPACTS OF SAND MINING IN THE BAC GIANG RIVER, BAC KAN PROVINCE

Phan Thi Mai Hoa¹, Tran Thi Ngoc¹,
Nguyen Thi Cuc¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology

² Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology

SUMMARY

This study evaluates the impacts of sand mining activities on sediment deposition and bank erosion along the Bac Giang River (Bac

Kan Province, Vietnam). In the context of limited field measurement data, an integrated approach combining the MIKE NAM hydrological model and the MIKE 21FM two - dimensional hydrodynamic model (developed by DHI, Denmark) was applied to simulate flow dynamics and sediment transport under the historical flood event of September 2014. The results indicate that sand mining induced only minor changes in peak flood flow velocities (ranging from 0.1-1.6 m/s compared to 0.1-1.85 m/s before mining). However, it significantly increased suspended sediment concentrations (from approximately 2240 g/m³ to 2710 g/m³ during peak flood). The removal of sand and gravel created morphological voids, altered the velocity field, and promoted substantial sediment deposition in the center of the mined section (with accumulation heights reaching nearly 2 meters), while forming alternating zones of deposition and erosion along the riverbanks. Cross - sectional analysis revealed predominant sediment deposition in the mined area and on the right bank, whereas the left bank showed minor erosion tendencies. These findings confirm the effectiveness of integrating the MIKE NAM and MIKE 21FM models in simulating and predicting flow-sediment dynamics under data-scarce conditions, providing a reliable scientific basis for evaluating sedimentation and erosion impacts. Comparison between pre - and post - mining scenarios enabled clear identification of morphological changes in the riverbed caused by sand extraction activities. The study also emphasizes the crucial role of regulating extraction rates and monitoring riverbed evolution to protect riverbank stability and promote the sustainable exploitation of sand resources.

Keywords: Sand mining; sediment deposition and erosion; Bac Giang River; MIKE NAM; MIKE 21FM

Ngày nhận bài: 9/4/2025

Ngày chuyển phản biện: 14/4/2025

Ngày thông qua phản biện: 17/4/2025

Ngày duyệt đăng: 18/4/2025

TỔNG QUAN HỆ THỐNG CÁC YẾU TỐ KHÔNG GIAN TRONG ĐÁNH GIÁ DU LỊCH SINH THÁI: ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG CHO TỈNH THÁI NGUYÊN

Phan Thị Mai Hoa^{1,2}, Trần Thị Ngọc¹

Các nghiên cứu quốc tế gần đây đã nhấn mạnh rằng đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái không thể tách rời khỏi phân tích không gian, bao gồm địa hình, độ cao, độ dốc, khoảng cách đến đường giao thông, nguồn nước, khu bảo tồn thiên nhiên và thảm thực vật (Habib, M. H. R. và nnk., 2024; de Almeida Rodrigues, A., và nnk., 2018). Các phương pháp phân tích như tích hợp GIS với mô hình AHP, Fuzzy logic hoặc Entropy đã được sử dụng để xây dựng bản đồ phân vùng mức độ phù hợp (suitability mapping) phục vụ quy hoạch và đầu tư phát triển điểm đến sinh thái.

Tại Việt Nam, mặc dù đã có một số nghiên cứu bước đầu ứng dụng GIS trong đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái tại các tỉnh như Hòa Bình, Tây Nguyên, Thừa Thiên Huế, song các nghiên cứu này thường thiếu một khung phân tích không gian nhất quán, chưa hệ thống hóa được đầy đủ các tiêu chí và chưa có tính so sánh quốc tế (Dung, Đ.T, 2024, Bùi Thị, N. 2014, Hoang, T. T. H., 2016). Phần lớn mới dừng lại ở việc mô tả hiện trạng hoặc lựa chọn tiêu chí dựa trên kinh nghiệm địa phương, trong khi yếu tố không gian có khả năng định lượng, so sánh và chuẩn hóa nếu được xử lý bằng các phương pháp hiện đại.

Bài báo này tập trung hệ thống hóa các tiêu chí không gian đã và đang được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu quốc tế, phân

tích khả năng chuyển giao và thích ứng với bối cảnh Việt Nam, bước đầu áp dụng cho tỉnh Thái Nguyên, một địa phương có nhiều tiềm năng du lịch sinh thái nhưng chưa được khai thác hiệu quả.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Phương pháp phân tích nội dung có hệ thống

Áp dụng phương pháp phân tích nội dung có hệ thống (systematic content analysis), một kỹ thuật tổng hợp tài liệu khoa học nhằm đảm bảo tính toàn diện và khách quan. Theo đó, nghiên cứu này xác định từ khóa phù hợp, thu thập và chọn lọc các công trình nghiên cứu liên quan, sau đó mã hóa nội dung để rút ra các chủ đề chính và yếu tố không gian. Như Zafirri và cộng sự (2023) đã tiến hành phân tích nội dung có hệ thống trên một tập hợp 57 bài báo liên quan đến ứng dụng thực tế tăng cường (Augmented Reality - AR) trong du lịch, từ đó tổng hợp các thành phần thiết kế chính của công nghệ này. Tương tự, các nghiên cứu tổng quan khác trong lĩnh vực du lịch (ví dụ Chen nnk., 2021; Nghĩa nnk., 2019) cũng nhấn mạnh vai trò của phân tích nội dung có hệ thống trong việc hệ thống hóa kiến thức nghiên cứu hiện có. Phương pháp này cho phép đánh giá xu hướng nghiên cứu và nhóm các yếu tố không gian đặc trưng cho tiềm năng du lịch sinh thái một cách khoa học.

2. Nguồn tài liệu và tiêu chí chọn lọc

Các tài liệu nghiên cứu được thu thập từ các cơ sở dữ liệu học thuật quốc tế (Scopus,

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất

² Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Web of Science, Google Scholar, ScienceDirect, PubMed...) và các tạp chí chuyên ngành trong nước (VDGL, các ấn phẩm của các trường đại học). Từ khóa tìm kiếm gồm cả tiếng Việt và tiếng Anh như “du lịch sinh thái”, “yếu tố không gian”, “GIS, AHP”, “du lịch bền vững”, “smart tourism”..., đảm bảo bao quát các khía cạnh liên quan đến đề tài. Nghiên cứu ưu tiên các công trình được công bố trong khoảng 10 năm gần đây, tập trung vào các nghiên cứu có nội dung đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái và phân tích không gian. Tiêu chí loại bỏ bao gồm các bài sao chép, chưa được bình duyệt hoặc không trực tiếp liên quan đến đối tượng nghiên cứu. Ví dụ, bài báo lựa chọn vào danh mục phân tích các nghiên cứu ứng dụng GIS-MCDA/AHP trong du lịch sinh thái như Withanage nnk. (2024) và Yasin & Woldemariam (2023). Nghiên cứu của Withanage và cộng sự tích hợp 20 tiêu chí đa dạng qua GIS-AHP để xác định tiềm năng du lịch tại một thành phố di sản thế giới, trong khi Yasin & Woldemariam (2023) kết hợp GIS với AHP sử dụng sáu tiêu chí, bao gồm cảnh quan tự nhiên, động vật hoang dã, địa hình, khả năng tiếp cận, địa chất và khí hậu, để mô hình hóa các địa điểm du lịch sinh thái tiềm năng ở Ethiopia. Các nghiên cứu tổng quan như của Zaifri nnk. (2023) cũng được tham khảo để khẳng định quy trình tìm kiếm và sàng lọc tài liệu một cách hệ thống.

3. Phân tích nội dung và nhóm yếu tố không gian

Quá trình phân tích nội dung được triển khai nhằm xác định các nhóm yếu tố không gian thường xuyên được sử dụng trong các nghiên cứu đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái. Dựa trên 42 bài báo được chọn lọc, nghiên cứu tiến hành mã hóa và phân loại các tiêu chí theo hướng tiếp cận chủ đề, nhằm hệ thống hóa kiến thức hiện có và phục vụ xây dựng khung phân tích phù hợp với điều kiện Việt Nam. Cách tiếp cận này đã được áp dụng hiệu quả trong các nghiên cứu tổng quan tương tự như của Zaifri nnk. (2023) và Chen nnk. (2021), trong đó nội dung các công bố được phân chia theo các lớp chủ đề để đánh giá chiều sâu và chiều rộng của xu hướng nghiên cứu.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Xu hướng nghiên cứu đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái

Kết quả phân tích 42 tài liệu cho thấy, xu hướng chung của nghiên cứu trong và ngoài nước sau năm 2020 là tiếp cận đa chiều, tích hợp cả yếu tố tự nhiên lẫn văn hóa - xã hội trong đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu gần đây đã nhấn mạnh rằng du lịch sinh thái bền vững phải dựa trên ba trụ cột chính: Bảo tồn tài nguyên, sự tham gia của cộng đồng địa phương, và giáo dục trải nghiệm cho du khách. Điều này đánh dấu sự mở rộng phạm vi đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái: Không chỉ xem xét các yếu tố tự nhiên (như địa hình, cảnh quan, khí hậu, sinh vật), mà còn lồng ghép yếu tố văn hóa bản địa và sự tham gia của người dân vào quy trình đánh giá. Chẳng hạn, một nghiên cứu năm 2024 tại Sri Lanka, một thành phố di sản thế giới đã xây dựng bộ 20 tiêu chí phân thành 6 nhóm, bao gồm cả nhóm cảnh quan tự nhiên, địa hình, tiếp cận, khí hậu, rừng và động vật hoang dã, cũng như nhóm yếu tố tác động tiêu cực từ con người. Việc xuất hiện những nhóm tiêu chí mới (khí hậu, tác động nhân sinh) phản ánh xu hướng quốc tế đề cao cách tiếp cận toàn diện, xem xét cả các điều kiện thuận lợi lẫn hạn chế cho du lịch sinh thái sau 2020.

Ở các nước châu Âu, phân tích GIS du lịch sinh thái thường kết hợp giữa bảo tồn cảnh quan lịch sử và không gian xanh. Nhiều nghiên cứu định hướng bảo vệ các mạng lưới sinh cảnh (green infrastructure) và di tích văn hóa - lịch sử (cultural landscapes) bên cạnh các chỉ tiêu môi trường. Ví dụ, khái niệm “di sản văn hóa” trong các bài nghiên cứu nhấn mạnh giá trị cảnh quan địa phương (Neel và nnk, 2024). Có thể nói, EU ưu tiên các vùng cảnh quan truyền thống và công viên quốc gia, đảm bảo hài hòa giữa phát triển du lịch và bảo vệ môi trường.

Các nghiên cứu ở Mỹ La tinh đặc biệt chú trọng đa dạng sinh học và bảo tồn rừng. Điển hình là Costa Rica, nơi “hệ thống núi cao với nhiều đỉnh núi lửa và phần lớn lãnh thổ từng được bao phủ rừng” tạo nên cảnh quan nhiệt

đới độc đáo (Vlami, V và nnk, 2022). Do đó, mô hình đánh giá ecotourism ở Nam và Trung Mỹ thường đưa vào các yếu tố như độ che phủ rừng nhiệt đới, các khu dự trữ sinh quyển và giá trị cảnh quan tự nhiên (flora, fauna, đa dạng sinh học)

Nhiều nghiên cứu tại Trung Quốc nhấn mạnh đến thành phần địa hình núi đá và thảm thực vật rừng. Ví dụ, trong nghiên cứu ở Vườn Quốc gia Trương Gia Giới (Zhangjiajie), vùng có địa hình gồ ghề, độ che phủ thực vật cao cùng năng lực giữ đất, giữ nước mạnh được xác định là lý do chính tạo nên tiềm năng sinh thái lớn (các khu vực này còn có “giá trị cảnh quan thẩm mỹ đặc sắc”) (Huang, Q., và nnk, 2024). Các yếu tố NDVI, độ dốc và độ cao được coi là then chốt phản ánh khả năng mang tải sinh thái của vùng (Huang, Q., và nnk, 2024). Đối với chất lượng thị giác, nghiên cứu ở khu vực Lễ Giang (Guilin) cho thấy “chất lượng thị giác của cảnh quan chủ yếu thể hiện qua các quần xã thực vật, cấu trúc rừng và biến đổi theo địa hình” (Huang, Q., và nnk, 2024).

Đáng chú ý, yếu tố văn hóa - xã hội và du lịch cộng đồng trong bối cảnh vùng núi ngày càng được quan tâm trong tài liệu gần đây. Tần suất đề cập các tiêu chí về văn hóa bản địa, di sản và sự tham gia của cộng đồng địa phương tăng rõ rệt ở giai đoạn sau 2020 so với trước đó. Điều này phù hợp với bối cảnh hậu đại dịch COVID-19, khi du lịch quốc tế bị hạn chế và nhiều quốc gia Đông Nam Á thúc đẩy du lịch nội địa, chú trọng loại hình du lịch sinh thái cộng đồng như một giải pháp phát triển bền vững (Liu, M., và Chamaratana, T., 2024). Thực tế ở Đông Nam Á đã chứng minh vai trò của văn hóa - cộng đồng. Như vậy, xu hướng quốc tế hiện nay nhấn mạnh rằng tiềm năng du lịch sinh thái không chỉ phụ thuộc vào cảnh quan hay hệ sinh thái tự nhiên, mà còn gắn liền với yếu tố con người và văn hóa địa phương tại điểm đến.

Ở Việt Nam, các nghiên cứu du lịch sinh thái vùng núi sau 2020 cũng thể hiện rõ xu hướng tích hợp này. Nhiều công trình trong nước tập trung vào các tỉnh vùng cao (Tây Bắc, Đông Bắc) đã đề xuất khung tiêu chí đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái có lồng ghép văn

hóa bản địa và du lịch cộng đồng. Chẳng hạn, nghiên cứu tại cao nguyên đá Tủa Chùa (Điện Biên) áp dụng phương pháp AHP cho thấy, giá trị văn hóa của cộng đồng bản địa là tiêu chí có trọng số cao nhất (chiếm 16%), vượt trên cả tiêu chí về cảnh quan thiên nhiên độc đáo (14%). Đồng thời, sự tham gia của người dân địa phương được xếp ngang hàng với cảnh quan (14%), trong khi các tiêu chí về chính sách hỗ trợ phát triển du lịch địa phương cũng chiếm tỷ trọng đáng kể (13%) (Phuong, N. N. T., và nnk, 2022). Kết quả này nhấn mạnh rằng trong bối cảnh vùng núi Việt Nam, yếu tố nhân văn (văn hóa, cộng đồng) có thể đóng vai trò quan trọng ngang với, thậm chí hơn, các yếu tố tự nhiên trong việc quyết định tiềm năng và hướng phát triển du lịch sinh thái. Bên cạnh đó, các yếu tố về hạ tầng và khả năng tiếp cận (ví dụ đường giao thông, cơ sở lưu trú) tuy được xem là “tiềm năng ngoại sinh” nhưng cũng được lồng ghép trong các nghiên cứu đánh giá sau này (Phuong, N. N. T., và nnk, 2022), nhằm đảm bảo tính khả thi khi đưa du lịch sinh thái vào phát triển kinh tế - xã hội địa phương.

Bên cạnh các yếu tố tự nhiên như độ che phủ sinh vật (NDVI) và độ dốc, nhiều phân tích nhấn mạnh vai trò của cộng đồng và di sản địa phương. Ví dụ, nghiên cứu tại Thừa Thiên Huế cho thấy, NDVI (mức độ “xanh” của cảnh quan) có ảnh hưởng tích cực nhất đến tiềm năng du lịch sinh thái ở khu vực suối, thác. Hạ tầng du lịch (nhà hàng, khách sạn) và khả năng tiếp cận giao thông đứng sau NDVI về mức độ quan trọng (Hien, T. T. T., & Chu, H. J., 2024). Như vậy, Việt Nam thường kết hợp yếu tố tự nhiên (rừng, nước, địa hình) với các tiêu chí văn hóa - xã hội, phản ánh lợi ích lâu dài cho cộng đồng bản địa.



Ghi chú: Tài liệu tham khảo [1]: 1-38; [2]: 2-34; [3]: 1, 3, 8, 9, 11, 12, 14, 17, 18, 19, 21, 25, 32; [4]: 1, 2, 4, 5, 9, 15, 17, 19, 22, 24, 26, 30, 31; [5]: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37; [6]: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32; [7]: 5, 6, 8, 9, 13, 18, 22, 25, 27, 30, 33, 36, 41; [8]: 6, 9, 13, 14, 15, 22, 27, 35, 36, 38, 40; [9]: 3, 6, 7, 8, 11, 13, 18, 20, 22, 26, 29, 30, 32, 37, 41, 42; [10]: 2, 4, 6, 8, 10, 11, 19, 21, 27, 34, 35, 37, 39, 22, 12, 23, 31, 41; [11]: 1, 8, 10, 14, 17, 20, 24, 26, 31, 33, 35, 38, 42; [12]: 2, 4, 5, 6, 7, 12, 16, 20, 27, 31, 32, 41; [13]: 5, 6, 9, 13, 18, 22, 27, 28, 30, 33, 36, 38, 40, 41, 42;

Hình 1. Biểu đồ Tần suất xuất hiện của các yếu tố không gian trong các nghiên cứu đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái

3: Yếu tố được đề cập sâu, đóng vai trò trọng yếu trong mô hình đánh giá; 2: Yếu tố được phân tích nhưng không giữ vai trò trung tâm; 1: Yếu tố được đề cập lướt qua, không có mô hình hóa cụ thể; 0: Không đề cập đến)

Bảng 1. Biểu đồ so sánh mức độ ưu tiên các yếu tố không gian trong nghiên cứu du lịch sinh thái tại các quốc gia tiêu biểu

Yếu tố không gian	Việt Nam	Trung Quốc	Châu Âu	Mỹ Latinh
Địa hình	2	3	2	2
Thảm thực vật (NDVI)	3	3	2	3
Nguồn nước	2	2	2	2
Đường giao thông	2	2	3	1
Dân cư	2	1	2	1
Di sản văn hóa	3	2	3	1
Tầm nhìn cảnh quan	2	3	3	2
Cộng đồng	3	2	1	1

2. Khung đề xuất nhóm yếu tố không gian áp dụng tại tỉnh Thái Nguyên

Dựa trên kết quả tổng hợp nói trên và có tính đến đặc thù địa phương tỉnh Thái Nguyên, nghiên cứu đề xuất một khung tiêu chí không gian để đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái một cách toàn diện. Khung này được xây dựng nhằm phản ánh cả thể mạnh về tự nhiên lẫn văn hóa - xã hội của Thái Nguyên, đồng thời phù hợp với xu hướng tiếp cận đa chiều trong nghiên cứu quốc tế. Cụ thể, các nhóm yếu tố không gian chính được đề xuất bao gồm:

Nhóm yếu tố tự nhiên - sinh thái: Đây là nhóm nền tảng, phản ánh sức hấp dẫn từ điều

kiện tự nhiên của điểm du lịch. Bao gồm các tiêu chí về địa hình, địa mạo (ví dụ độ cao, độ dốc đặc trưng cho cảnh quan núi trung du), cảnh quan thiên nhiên (mức độ độc đáo, tính thẩm mỹ của các thắng cảnh, tầm nhìn, điểm nhìn đẹp), đa dạng sinh học (sự phong phú của hệ động thực vật, gần các khu bảo tồn thiên nhiên, rừng đặc dụng), khí hậu (nhiệt độ, lượng mưa ảnh hưởng đến thời vụ du lịch) và tài nguyên nước (sông, thác, hồ như hồ Núi Cốc có tiềm năng tham quan). Các yếu tố này được hầu hết các nghiên cứu xác định là cốt lõi khi đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái (W.K.N.C. Withanage và nnk, 2024). Đối với Thái Nguyên, một tỉnh miền núi Đông Bắc có dãy Tam Đảo, nhiều khu rừng đặc dụng và cảnh quan hồ, thác nước, việc xem xét đầy đủ các yếu tố tự nhiên giúp xác định những khu vực có giá trị sinh thái và cảnh quan cao để phát triển du lịch sinh thái.

Nhóm yếu tố văn hóa - xã hội (bao gồm du lịch cộng đồng): Nhóm này tập trung vào tài nguyên nhân văn và sự tham gia của cộng đồng tại khu vực tiềm năng. Tiêu chí cụ thể gồm di sản văn hóa - lịch sử (các di tích, danh thắng nhân văn như ATK Định Hóa, di tích văn hóa trà Tân Cương), bản sắc văn hóa địa phương (sự hiện diện của các cộng đồng dân tộc thiểu số Tày, Nùng, Sán Dìu với phong tục, lễ hội truyền thống đặc sắc), làng nghề và sản phẩm văn hóa bản địa (ví dụ làng nghề chè, nghề thủ công truyền thống có thể gắn với trải nghiệm du lịch) và mức độ tham gia của cộng đồng địa phương (tinh thần hiếu khách, khả năng tổ chức các dịch vụ du lịch cộng đồng homestay, hướng dẫn viên bản địa). Việc đưa các yếu tố này vào khung đánh giá có cơ sở vững chắc từ xu hướng quốc tế đề cao cộng đồng: Nghiên cứu tại GMS (Tiểu vùng Mekong) khẳng định sự tham gia của người dân địa phương và việc bảo tồn văn hóa bản địa là yếu tố quyết định tính xác thực và bền vững của trải nghiệm du lịch sinh thái (Min Lu và Thanapauge Chamaratana, 2024). Đối với Thái Nguyên, khai thác giá trị văn hóa - cộng đồng sẽ tạo ra sản phẩm du lịch sinh thái khác biệt (du khách không chỉ tham quan cảnh quan mà còn được hòa

mình vào đời sống và văn hóa bản địa). Nhóm yếu tố này vì thế đảm bảo rằng đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái tỉnh không chỉ dừng ở tài nguyên thiên nhiên mà còn bao quát cả yếu tố con người, phù hợp với định hướng du lịch cộng đồng hiện nay.

Nhóm yếu tố hạ tầng - khả năng tiếp cận: Nhóm yếu tố không gian thứ ba đề cập đến điều kiện tiếp cận và cơ sở vật chất phục vụ du lịch tại các khu vực tiềm năng. Các tiêu chí bao gồm khoảng cách địa lý và thời gian tiếp cận (ví dụ khoảng cách tới trục giao thông chính, trung tâm thành phố hoặc các điểm du lịch hiện hữu; thời gian di chuyển từ trung tâm tỉnh đến điểm tiềm năng), chất lượng đường giao thông (hiện trạng đường tới điểm du lịch: đường bộ, đường mòn leo núi,...), cơ sở lưu trú và dịch vụ (sự hiện diện của nhà nghỉ, homestay, nhà hàng, cơ sở y tế, thông tin liên lạc tại khu vực hoặc lân cận), và các tiện ích du lịch khác (biển chỉ dẫn, bãi đỗ xe, vệ sinh môi trường). Những yếu tố này quyết định tính khả thi và hấp dẫn thương mại của phát triển du lịch sinh thái tại điểm đến: một điểm có tài nguyên tốt nhưng quá cách trở hoặc thiếu dịch vụ sẽ khó thu hút du khách. Nhiều nghiên cứu đã tích hợp các tiêu chí hạ tầng - tiếp cận trong đánh giá tổng thể vì chúng ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng phát triển bền vững của du lịch sinh thái (Phuong, N. N. T., và nnk, 2022). Đối với Thái Nguyên, nhóm yếu tố này đặc biệt quan trọng do tỉnh nằm gần thủ đô Hà Nội (lợi thế thu hút du khách nội địa nếu hạ tầng kết nối tốt). Việc đánh giá sẽ tập trung xác định những khu vực tiềm năng đáp ứng đủ điều kiện hạ tầng tối thiểu, hoặc đề xuất giải pháp đầu tư hạ tầng cho những vùng giàu tài nguyên nhưng còn hạn chế về tiếp cận, như vùng núi phía tây bắc tỉnh còn khó khăn về giao thông.

Nhìn chung, khung nhóm yếu tố không gian đề xuất cho Thái Nguyên gồm ba nhóm chính nói trên đã được xây dựng dựa trên xu hướng quốc tế về đánh giá du lịch sinh thái đa lĩnh vực (môi trường tự nhiên, văn hóa - xã

hội, hạ tầng) (Liu, M., và nnk, 2024), đồng thời tính đến điều kiện đặc thù của địa phương (tài nguyên rừng núi, văn hóa các dân tộc và hiện trạng phát triển du lịch của tỉnh). Việc áp dụng khung tiêu chí này kỳ vọng sẽ giúp đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái một cách toàn diện và có hệ thống tại Thái Nguyên, làm cơ sở khoa học cho quy hoạch và phát triển các sản phẩm du lịch sinh thái - cộng đồng phù hợp, phát huy thế mạnh tài nguyên bản địa và định hướng phát triển bền vững trong tương lai (Nguyễn Thị Phương Nga và nnk, 2022, Liu, M., và nnk, 2024, Phuong, N. N. T., và nnk, 2022).

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã hệ thống hóa 42 bài báo trong và ngoài nước nhằm nhận diện các yếu tố không gian cốt lõi trong đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái. Kết quả cho thấy, các yếu tố như địa hình, thảm thực vật, nguồn nước, hạ tầng tiếp cận và yếu tố văn hóa - xã hội là những thành phần được sử dụng phổ biến, phản ánh xu hướng tiếp cận tích hợp và liên ngành trong nghiên cứu hiện nay. Trên cơ sở đó, khung yếu tố không gian được đề xuất cho tỉnh Thái Nguyên có thể là nền tảng định hướng các nghiên cứu ứng dụng và quy hoạch phát triển du lịch sinh thái tại địa phương.

Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện tại còn thiếu sự đồng thuận về cách tích hợp yếu tố xã hội - văn hóa vào phân tích không gian. Vì vậy, nghiên cứu kiến nghị tăng cường ứng dụng thực nghiệm, kết hợp các kỹ thuật định lượng như AHP hoặc Fuzzy-AHP để xác định trọng số khách quan hơn. Đồng thời, việc tích hợp dữ liệu cộng đồng và nền tảng số sẽ giúp nâng cao tính thực tiễn và bền vững cho phát triển du lịch sinh thái trong bối cảnh chuyển đổi số hiện nay.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài khoa học và công nghệ cấp cơ sở, trường Đại học Mở - Địa chất năm 2025, mã số T25-36.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Withanage, N. C., Wijesinghe, D. C., Mishra, P. K., Abdelrahman, K., Mishra, V., & Fnais, M. S. (2024). *An ecotourism suitability index for a world heritage city using GIS-multi criteria decision analysis techniques*. *Heliyon*, 10(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31585>
2. Yasin, K. H., & Woldemariam, G. W. (2023). *GIS-based ecotourism potentiality mapping in the East Hararghe Zone, Ethiopia*. *Heliyon*, 9(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18567>
3. Chen, S., Law, R., Zhang, M., & Si, Y. (2021). *Mobile communications for tourism and hospitality: a review of historical evolution, present status, and future trends*. *Electronics*, 10(15), 1804. <https://doi.org/10.3390/electronics10151804>
4. Zaifri, M., Khalloufi, H., Kaghat, F. Z., Azough, A., & Zidani, K. A. (2023). *From Earlier Exploration to Advanced Applications: Bibliometric and Systematic Review of Augmented Reality in the Tourism Industry (2002-2022)*. *Multimodal Technol. Interact.* 2023, 7, 64. <https://doi.org/10.3390/mti7070064>
5. Nghĩa, N. T. M., & Văn, N. T. T. (2019). *Điểm đến du lịch thông minh: khái niệm và các xu hướng nghiên cứu hiện nay*. *Hue University Journal of Science: Economics and Development*, 128(5A), 129-146.
6. Azwar, H., Hanafiah, M. H., Abd Ghani, A., Azinuddin, M., & Shariffuddin, N. S. M. (2023). *Community-Based Tourism (CBT) moving forward: Penta helix development strategy through community local wisdom empowerment*. *Planning Malaysia*, 21(1), 72-88. <https://doi.org/10.21837/pm.v21i1.1202>
7. Hoang, T. T. H., & Truong, Q. H. (2016). *Ứng dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đánh giá tổng hợp tài nguyên du lịch Tây Nguyên*. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 32(4).
8. UNWTO. (2022). *Ecotourism and Protected Areas: Promoting Environmental and Cultural Sustainability*. World Tourism Organization. <https://www.unwto.org>
9. Bùi Thị, N. (2014). *Đánh giá tiềm năng du lịch sinh thái tại khu bảo tồn thiên nhiên Thượng Tiến - Kim Bôi - Hòa Bình*. Khóa Luận tốt nghiệp. Trường Đại học Lâm Nghiệp.
10. Thành, N. T. H., Hải, T. Q., Trọng, G. V., & Thúy, T. T. P. (2020). *Tổ chức không gian du lịch thành phố Đồng Hới*. *Tạp chí Khoa học*, 17(7), 1283-1294.
11. Sekhar, S., Singh, N., Tiwari, M., Sharma, R. K., Ahlawat, V., & Kumar, R. (2022). *Assessment of Prospective Check Dam Sites in Kaimur Wildlife Sanctuary, Bihar, with Integrated Analytical Hierarchy Process and Geospatial Techniques*. In *Conservation, Management and Monitoring of Forest Resources in India* (pp. 539-556). Cham: Springer International Publishing.
12. Acharya, A., Mondal, B. K., Bhadra, T., Abdelrahman, K., Mishra, P. K., Tiwari, A., & Das, R. (2022). *Geospatial analysis of geo-ecotourism site suitability using AHP and GIS for sustainable and resilient tourism planning in West Bengal, India*. *Sustainability*, 14(4), 2422.
13. Dung, Đ. T. *Phân vùng địa lý tự nhiên các huyện miền núi Quảng Trị-Thừa Thiên Huế cho phát triển du lịch bền vững (2024)*. *Tạp chí Nghiên cứu Địa lý nhân văn*, số 4(45), 64-71
14. Tabibian, S., Hosseini, K., Rezvani, M., & Homayoon Nezhad, I. (2022). *Ecological potential evaluation of the Kan watershed for ecotourism development using AHP and Fuzzy logic in GIS*. *Environmental Resources Research*, 10(1), 9-22.
15. Malczewski, J. (2004). *GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview*. *Progress in Planning*, 62(1), 3-65.
16. Mao, X., Meng, J., & Wang, Q. (2014). *Modeling the effects of tourism and land regulation on land-use change in tourist regions: A case study of the Lijiang River Basin in Guilin, China*. *Land Use Policy*, 41, 368-377.
17. Vipriyanti, N. U., Arini, N. K. S., & Rustiadi, E. (2024). *Land-use problem and controlling for sustainable coastal development in South Bali*. *GeoJournal*, 89(2), 45.
18. Nguyen, T. D., Hoang, H. D., Nguyen, T. Q., Fumikazu, U., Vo, T. P. T., & Nguyen, C.

- V. (2022). *A multicriteria approach to assessing the sustainability of community-based ecotourism in Central Vietnam*. APN Science Bulletin, 12(1), 123-140.
19. Habib, M. H. R., Rahman, M., Uddin, M. M., Shimu, N. J., Hasan, M., Alam, M. J., & Islam, M. S. (2024). *Application of AHP and geospatial technologies to assess ecotourism suitability: A case study of Saint Martin's Island in Bangladesh*. Regional Studies in Marine Science, 70, 103357.
20. Gu, X., Hunt, C. A., Jia, X., & Niu, L. (2022). *Evaluating nature-based tourism destination attractiveness with a Fuzzy-AHP approach*. Sustainability, 14(13), 7584.
21. de Almeida Rodrigues, A., da Cunha Bustamante, M. M., & Sano, E. E. (2018). *As far as the eye can see: Scenic view of Cerrado National Parks*. Perspectives in Ecology and Conservation, 16(1), 31-37.
22. Yu, X. H., Wang, X., Ren, Y. G., & Liu, J. C. (2019). *The landscape evaluation system of ecotourism villages in Qinling Mountains*. Applied Ecology & Environmental Research, 17(4).
23. Eftekhari, E., & Mahdavi, M. (2019). *Land suitability assessment using ANP in a GIS environment for tourism development site (case study: lavasan-e Kuchak Rural District, Tehran Province, Iran)*. Journal of Tourism Hospitality Research, 7(1), 5-17.
24. Vũ, C. Đ. (2019). *Thành lập bản đồ sinh khí hậu phục vụ phát triển du lịch tỉnh Bình Định*. Hue University Journal of Science: Earth Science and Environment, 128(4A).
25. Casimiro, D., Ventura, M. A., Botelho, A. Z., & Guerreiro, J. (2023). *Ecotourism in Marine Protected Areas as a tool to value natural capital and enhance good marine governance: A review*. Frontiers in Marine Science, 9, 1002677.
26. Indwar, T., & Muthukumar, P. K. (2023). *Role of ecotourism in sustainable development: An overview*. Journal of Pharmaceutical Negative Results, 14(2).
27. Mansour, S., Al-Awhadi, T., & Al-Hatrushi, S. (2020). *Geospatial based multi-criteria analysis for ecotourism land suitability using GIS & AHP: a case study of Masirah Island, Oman*. Journal of Ecotourism, 19(2), 148-167.
28. Kiper, T. (2013). *Role of ecotourism in sustainable development*. Advances in Landscape Architecture, 773-802.
29. Fennell, D. A. (2020). *Ecotourism (5th ed.)*. Routledge.
30. El Moslem Badr, D. M. (2022). *Challenges and Future of the development of sustainable ecotourism*. International Journal of Modern Agriculture and Environment, 2(2), 54-72.
31. Chen, H. S., Chen, C. Y., Chang, C. T., & Hsieh, T. (2014). *The construction and application of a carrying capacity evaluation model in a national park*. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 28, 1333-1341.
32. UNEP. (2019). *Ecotourism: Principles, practices and policies for sustainability*. United Nations Environment Programme.
33. Mulyani, S., Ahsani, R. D. P., & Wijaya, D. N. (2021). *Collaborative Governance on Ecotourism: Towards Sustainable Tourism Development*. Jurnal Borneo Administrator, 17(3), 319-334.
34. Butler, R. W. (1999). *Sustainable tourism: A state-of-the-art review*. Tourism Geographies, 1(1), 7-25.
35. Spenceley, A., & Bien, A. (2013). *Ecotourism standards: international accreditation and local certification and indicators*. In International handbook on ecotourism (pp. 404-418). Edward Elgar Publishing.
36. Salman, A., Jaafar, M., Mohamad, D., Ebekeozien, A., & Rasul, T. (2024). *The multi-stakeholder role in Asian sustainable ecotourism: a systematic review*. PSU Research Review, 8(3), 940-958.
37. Miller, G., & Torres-Delgado, A. (2023). *Measuring sustainable tourism: A state of the art review of sustainable tourism indicators*. Journal of Sustainable Tourism, 31(7), 1483-1496.
38. Ceballos-Lascuráin, H. (1996). *Tourism, ecotourism, and protected areas*. IUCN.
39. Xu, L., Ao, C., Liu, B., & Cai, Z. (2023). *Ecotourism and sustainable development: a scientometric review of global research trends*. Environment, Development and Sustainability, 25(4), 2977-3003.

40. Adhika, I. M., & Putra, I. D. G. A. D. (2020). *Reinvigorating cultural landscapes for planning cultural tourism in Bali*. *Geo Journal of Tourism and Geosites*, 33, 1462-1469.
41. Nematollahi, S., Afghari, S., Kienast, F., & Fakheran, S. (2022). *Spatial prioritization for Ecotourism through applying the Landscape Resilience Model*. *Land*, 11(10), 1682.
42. Day, J., & Noakes, S. (2021). *Ecotourism and climate change*. In *Routledge handbook of ecotourism* (pp. 216-230). Routledge.
43. Chen, S.R., & Law, R. (2020). *Bibliometric and visualized analysis of mobile technology in tourism*. *Sustainability*, 12(18), 7499. <https://doi.org/10.3390/su12187499>
44. Vlami, V., Morera Beita, C., & Zogaris, S. (2022). *Landscape conservation assessment in the Latin American tropics: Application and insights from Costa Rica*. *Land*, 11(4), 514.
45. Huang, Q., Zhou, C., Li, M., Ma, Y., & Hua, S. (2024). *An Approach for Mapping Ecotourism Suitability Using Machine Learning: A Case Study of Zhangjiajie, China*. *Land*, 13(8), 1188.
46. Liu, M., & Chamaratana, T. (2024). *Sustainable Ecotourism Development Model in the Areas of the Greater Mekong Subregion: A Systematic Review*. *Cuadernos de Economía*, 47(134), 27-37.
47. Phuong, N. N. T., Ba, D. T., & Do Dieu, L. (2022). *Assessing the potential of community-based ecotourism toward sustainable development: A case study in Tua Chua Karst Plateau-Dien Bien-Viet Nam*. *Geo Journal of Tourism and Geosites*, 44(4), 1300-1305.
48. Hien, T. T. T., & Chu, H. J. (2024). *Revealing Ecotourism Potential of Streams and Waterfalls: Identification of Influential Factors in a Case Study from Thua Thien Hue Province, Vietnam*. *Sustainability*, 16(21), 9299.

A SYSTEMATIC REVIEW OF SPATIAL FACTORS IN ECOTOURISM SUITABILITY ASSESSMENT: APPLICATION-ORIENTED INSIGHTS FOR THAI NGUYEN PROVINCE

Phan Thi Mai Hoa¹ ², Tran Thi Ngoc¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology

² Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology

SUMMARY

The paper presents a systematic review of 42 studies, both domestic and international, to identify commonly used spatial factors in ecotourism suitability assessment through content analysis. The extracted factors are categorized into three main groups: natural - ecological, infrastructural - accessibility, and cultural - social. The findings indicate that topography, vegetation cover, water resources, transportation networks, and population density are among the most frequently utilized variables. Notably, there is a growing trend toward incorporating community-based and cultural heritage elements, especially in studies conducted in Vietnam and Southeast Asia. The paper further reveals regional differences in methodological focus: Chinese studies emphasize topographical complexity and NDVI; European approaches often integrate landscape preservation and infrastructure; Latin American research tends to prioritize biodiversity and tropical forest systems; whereas Vietnamese studies combine ecological resources with cultural identity. Based on these insights, a spatial evaluation framework tailored to the context of Thai Nguyen province is proposed. This framework not only contributes to the systematization of spatial criteria in ecotourism assessment but also provides a scientific foundation for land suitability mapping and strategic planning toward sustainable ecotourism development at the local level.

Key words: systematic content analysis, Ecotourism suitability, Thai Nguyen, spatial factors.

Ngày nhận bài: 11/4/2025

Ngày chuyển phản biện: 23/4/2025

Ngày thông qua phản biện: 6/5/2025

Ngày duyệt đăng: 9/5/2025