ỨNG DỤNG CHỈ SỐ SINH THÁI ĐẶC THÙ MỎ TRONG ĐÁNH GIÁ CHẤT LƯỢNG MÔI TRƯỜNG SINH THÁI KHU VỰC KHAI THÁC QUẶNG BÔ XÍT NHÂN CƠ, LÂM ĐỒNG

Đoàn Thị Nam Phương[1], Nguyễn Văn Trung[1], Trịnh Lê Hùng[2,*]

[1]Trường Đại học Mỏ Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam
[2]Học viện Kỹ thuật quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO
CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 21/3/2026
Ngày nhận bài sửa: 29/4/2026
Ngày chấp nhận đăng: 04/5/2026
[2,*]Tác giả liên hệ:
Email: trinhlehung@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Hoạt động khai thác mỏ đã làm thay đổi đáng kể các hệ sinh thái tự nhiên, dẫn đến suy thoái thảm thực vật, giảm độ ẩm đất, biến đổi nhiệt độ bề mặt đất và gia tăng ô nhiễm môi trường. Nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá chất lượng môi trường sinh thái của khu vực khai thác quặng bô xít Nhân Cơ thuộc tỉnh Lâm Đồng, bằng cách sử dụng Chỉ số Môi trường Sinh thái Đặc thù Mỏ (MSEEI) được xây dựng từ dữ liệu viễn thám Landsat đa thời gian. Ảnh vệ tinh Landsat các năm 2015, 2020, 2025 được sử dụng để tính các chỉ số phổ, bao gồm Chỉ số Thảm thực vật Tăng cường (EVI - Enhanced Vegetation Index), Chỉ số giám sát độ ẩm đất (SMMI - Soil Moisture Monitoring Index), Chỉ số khác biệt chuẩn hóa giữa khu vực xây dựng và đất (NDBSI - Normalized Difference Built-up and Soil Index), Chỉ số khác biệt (DI - Difference Index) và Nhiệt độ bề mặt đất (LST - Land Surface Temperature). Các chỉ số này được chuẩn hóa và tích hợp bằng phương pháp phân tích thành phần chính (PCA) để xây dựng MSEEI, đại diện cho chất lượng môi trường sinh thái tổng thể của khu vực khai thác mỏ. Kết quả cho thấy chất lượng môi trường sinh thái trong khu vực khai thác quặng bô xít Nhân Cơ có thay đổi đáng kể trong giai đoạn 2015-2025, trong đó xu thế chính là sự phục hồi môi trường sinh thái. Những kết quả đạt được trong bài báo cung cấp cơ sở khoa học có giá trị cho việc lập kế hoạch phục hồi sinh thái và quản lý khai thác mỏ bền vững trong các khu vực khai thác mỏ.

Từ khóa: *chỉ số môi trường sinh thái đặc thù mỏ, khai thác bô xít, Nhân Cơ, Landsat*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hoạt động khai thác mỏ có vai trò rất quan trọng đối với sự phát triển kinh tế-xã hội, cung cấp các nguồn tài nguyên khoáng sản thiết yếu cho sản xuất công nghiệp, xây dựng cơ sở hạ tầng và nhu cầu năng lượng. Tuy nhiên, khai thác mỏ, đặc biệt là các hoạt động khai thác lộ thiên quy mô lớn thường gây ra những xáo trộn đáng kể cho hệ sinh thái tự nhiên. Những xáo trộn này bao gồm việc phá hủy thảm thực vật, xói mòn đất, suy thoái đất, gián đoạn hệ thống thủy văn và suy giảm lâu dài khả năng chịu tải sinh thái [1], [2]. Các phương pháp nghiên cứu truyền thống dựa trên kết quả khảo sát thực địa cung cấp thông tin chi tiết về khu vực khai thác khoáng sản, nhưng thường tốn kém, mất thời gian và bị hạn chế về phạm vi không gian. Những hạn chế này có thể khắc phục khi sử dụng công nghệ viễn thám, trong đó dữ liệu viễn thám cho phép quan sát liên tục trên diện tích lớn và trong thời gian dài với chi phí thấp [3], [4]. Hình ảnh vệ tinh cho phép phát hiện sớm các biến động về môi trường sinh thái, nhất là với các khu vực ở địa bàn khó khăn trong việc tiếp cận.

Trong những thập kỷ gần đây, viễn thám đã được ứng dụng rộng rãi trong đánh giá môi trường sinh thái. Các quan sát dựa trên dữ liệu viễn thám đã hỗ trợ giám sát sức khỏe thảm thực vật, suy thoái đất, biến động độ ẩm đất và các mô hình nhiệt độ bề mặt [5]. Các vệ tinh như Landsat, Sentinel

và MODIS cung cấp các bộ dữ liệu ảnh viễn thám dài hạn, miễn phí và hiệu quả cho việc phát hiện sự thay đổi trên bề mặt Trái Đất. Trong đó, ảnh vệ tinh Landsat đặc biệt có giá trị cao nhờ kho lưu trữ nhiều thập kỷ, độ phân giải không gian vừa phải (30 m) và phạm vi phủ sóng toàn cầu, phù hợp cho việc phân tích tác động sinh thái dài hạn trong các khu vực khai thác mỏ. Một số nghiên cứu ở Việt Nam đã sử dụng dữ liệu viễn thám phục vụ đánh giá biến động một số thành phần môi trường như nước, không khí, lớp phủ thực vật [1] cũng như phân vùng chất lượng sinh thái [2] ở các khu vực khai thác mỏ.

Để đánh giá định lượng các điều kiện sinh thái trên bề mặt Trái Đất, nhiều chỉ số viễn thám và chỉ số tổng hợp đã được phát triển [6], [7]. Các chỉ số thực vật như Chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI) và Chỉ số thực vật nâng cao (EVI) thường được sử dụng để đánh giá độ che phủ thực vật và năng suất hệ sinh thái [3], [8]. Các chỉ số khác, bao gồm nhiệt độ bề mặt đất (LST), các chỉ số độ ẩm đất và các chỉ số đất xây dựng/đất trống, cung cấp thông tin bổ sung về điều kiện nhiệt, lượng nước trong đất và độ phơi lộ bề mặt (surface exposure). Tuy nhiên, các chỉ số đơn lẻ thường chỉ nắm bắt một khía cạnh của môi trường và có thể không thể hiện đầy đủ sự phức tạp của các hệ sinh thái. Để khắc phục hạn chế này, các mô hình đánh giá sinh thái tích hợp đã được đề xuất. Chỉ số sinh thái viễn thám (RSEI - Remote Sensing Ecology Index), kết hợp các chỉ số về độ xanh, độ ẩm, độ khô và nhiệt độ, là một trong những phương pháp được áp dụng rộng rãi nhất để đánh giá sinh thái khu vực toàn diện [9]. Mặc dù hiệu quả trong các nghiên cứu môi trường nói chung, RSEI không được thiết kế đặc biệt cho các khu vực khai thác mỏ, nơi các tác động như mất thảm thực vật đột ngột, diện tích bề mặt trống trải rộng lớn, ô nhiễm bụi và các dị thường nhiệt diễn ra mạnh mẽ và cục bộ hơn. Zhang và cộng sự (2023) đã phát triển chỉ số sinh thái đặc thù mỏ - MSEEI (Mine-Specific Eco-Environment Index) nhằm khắc phục những hạn chế của chỉ số RSEI [10]. Chỉ số MSEEI được xây dựng dựa trên các thành phần môi trường chính bị ảnh hưởng trực tiếp bởi hoạt động khai thác mỏ, bao gồm thảm thực vật, độ ẩm đất, bề mặt đất, ô nhiễm bụi trong khí quyển và đặc điểm nhiệt.

Khu vực khai thác quặng bô xít Nhân Cơ nằm trên địa bàn xã Nhân Cơ, tỉnh Lâm Đồng, thuộc khu vực Tây Nguyên. Đây là một trong những dự án khai thác và chế biến bô xít quy mô lớn của Việt Nam, với mục tiêu cung cấp alumin phục vụ phát triển công nghiệp nhôm và các ngành kinh tế liên quan. Hoạt động khai thác bô xít tại Nhân Cơ chủ yếu theo phương thức lộ thiên, đi kèm với các khâu bóc tách tầng phủ, tuyển rửa quặng và xử lý bùn đỏ. Quá trình này làm biến đổi mạnh mẽ bề mặt địa hình, cấu trúc thổ nhưỡng, thảm thực vật và các điều kiện sinh thái tự nhiên của khu vực; đòi hỏi phải có những nghiên cứu về sự thay đổi chất lượng môi trường sinh thái. Bài báo này trình bày kết quả ứng dụng chỉ số MSEEI trên cơ sở dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat các năm 2015, 2020 và 2025 nhằm đánh giá chất lượng môi trường sinh thái khu vực khai thác và chế biến bô xít Nhân Cơ (tỉnh Lâm Đồng).

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Dữ liệu

Trong nghiên cứu này, dữ liệu phản xạ bề mặt mức độ 2 (Level 2) thuộc bộ sưu tập Landsat thu thập từ kho lưu trữ của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) được sử dụng để tính chỉ số MSEEI. Để giảm thiểu tác động của mây, các ảnh có độ che phủ mây dưới 20% đã được chọn. Dữ liệu Landsat cũng được sử dụng để tính toán một số chỉ số thành phần, bao gồm Chỉ số thực vật tăng cường (EVI), Chỉ số giám sát độ ẩm đất (SMMI), Chỉ số Khác biệt chuẩn hóa giữa khu vực xây dựng và đất trống (NDBSI), Chỉ số khác biệt (DI) và Nhiệt độ bề mặt đất (LST). Ngoài ảnh vệ tinh, dữ liệu Mô hình số độ cao (DEM) được tích hợp để mô tả các đặc điểm địa hình của khu vực nghiên cứu. Ảnh vệ tinh Landsat khu vực khai thác quặng bô xít Nhân Cơ được thể hiện trên Hình 1.

Hình 1. Ảnh vệ tinh Landsat khu vực Nhân Cơ các năm 2015, 2020 và 2025

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Tất cả các bước trong quá trình xử lý ảnh vệ tinh Landsat đều được thực hiện trên nền tảng điện toán đám mây Google Earth Engine (GEE). Ảnh sau khi tiền xử lý được cắt theo ranh giới khu vực khai thác quặng bô xít Nhân Cơ và lấy mẫu lại với độ phân giải không gian đồng nhất là 30 m. Bước này đảm bảo tính nhất quán về không gian trong tính toán các chỉ số sinh thái và phân tích không gian ở các bước tiếp theo.

Để mô tả đặc điểm điều kiện sinh thái của khu vực khai thác quặng bô xít, 05 chỉ số sinh thái đại diện cho các thành phần môi trường chính bị ảnh hưởng trực tiếp bởi hoạt động khai thác mỏ được xác định từ ảnh vệ tinh Landsat, bao gồm: EVI, SMMI, NDBSI, DI và LST. Chỉ số sinh thái môi trường đặc thù của mỏ (MSEEI) được tính toán bằng cách sử dụng thành phần chính thứ nhất (PC_1) thu được từ quá trình phân tích thành phần chính (PCA) đối với 05 chỉ số thành phần trên. Chỉ số MSEEI sau đó được chuẩn hóa lại về phạm vi từ 0 đến 1 bằng cách sử dụng công thức sau:

$$MSEEI = \frac{PC_1 - PC_{1\min}}{PC_{1\max} - PC_{1\min}}$$

Trong đó PC_1 là giá trị của thành phần chính thứ nhất; PC_{1min} và PC_{1max} là giá trị tối thiểu và tối đa của PC1 trên toàn chuỗi thời gian ở khu vực nghiên cứu.

Chỉ số MSEEI sau khi được chuẩn hóa về khoảng giá trị từ 0 đến 1 được phân cấp thành 5 mức sinh thái theo phương pháp phân lớp đều (Equal Interval) [Zhang]. Cụ thể, các mức được xác định như sau: rất kém (0–0,2), kém (0,2–0,4), trung bình (0,4–0,6), tốt (0,6–0,8) và rất tốt (0,8–1,0) [10].

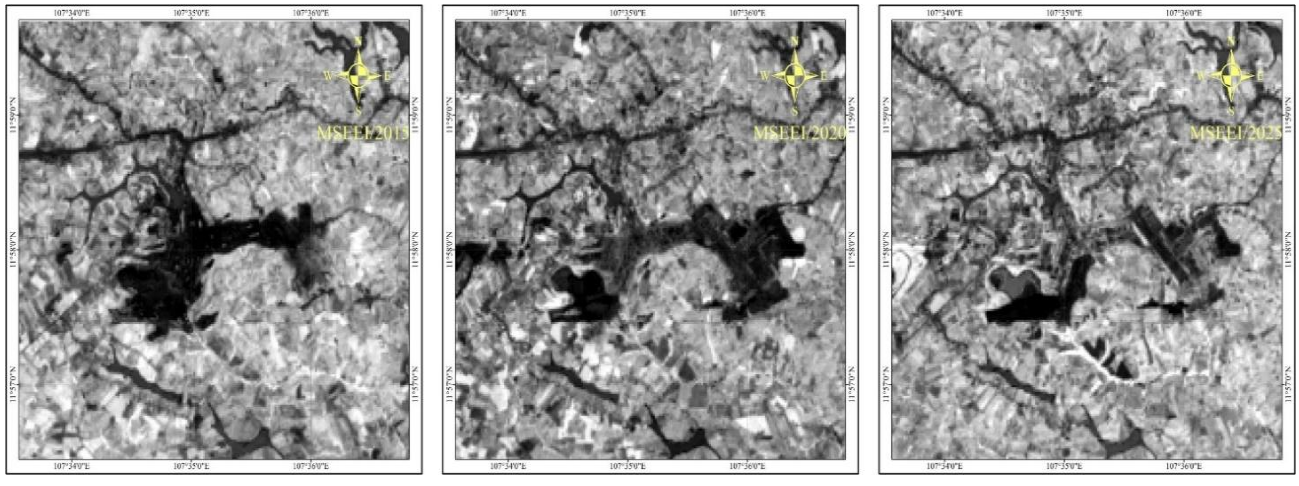
Bảng 1. Bảng phân cấp giá trị MSEEI

Khoảng	Mức sinh thái
0 – 0,2	Rất kém
0,2 – 0,4	Kém
0,4 – 0,6	Trung bình
0,6 – 0,8	Tốt
0,8 – 1,0	Rất tốt

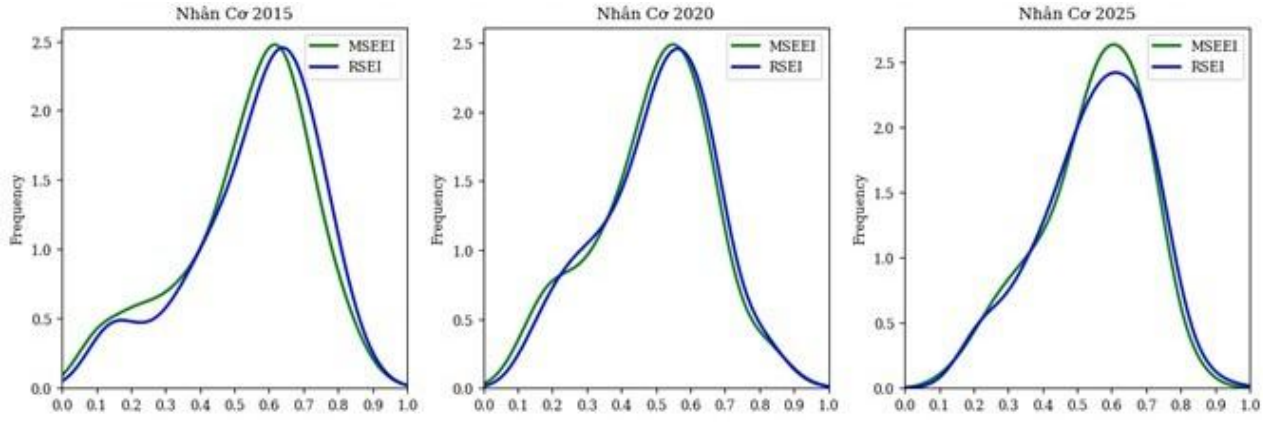
Giá trị MSEEI cao hơn cho thấy chất lượng môi trường sinh thái tổng thể tốt hơn, trong khi giá trị MSEEI thấp phản ánh sự suy thoái sinh thái do ảnh hưởng bởi khai thác mỏ. Chỉ số này cung cấp một thước đo tương đối toàn diện cho những xáo trộn đặc thù của các vùng khai thác mỏ [10].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trên Hình 2 trình bày kết quả tính chỉ số MSEEI từ ảnh vệ tinh Landsat khu vực khai thác quặng bô xít Nhân Cơ các năm 2015, 2020, 2025. Để đánh giá khả năng phản ánh chất lượng môi trường sinh thái của chỉ số MSEEI, nghiên cứu đã tiến hành so sánh phân bố giá trị MSEEI với chỉ số RSEI – một chỉ số phổ biến và được công nhận rộng rãi trong đánh giá môi trường dựa trên dữ liệu viễn thám. Việc so sánh này nhằm kiểm chứng tính hợp lý, độ tin cậy và tính đặc thù của MSEEI khi áp dụng cho các khu vực khai thác mỏ.

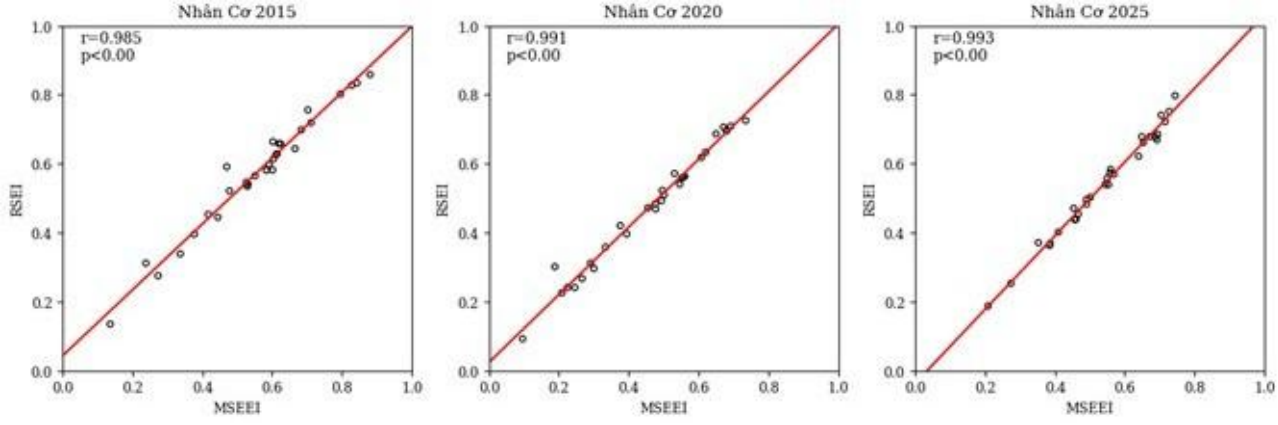


Hình 2. Kết quả tính chỉ số MSEEI từ ảnh vệ tinh Landsat giai đoạn 2015-2025



Hình 3. Phân bố tần suất của chỉ số MSEEI và RSEI tại khu vực Nhân Cơ giai đoạn 2015-2025.

Hình 3 thể hiện phân bố tần suất giá trị của hai chỉ số MSEEI và RSEI tại khu vực Nhân Cơ trong các năm 2015, 2020 và 2025. Cả hai chỉ số đều có dạng phân bố gần chuẩn, với đỉnh tập trung chủ yếu trong khoảng giá trị trung bình (khoảng 0,5–0,7), phản ánh sự chiếm ưu thế của các điều kiện sinh thái mức trung bình trong khu vực nghiên cứu. Tuy nhiên, giữa hai chỉ số vẫn tồn tại một số khác biệt đáng chú ý. Phân bố của MSEEI có xu hướng dịch chuyển nhẹ về phía các giá trị cao hơn so với RSEI, đặc biệt rõ trong năm 2025. Bên cạnh đó, đường cong của MSEEI thể hiện độ phân tán lớn hơn ở một số khoảng giá trị, hàm ý khả năng phân biệt tốt hơn giữa các mức độ sinh thái. Sự tương đồng về hình dạng phân bố giữa hai chỉ số cho thấy tính nhất quán trong việc phản ánh xu thế chung của môi trường sinh thái tại khu vực nghiên cứu.



Hình 4. Mối tương quan giữa MSEEI và RSEI tại Nhân Cơ trong các năm 2015, 2020, 2025

Hình 4 minh họa mối quan hệ giữa MSEEI và RSEI tại khu vực Nhân Cơ trong các năm 2015, 2020 và 2025 thông qua biểu đồ phân tán. Kết quả cho thấy hai chỉ số có tương quan tuyến tính rất chặt chẽ, với hệ số tương quan cao qua các năm (r = 0,985 năm 2015; r = 0,991 năm 2020; và r = 0,993 năm 2025), đồng thời đều có ý nghĩa thống kê (p < 0,001). Các điểm dữ liệu tập trung dọc theo đường hồi quy, phản ánh sự nhất quán giữa MSEEI và RSEI trong việc mô tả trạng thái môi trường sinh thái.

Bảng 2. Hệ số tương quan trung bình giữa chỉ số MSEEI và các chỉ số thành phần

Năm	EVI	SMMI	NDBSI	DI	LST	MSEEI
2015	0,988	0,751	-0,503	-0,988	-0,147	0,675
2020	0,975	0,693	-0,525	-0,968	-0,309	0,694
2025	0,994	0,854	-0,659	-0,993	-0,193	0,739
Trung bình	0,986	0,766	-0,562	-0,983	-0,216	0,703

Kết quả phân tích tương quan (Bảng 2) cho thấy chỉ số MSEEI có mối quan hệ thuận khá chặt với EVI và SMMI, qua đó nhấn mạnh vai trò tích cực của thảm thực vật và độ ẩm đất đối với việc cải thiện chất lượng môi trường sinh thái. Ngược lại, NDBSI và DI thể hiện tương quan âm rõ rệt với MSEEI, cho thấy sự gia tăng của bề mặt đất trống và điều kiện khô hạn có xu hướng làm suy giảm trạng thái môi trường. Đối với LST, mặc dù mức độ tương quan âm không lớn, kết quả vẫn cho thấy nhiệt độ bề mặt có ảnh hưởng nhất định đến điều kiện sinh thái khu vực. Tổng thể, các mối quan hệ này cho thấy các chỉ số thành phần được lựa chọn có khả năng phản ánh tương đối đầy đủ các khía cạnh chính của môi trường sinh thái, đồng thời củng cố cơ sở cho việc tích hợp chúng trong xây dựng chỉ số MSEEI.

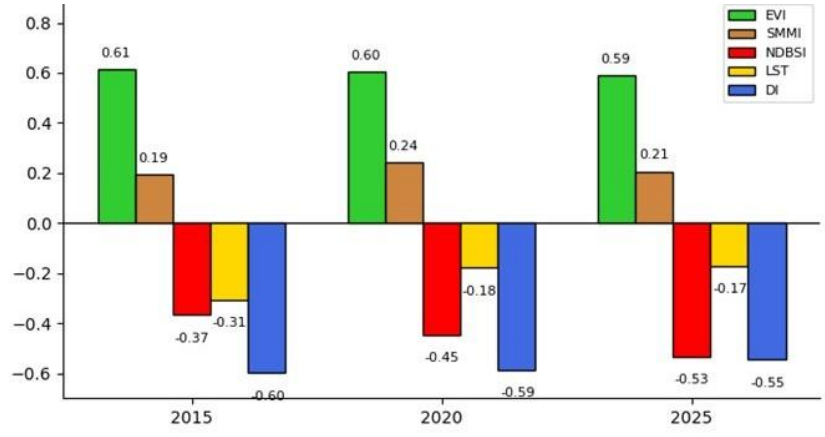
Bảng 3. Giá trị trung bình của các yếu tố môi trường sinh thái sau khi chuẩn hóa

Năm	2015	2020	2025
EVI	0,33	0,33	0,39
SMMI	0,17	0,17	0,18
NDBSI	-0,08	-0,08	-0,16
DI	-0,17	-0,18	-0,21
LST	0,43	0,47	0,25
MSEEI	0,51	0,53	0,56

Kết quả từ Bảng 3 cho thấy các chỉ số sinh thái có sự biến đổi khác nhau trong các năm 2015, 2020 và 2025, phản ánh tác động tổng hợp của hoạt động khai thác mỏ đến môi trường. Chỉ số EVI có xu hướng tăng nhẹ, gợi ý quá trình phục hồi dần của thảm thực vật, trong khi SMMI hầu như không biến động đáng kể, cho thấy điều kiện độ ẩm đất tương đối ổn định trong suốt thời kỳ nghiên cứu.

Ở chiều ngược lại, NDBSI và DI có xu hướng giảm theo thời gian, hàm ý sự thu hẹp của bề mặt đất trống và mức độ khô hạn. Đối với LST, sự dao động rõ rệt giữa các năm cho thấy nhiệt độ bề mặt chịu ảnh hưởng đáng kể từ hoạt động khai thác.

Tổng hợp các biến này, giá trị trung bình của MSEEI tăng từ 0,51 (năm 2015) lên 0,56 (năm 2025), cho thấy xu hướng cải thiện nhất định của môi trường sinh thái. Tuy vậy, mức độ cải thiện còn hạn chế và môi trường khu vực vẫn chịu tác động đáng kể từ các hoạt động khai thác.



Hình 5. Hệ số tải của các chỉ số EVI, SMMI, NDBSI, LST và DI trên thành phần chính thứ nhất (PC1) trong các năm 2015, 2020, 2025

Để đánh giá mức độ đóng góp của các chỉ số thành phần trong việc xây dựng MSEEI, nghiên cứu sử dụng kỹ thuật phân tích thành phần chính (PCA-Principal Component Analysis) nhằm xác định vai trò tương đối của từng yếu tố sinh thái, đồng thời giảm chiều dữ liệu đầu vào. Hệ số tải của

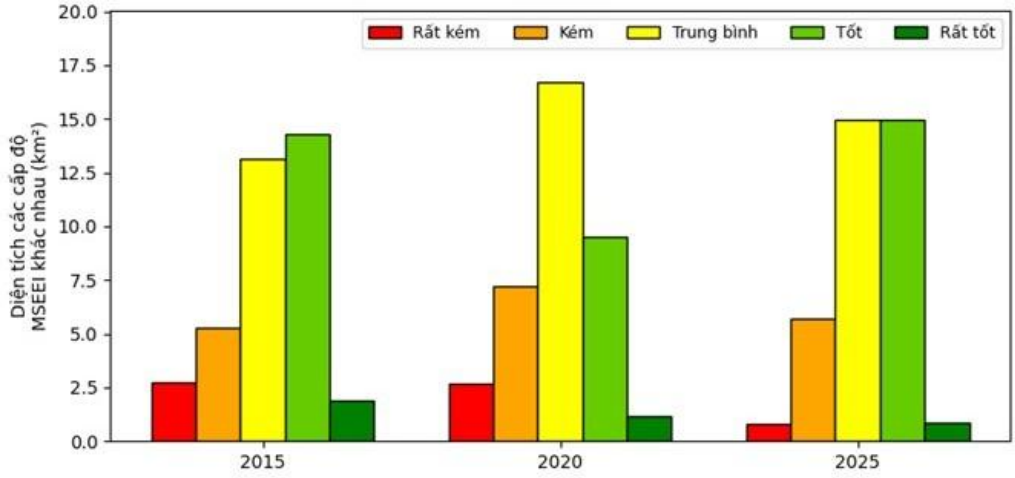
các chỉ số trên thành phần chính thứ nhất (PC1) được trình bày trong Hình 5. Kết quả cho thấy EVI có hệ số tải dương lớn nhất trên PC1 trong cả ba năm, cho thấy đây là yếu tố chi phối chính đối với trạng thái môi trường sinh thái. Ngược lại, NDBSI và DI có hệ số tải âm rõ rệt, phản ánh vai trò của các yếu tố liên quan đến bề mặt đất trống và điều kiện khô hạn trong việc làm suy giảm chất lượng môi trường. LST cũng có hệ số tải âm, nhưng mức độ ảnh hưởng thấp hơn so với các chỉ số trên. Nhìn chung, PCA không chỉ giúp giảm sự dư thừa thông tin giữa các biến mà còn làm rõ các yếu tố chi phối chính của môi trường sinh thái. Kết quả này củng cố cơ sở cho việc sử dụng PC1 trong xây dựng chỉ số MSEEI phục vụ đánh giá khu vực nghiên cứu.

Bảng 4. Tỷ lệ phần trăm các cấp độ MSEEI trong phạm vi khu mỏ Nhân Cơ

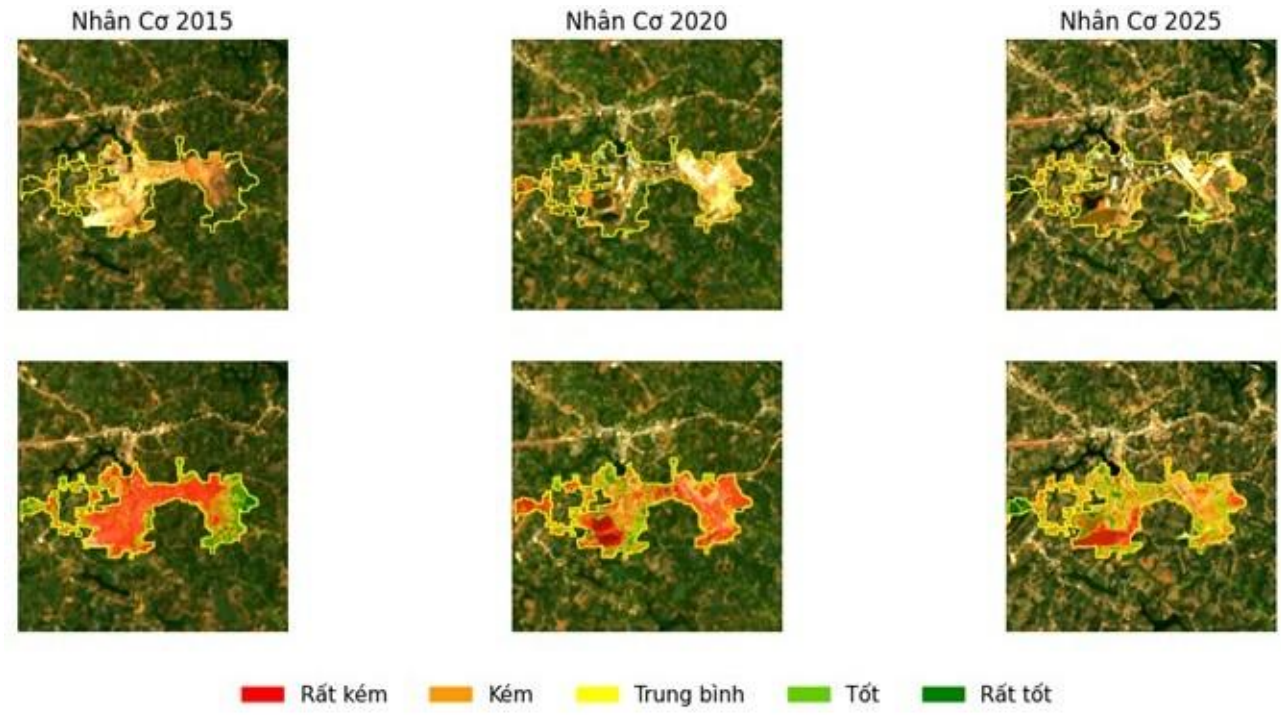
Khu vực mỏ	Phân cấp	2015	2020	2025
Mỏ Nhân Cơ (6.67 km²)	Rất kém	83,66	81,93	77,08
	Kém	8,27	12,36	12,34
	Trung bình	5,18	4,62	8,03
	Tốt	2,60	1,01	2,16
	Rất tốt	0,29	0,09	0,39

Sau khi phân tích phân bố không gian trạng thái sinh thái, trong nghiên cứu tiếp tục xem xét tỷ lệ diện tích các cấp sinh thái trong phạm vi khu mỏ Nhân Cơ nhằm làm rõ xu hướng biến đổi theo thời gian (Bảng 4). Kết quả cho thấy cấp sinh thái rất kém chiếm ưu thế trong toàn bộ giai đoạn nghiên cứu, mặc dù tỷ lệ này giảm từ 83,66% năm 2015 xuống còn 77,08% vào năm 2025. Đồng thời, diện tích các cấp trung bình và tốt có xu hướng tăng nhẹ. Những biến động này phản ánh sự cải thiện

bước đầu trong phân bố các cấp sinh thái, dù mức độ thay đổi chưa lớn. Điều này cũng phù hợp với thực trạng hoạt động của khu vực khai thác quặng bô xít Nhân Cơ, thể hiện rõ sự biến đổi theo các giai đoạn từ bóc tách lớp phủ để khai thác quặng, giai đoạn khai thác ổn định với cường độ tác động cao đến môi trường, cho đến khi bước đầu có sự hoàn thổ, cải tạo và từng bước phục hồi bề mặt địa hình, thảm phủ bề mặt (Hình 6).



Hình 6. Diện tích các cấp độ trạng thái sinh thái của khu vực Nhân Cơ trong các năm 2015, 2020, 2025



Hình 7. Trạng thái sinh thái khu vực Nhân Cơ trong các năm 2015, 2020, 2025

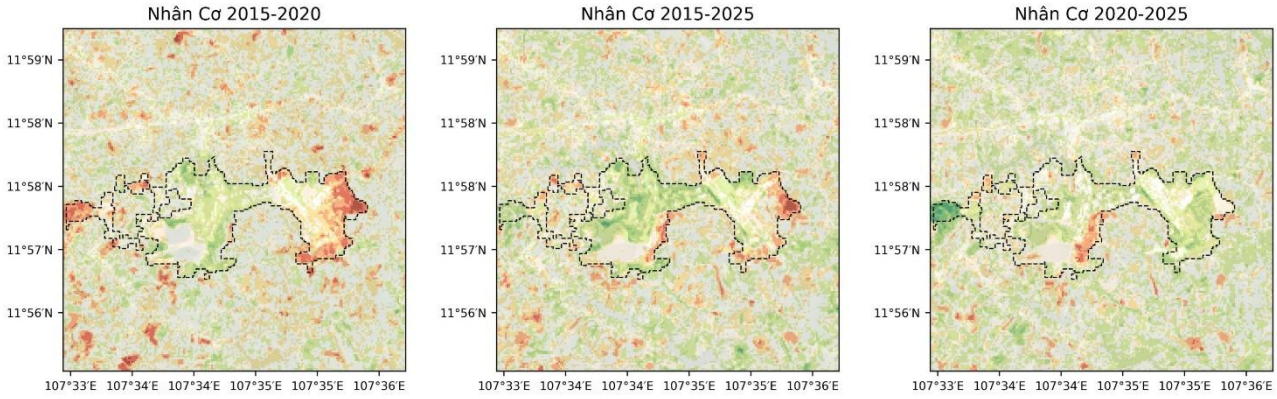
Hình 7 thể hiện phân bố không gian trạng thái sinh thái trong phạm vi khu mỏ Nhân Cơ. Kết quả cho thấy các khu vực có giá trị MSEEI thấp tập trung chủ yếu tại vùng khai thác và bãi thải (thể hiện chất lượng môi trường sinh thái thấp), trong khi các giá trị cao hơn phân bố tại khu vực lân cận (chất lượng môi trường sinh thái tốt hơn). Sự phân hóa này phản ánh rõ sự khác biệt về trạng thái sinh thái giữa các khu vực trong phạm vi nghiên cứu.

3.5. Biến động sinh thái

Bảng 5. Phát hiện biến động các cấp độ MSEEI trong giai đoạn 2015 - 2025

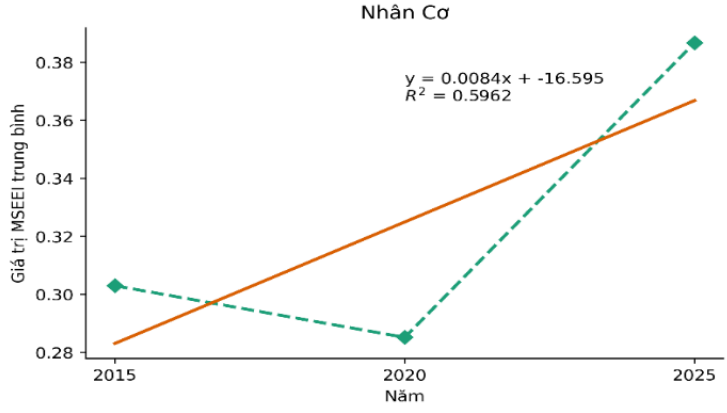
ΔMSEEI			Giảm				Không đổi	Tăng			
			-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
Nhân Cơ	2015-2020	Diện tích (km^2)	0,01	0,07	0,21	1,03	2,08	0,67	0,07	0,01	0,00
		Tỷ lệ (%)	0,18	1,73	5,15	24,88	50,27	16,08	1,59	0,13	0,00
	2020-2025	Diện tích (km^2)	0,00	0,01	0,08	0,47	1,99	1,40	0,15	0,02	0,01
		Tỷ lệ (%)	0,00	0,26	2,05	11,46	47,99	33,92	3,65	0,48	0,19

Kết quả phân tích biến động (Bảng 5) cho thấy trong giai đoạn 2015–2020, diện tích không thay đổi chiếm tỷ lệ lớn nhất (khoảng 50,27%), trong khi diện tích suy giảm chiếm khoảng 31% và diện tích cải thiện chiếm tỷ lệ nhỏ hơn. Sang giai đoạn 2020–2025, diện tích thuộc nhóm cải thiện tăng đáng kể (khoảng 33,92%), đồng thời diện tích suy giảm giảm rõ rệt. Các kết quả này cho thấy xu hướng biến động trạng thái sinh thái có sự khác biệt giữa hai giai đoạn nghiên cứu.



Hình 8. Biến động sinh thái tại khu vực mỏ Nhân Cơ trong các năm 2015, 2020, 2025

Hình 8 thể hiện phân bố không gian của biến động MSEEI trong khu vực nghiên cứu. Các khu vực có xu hướng suy giảm tập trung chủ yếu tại vùng khai thác chính và các bãi thải lớn, trong khi các khu vực có xu hướng cải thiện phân bố tại vùng rìa mỏ và các khu vực lân cận. Kết quả cho thấy sự phân hóa không gian rõ rệt trong biến động trạng thái sinh thái giữa các khu vực khác nhau.



Hình 9. Giá trị trung bình của chỉ số MSEEI tại các khu mỏ nghiên cứu trong các năm 2015, 2020, 2025

Để đánh giá xu thế biến đổi chất lượng môi trường sinh thái theo thời gian, nghiên cứu đã phân tích giá trị trung bình của chỉ số MSEEI trong phạm vi khu mỏ Nhân Cơ qua các năm 2015, 2020 và 2025. Kết quả được thể hiện trong Hình 9, với đường xu thế tuyến tính và phương trình hồi quy nhằm minh họa rõ ràng xu hướng thay đổi của MSEEI trong giai đoạn nghiên cứu.

Trong giai đoạn 2015 - 2020, MSEEI giảm nhẹ, phản ánh tác động mạnh mẽ của khai thác trong thời kỳ này. Tuy nhiên, đến năm 2025, MSEEI tăng đáng kể, cho thấy sự cải thiện rõ nét ở một số khu vực. Do đó, đường hồi quy tuyến tính có mức độ phù hợp thấp hơn (R^2 thấp), phản ánh xu thế biến đổi sinh thái tại đây phức tạp hơn và không tuân theo mô hình tuyến tính đơn giản. Sự thay đổi này có thể xuất phát từ việc điều chỉnh quy mô khai thác, mở rộng hoặc thu hẹp khu vực hoạt động, cũng như hiệu quả của các biện pháp phục hồi môi trường được triển khai trong giai đoạn gần đây.

Nhìn chung, kết quả phân tích xu thế cho thấy môi trường sinh thái trong phạm vi khu mỏ Nhân Cơ có sự biến đổi theo thời gian phức tạp nhưng đã ghi nhận dấu hiệu cải thiện đáng kể trong giai đoạn gần đây. Những khác biệt này không chỉ phản ánh mức độ tác động của hoạt động khai thác mà còn cho thấy tiềm năng phục hồi sinh thái khi áp dụng hiệu quả các biện pháp quản lý và cải tạo môi trường. Kết quả cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để đánh giá hiệu quả các chương trình phục hồi và định hướng chiến lược khai thác khoáng sản bền vững tại các khu vực khai thác quặng bô xít ở Việt Nam.

4. KẾT LUẬN

➢ Nghiên cứu đã xây dựng và áp dụng chỉ số MSEEI để đánh giá biến động môi trường sinh thái tại khu mỏ Nhân Cơ trong các năm 2015, 2020 và 2025. Kết quả cho thấy chỉ số này phản ánh khá rõ trạng thái môi trường, trong đó EVI đóng vai trò chi

phối, trong khi các yếu tố như NDBSI, DI và LST có xu hướng tác động theo chiều hướng suy giảm;

➢ Phân tích theo không gian và thời gian cho thấy môi trường sinh thái tại khu vực nghiên cứu biến động đáng kể, với xu hướng suy giảm trong giai đoạn đầu và cải thiện dần trong những năm gần đây. Các khu vực khai thác lộ thiên và bãi thải có chất lượng sinh thái thấp, trong khi một số vùng rìa mỏ đã ghi nhận dấu hiệu phục hồi. Mối tương quan chặt chẽ giữa MSEEI và RSEI cho thấy sự nhất quán trong đánh giá, đồng thời cho thấy MSEEI có khả năng phản ánh rõ hơn các đặc trưng môi trường tại khu vực khai thác khoáng sản. Nhìn chung, nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học phục vụ công tác giám sát, đánh giá và định hướng quản lý môi trường sinh thái theo hướng phát triển bền vững tại các khu vực khai thác quặng bô xít ❐

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Quốc Khánh, "Ứng dụng hệ thống viễn thám, GIS theo dõi sự biến động của một số thành phần môi trường do hoạt động khai thác khoáng sản bô xít" *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, số 751, tr. 1–18, 2023, doi:10.36335/VNJHM.2023(751).1-18.

[2] Nguyễn Thị Cúc, Vũ Thị Phương Thảo, Phan Thị Mai Hoa, "Ứng dụng GIS, viễn thám và phương pháp phân tích đa chỉ tiêu đánh giá và phân vùng nhạy cảm sinh thái thành phố Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh", *Tạp chí Khoa học Tài nguyên và Môi trường*, số 53, tr. 175-186, 2024.

[3] H. A. Anwer, T. Mohamed and A. Hassan, "Assessing vegetation dynamics in Al Jazirah, Sudan using NDVI-based remote sensing techniques", *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *vol. 24, no.*18, 2025, doi:https://doi.org/10.1007/s44447-025-00011-0

[4] Do Thi Phuong Thao, Bui Ngoc Quy, Trinh Le Hung, "Potential of using satellite remote sensing and GIS in monitoring of mine disasters", *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, *vol.1, no. 2*, 773 – 782, 2025.

[5] A. K. Holtgrave, M. Forster, C. Christine, M. D. Raya-Sereno, V. Burchard-Levine, J. Morel, M. Rossi, D. Rocchini, M. Schwieder, P. Hostert, F. Fassnacht and B. Kleinschmit, "Review of remote Sensing indices for monitoring environmental grassland indicators in Europe", *Ecological Indicators, vol. 185*, 114372, 2026, doi: https://data.europa.eu/doi/10.1016/j.ecolind.2026.114732.

[6] A. Belmonte, C. Riefolo, G. Buttafuoco and A. Castrignano, "An approach for spatial statistical modelling remote sensing data of land cover by fusing data of different types*", Remote Sensing, vol. 17, no. 1*, 123, 2025, doi: https://doi.org/10.3390/rs17010123.

[7] H. Q. Xu, "A remote sensing urban ecological index and its application", *Acta Ecologica Sinica, vol. 33, no. 24*, 7853 - 7862, 2013.

[8] H. Xu , Y. Wang, H. Guan, T. Shi and X. Hu , "Detecting Ecological Changes with a Remote Sensing Based Ecological Index (RSEI) Produced Time Series and Change Vector Analysis", *Remote Sensing, vol. 11*, 2345, 2019.

[9] C. Matyukira, P. Mhangara, E. Gidey and J. Hussein, "Assessing environmental drivers of vegetation health using enhanced vegetation index and principal component analysis: a case study of the Cradle Nature Reserve, Gauteng province, South Africa*", Geocarto International, vol.40, no. 1*, 2025.

[10] P. Zhang, X. Chen, Y. Ren, S. Lu, D. Song and Y. Wang, "A Novel Mine-Specific Eco-Environment Index (MSEEI) for Mine Ecological Environment Monitoring Using Landsat Imagery", *Remote Sensing, vol. 15*, 933, https://doi.org/10.3390/ rs15040933, 2023.

APPLICATION OF THE MINE-SPECIFIC REMOTE SENSING ECOLOGICAL INDEX FOR ASSESSING ECO-ENVIRONMENTAL QUALITY IN THE NHAN CO BAUXITE MINING AREA, LAM DONG PROVINCE

Thi Nam Phuong Doan[1], Van Trung Nguyen[1], Le Hung Trinh [2,*]

[1]Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Ha Noi, Vietnam
[2]Le Quy Don Technical University, 236 Hoang Quoc Viet, Nghia Do, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR
TYPE: Research Article
Received: 21/3/2026
Revised: 29/4/2026
Accepted: 04/5/2026
[2,*] Corresponding author:
Email: trinhlehung@lqdtu.edu.vn

SUMMARY

Mining activities have significantly altered natural ecosystems, resulting in vegetation degradation, reduced soil moisture, changes in land surface temperature, and increased environmental pollution. This study aims to assess the eco-environmental quality of the Nhan Co bauxite mining area in Lam Dong Province by applying the Mine-Specific Eco-Environment Index (MSEEI), which is constructed using multi-temporal Landsat remote sensing data. Landsat satellite imagery from 2015, 2020, and 2025 was employed to derive a set of spectral indices, including the Enhanced Vegetation Index (EVI), Soil Moisture Monitoring Index (SMMI), Normalized Difference Built-up and Soil Index (NDBSI), Difference Index (DI), and Land Surface Temperature (LST). These indices were normalized and integrated using Principal Component Analysis (PCA) to develop the MSEEI, which represents the overall eco-environmental quality of the mining area. The results indicate that the eco-environmental quality of the Nhan Co bauxite Mining Area experienced significant changes during the period 2015–2025, with an overall trend toward eco-environmental recovery. The findings of this study provide a valuable scientific basis for ecological restoration planning and sustainable mining management in mining regions.

Keywords: *eco-environmental index; bauxite mining; Nhan Co; Landsat.*

@Vietnam Mining Science and Technology Association