



ĐÁNH GIÁ SỰ THAY ĐỔI HIỆN TRẠNG RỪNG BẰNG CHỈ SỐ THỰC VẬT KHÁC BIỆT CHUẨN HOÁ (NDVI) TẠI HUYỆN A LƯỚI, TỈNH THỪA THIÊN HUẾ TRONG GIAI ĐOẠN 1991–2022

Trần Quốc Cảnh*, Trần Nam Thắng, Nguyễn Văn Lợi, Lê Thái Hùng, Văn Thị Yến

Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, 102 Phùng Hưng, Huế, Việt Nam

* Tác giả liên hệ: Trần Quốc Cảnh <canhtq@gmail.com>

(Ngày nhận bài: 23-11-2022; Ngày chấp nhận đăng: 25-1-2023)

Tóm tắt. Đánh giá độ che phủ bề mặt là công việc hết sức quan trọng, đặc biệt là độ che phủ rừng, giúp quản lý và xây dựng kế hoạch bảo vệ và phát triển rừng hiệu quả hơn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng nguồn ảnh viễn thám Landsat 5, 8 trong tháng 4 của các năm 1991, 2016 và 2022 để đánh giá mối tương quan giữa hiện trạng rừng và chỉ số NDVI và tiến hành kiểm chứng ngẫu nhiên 4.911 điểm trên bản đồ hiện trạng rừng năm 2016. Kết quả cho thấy mối tương quan giữa hiện trạng của đất trống, đất trống có cây gỗ rải rác, rừng trồng, rừng tự nhiên thông qua trữ lượng gỗ và chỉ số NDVI là tương đối mạnh, thể hiện qua phương trình tương quan: $MaHTR = 1/(1,851 - 1,936 \times NDVI_{2016})$ với $R^2 = 67,4\%$ ở $p < 0,05$. Kết quả từ năm 1991 đến năm 2022 cho thấy hiện trạng rừng tại khu vực nghiên cứu có chỉ số NDVI tăng ở những vùng rừng tự nhiên và thấp các khu vực gần dân cư, hệ thống giao thông và thủy điện.

Từ khoá: hiện trạng rừng, chỉ số thực vật, NDVI, huyện A Lưới

Assessment of forest status change based on normalized difference vegetation index in Aluoi district, Thua Thien Hue province

Tran Quoc Canh*, Tran Nam Thang, Nguyen Van Loi, Le Thai Hung, Van Thi Yen

University of Agriculture and Forestry, Hue University, 102 Phung Hung St., Hue, Vietnam

* Correspondence to Tran Quoc Canh <canhtq@gmail.com>

(Submitted: November 23, 2022; Accepted: January 25, 2023)

Abstract. Assessment of the vegetation cover, particularly the forest cover, is crucial for effectively managing and building forest development and protection plans. In this study, we used Landsat - 5, 8 satellite images in April of 1991, 2016, and 2022 to evaluate the correlation between forest status and the

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and randomly verified 4,911 points on the map of forest status in 2016. The results show a relatively strong correlation between the bare land, bushland, plantation forest, natural forest and the NDVI with the following correlation $MaHTR = 1/(1.851 - 1.936 \times NDVI_{2016})$, with R^2 being 67.4% and $p < 0.05$. The results obtained in 1991–2022 indicate that the forest status in the study sites had an NDVI increase for the natural forests with a low NDVI in the regions close to villages, transport systems, and hydropower stations.

Keywords: forest status, vegetation Index, NDVI, A Luoi

1 Đặt vấn đề

Tài nguyên rừng là một loại tài nguyên vô cùng quan trọng đối với sự sống của con người. Công tác theo dõi và đánh giá tài nguyên rừng là rất cần thiết [1–3]. Công tác đánh giá, theo dõi tài nguyên rừng ở Việt Nam theo từng giai đoạn và hằng năm thông qua công tác kiểm kê rừng, theo dõi diễn biến rừng được thực hiện hằng năm và định kỳ, nhưng tính đồng bộ về quy định hiện trạng rừng khác nhau; vì vậy, công tác so sánh đánh giá hiện trạng rừng ảnh hưởng đến công tác quản lý [4].

Trong thời gian gần đây, công tác kiểm kê rừng của Việt Nam đã áp dụng nhiều ứng dụng công nghệ. Đặc biệt, ứng dụng ảnh viễn thám kết hợp với điều tra mẫu ở thực địa giúp chất lượng đánh giá hiện trạng rừng tại các thời điểm kiểm kê cũng như theo dõi diễn biến tài nguyên rừng ngày càng tốt hơn [5–7]. Tuy nhiên, vẫn cần có cải tiến trong tương lai để công tác kiểm kê rừng được tốt hơn và có những dự đoán phát triển rừng phục vụ công tác quản lý và phát triển rừng [6].

Có nhiều chỉ số liên quan đến thực vật, độ che phủ của rừng như chỉ số thực vật điều chỉnh đất tối ưu (OSAVI – Optimized soil adjusted vegetation index), chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hoá (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) và chỉ số thực vật tỷ lệ (RVI – Ratio Vegetation Index). Tuy nhiên, điều rất quan trọng là xác định chỉ số nào có thể đóng vai trò là thước đo mức độ tương quan với đối tượng nghiên cứu [8]. Do vậy, việc xác định mối quan hệ giữa chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hoá (NDVI), sau đây gọi là chỉ số NDVI, và hiện trạng tài nguyên rừng giúp công tác đánh giá hiện trạng rừng được khách quan và hiệu quả hơn [9, 10].

Tại tỉnh Thừa Thiên Huế đã có một số nghiên cứu đánh giá hiện trạng rừng ứng dụng công nghệ ảnh viễn thám bằng phương pháp chủ yếu là phân loại hiện trạng bằng các mẫu thực địa [11–13]. Nghiên cứu này được thực hiện tại huyện A Luoi, tỉnh Thừa Thiên Huế, nhằm đánh giá sự thay đổi tài nguyên rừng bằng chỉ số NDVI trong giai đoạn 1991–2022.

2 Địa điểm và phương pháp

2.1 Địa điểm nghiên cứu

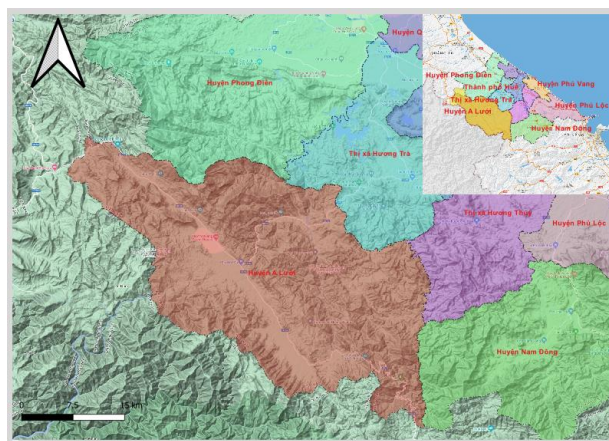
A Lưới là một huyện miền núi của tỉnh Thừa Thiên Huế, nơi có diện tích tự nhiên lớn nhất tỉnh (khoảng 114.850 ha) với độ che phủ rừng hơn 75% [14]. Huyện A Lưới có tọa độ 16°00'–16°16'30" vĩ độ bắc và 107°00'–107°30' kinh độ đông với địa hình đồi núi dốc, khí hậu chuyển tiếp giữa miền Bắc và miền Nam, giữa Đông và Tây Trường Sơn; đồng thời là lưu vực đầu nguồn của hệ thống Sông Bồ và Sông Hương chảy qua vùng đồng bằng trước khi đổ ra Biển Đông. Với đặc điểm tự nhiên này, A Lưới có diện tích đất lâm nghiệp 102.951,86 ha, trong đó rừng tự nhiên 75.535,44 ha, rừng trồng 14.202,96 ha, đất trồng có cây gỗ rải rác 7.461,34 ha và đất trồng 5.752,12 ha [15]. Tài nguyên rừng tại huyện A Lưới có vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế, môi trường và xã hội an ninh quốc phòng của tỉnh Thừa Thiên Huế.

2.2 Phương pháp

Thu thập thông tin

– Dữ liệu không gian: Thu thập số liệu thứ cấp về bản đồ kiểm kê rừng năm 2016, các loại bản đồ hiện trạng sử dụng đất gồm đất nông nghiệp, đất mặt nước, đất công trình, và đất trồng; đất trồng có cây gỗ rải rác; rừng trồng và rừng tự nhiên để giải thích kết quả mất rừng.

– Dữ liệu thuộc tính: Từ bản đồ hiện trạng rừng năm 2016, chúng tôi tiến hành tích hợp 4.911 điểm mẫu kiểm chứng ngẫu nhiên từ bản đồ hiện trạng kiểm kê rừng năm 2016 (Bảng 1), gồm lớp đất trồng, lớp đất trồng có cây gỗ rải rác, lớp rừng trồng và lớp rừng tự nhiên. Số mẫu điểm kiểm chứng được tính theo công thức (1).



Hình 1. Sơ đồ vị trí nghiên cứu huyện A Lưới, tỉnh Thừa Thiên Huế

$$n = (\sum_{i=1} (W_i \times S_i) / S_0)^2 \quad (1)$$

trong đó n là số mẫu điểm kiểm chứng lớp thứ i ; W_i là tỷ lệ diện tích được ánh xạ của lớp i ; S_i là độ lệch chuẩn của tầng thứ i ; S_0 là độ lệch chuẩn kỳ vọng của độ chính xác tổng thể.

Viễn thám và GIS

Nghiên cứu này sử dụng nguồn ảnh viễn thám Landsat 5, 8 của các năm 1991, 2016 và 2022 và sử dụng phần mềm QGIS 3.20 để tính chỉ số NDVI. Thông tin các ảnh viễn thám Landsat 1991 và Landsat 2022 sử dụng để phân tích chỉ số NDVI được trình bày ở Bảng 2.

Tính toán chỉ số thực vật

Chỉ số NDVI là thước đo của sự khác biệt trong phản xạ giữa các bước sóng dao động nhằm nhấn mạnh vùng thực vật phủ trên ảnh [17]. Chỉ số NDVI được áp dụng theo công thức $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$, trong đó NIR là giá trị bức xạ của bước sóng cận hồng ngoại (near infrared) và Red là kênh đỏ có giá trị bức xạ của bước sóng nhìn thấy (visible).

Ảnh viễn thám Landsat năm 1991, 2016 và 2022 được thu thập trong cùng Tháng Tư để giảm sự khác biệt về chỉ số thực vật. Sau đó, chúng tôi tích hợp các chỉ số thực vật đó vào 4.911 điểm được chọn ngẫu nhiên trên bản đồ hiện trạng rừng năm 2016. Tiếp đến, chúng tôi phân tích

Bảng 1. Số lượng điểm mẫu kiểm chứng theo bản đồ hiện trạng kiểm kê rừng năm 2016

Hiện trạng rừng (lớp thứ i)	Diện tích (ha)	W_i	S_i	$W_i \times S_i$	n
Đất trống	5.752,12	0,0559	0,1	0,00559	751
Đất trống có cây gỗ rải rác	7.461,34	0,0725	0,1	0,00725	792
Rừng trồng	14.202,96	0,138	0,2	0,0276	953
Rừng tự nhiên	75.535,44	0,7337	0,9	0,66033	2.415
Tổng	102.951,86	1,0001		0,70077	4.911

Bảng 2. Thông tin ảnh viễn thám sử dụng phân tích chỉ số NDVI năm 1991, 2016 và 2022

Thông tin	Năm 1991	Năm 2016	Năm 2022
Thời gian chụp	12/4/1991	16/4/2016	09/4/2022
Tỷ lệ mây, %	8	5	1
Nguồn số liệu	https://glovis.usgs.gov/LT05_L1TP_125049_19910412	https://glovis.usgs.gov/LC08_L1TP_125049_20160416	https://glovis.usgs.gov/LC09_L1TP_125049_20220409

mối tương quan giữa các mô hình chỉ số thực vật và hiện trạng, gồm đất trống, đất trống có cây gỗ rải rác, rừng trồng và rừng tự nhiên và chọn ra mô hình chỉ số thực vật tối ưu nhất và so sánh chỉ số thực vật giữa năm 1991 và năm 2022 bằng công thức: $NDVI_{1991-2022} = NDVI_{2022} - NDVI_{1991}$, trong đó $NDVI_{1991}$ và $NDVI_{2022}$ là chỉ số thực vật được tính từ ảnh viễn thám Landsat 1991 và Landsat 2022. Tiến trình phân tích được trình bày ở Hình 2.

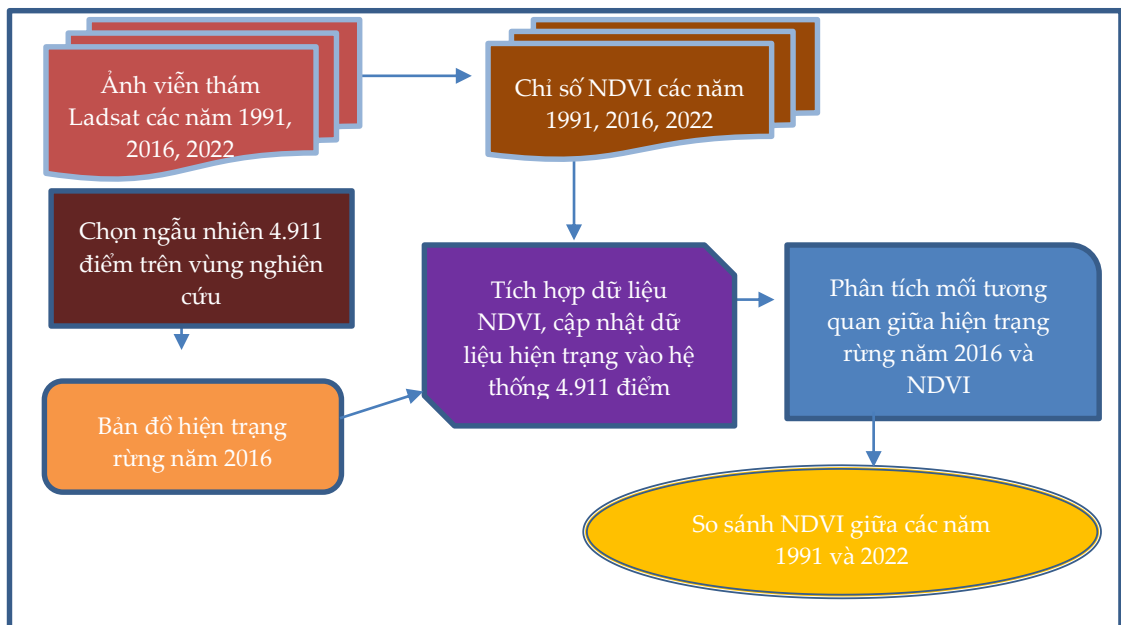
Xử lý số liệu

Số liệu được xử lý trên phần mềm Excel 2016 và phần mềm Stagraphic v.18 với các phương trình tương quan giữa hiện trạng rừng và chỉ số NDVI.

3 Kết quả

3.1 Đánh giá chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hoá bằng các mô hình tương quan

Kết quả nghiên cứu cho thấy 22/27 phương trình có mối tương quan để đánh giá hiện trạng rừng bằng chỉ số NDVI. Chỉ số NDVI của các năm 1991, 2016 và 2022 được xác định để tích hợp vào 4.911 điểm lựa chọn ngẫu nhiên từ hệ thống bản đồ hiện trạng rừng năm 2016. Kết quả phân tích các mô hình tương quan hiện trạng rừng với chỉ số NDVI được trình bày ở Bảng 3.



Hình 2. Khung logic thực hiện nghiên cứu

Bảng 3. So sánh cách mô hình tương quan hiện trạng rừng với chỉ số NDVI

Stt	Mô hình	Hệ số tương quan	R ² (%)
1	MaHTR = 1/(1,85095 – 1,93634 × NDVI2016)	-0,8210	67,4
2	MaHTR = exp(-0,560971 + 2,84282 × NDVI2016 ²)	0,8166	66,68
3	MaHTR = 1/(2,99152 – 3,00555 × sqrt(NDVI2016))	-0,8095	65,53
4	MaHTR = exp(-1,63551 + 3,61725 × NDVI2016)	0,8046	64,73
5	MaHTR = (0,573368 + 2,06521 × NDVI2016 ²) ²	0,8024	64,39
6	MaHTR = 1/(0,0520596 – 1,13749 × ln(NDVI2016))	-0,7923	62,78
7	MaHTR = exp(-3,75947 + 5,6069 × sqrt(NDVI2016))	0,7923	62,77
8	MaHTR = (-0,204307 + 2,62393 × NDVI2016) ²	0,7895	62,32
9	MaHTR = -0,345064 + 6,23824 × NDVI2016 ²	0,7852	61,65
10	MaHTR = exp(1,72327 + 2,11901 × ln(NDVI2016))	0,7744	59,96
11	MaHTR = -2,68531 + 7,91434 × NDVI2016	0,7714	59,51
12	MaHTR = (2,23145 + 1,53472 × ln(NDVI2016)) ²	0,7586	57,55
13	MaHTR = -7,31599 + 12,2487 × sqrt(NDVI2016)	0,7585	57,52
14	MaHTR = sqrt(-6,30818 + 31,5648 × NDVI2016 ²)	0,7491	56,12
15	MaHTR = 4,65935 + 4,62177 × ln(NDVI2016)	0,7401	54,77
16	MaHTR = sqrt(-18,0687 + 39,9393 × NDVI2016)	0,7340	53,88
17	MaHTR = sqrt(-41,3612 + 61,7251 × sqrt(NDVI2016))	0,7207	51,94
18	MaHTR = exp(2,59766 – 1,09255/NDVI2016)	-0,7154	51,18
19	MaHTR = sqrt(18,9765 + 23,2561 × ln(NDVI2016))	0,7022	49,31
20	MaHTR = (2,86294 – 0,789964/NDVI2016) ²	-0,6997	48,95
21	MaHTR = 6,55558 – 2,37491/NDVI2016	-0,6814	46,43
22	MaHTR = sqrt(28,4666 – 11,9124/NDVI2016)	-0,6445	41,53

Trong 22 mô hình tương quan thì kết quả đánh giá hiện trạng rừng bằng chỉ số NDVI ở phương trình đối ứng bình phương, $Y = \sqrt{a + b/X}$, có mối tương quan thấp nhất (-0,6445), với $R^2 = 41,53\%$. Ngược lại, phương trình tương quan đối ứng, $Y = 1/(a + b \times X)$, có mức ý nghĩa lớn nhất (-0,8210), với $R^2 = 67,4\%$. Đây là mô hình tương quan tốt nhất, nên chúng tôi chọn mô hình này để đánh giá mối tương quan giữa hiện trạng rừng năm 2016 và chỉ số NDVI.

3.2 Mức độ tương quan giữa hiện trạng rừng với chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hoá

Dựa trên kết quả xác định mối tương quan giữa hiện trạng rừng năm 2016 và chỉ số NDVI được xác định với $R^2 = 67,4\%$ (Bảng 3) với phương trình tương quan đối ứng, $Y = 1/(a + b \times X)$, để phân tích mối tương quan giữa hiện trạng rừng với chỉ số NDVI, chúng tôi thu được phương trình tương quan

$$\text{MaHTR} = 1/(1,85095 - 1,93634 \times \text{NDVI}_{2016})$$

trong đó MaHTR là hiện trạng rừng năm 2016; NDVI₂₀₁₆ là chỉ số NDVI trích xuất từ ảnh vệ tinh Landsat 8 năm 2016.

Số liệu so sánh giữa năm 1991 và năm 2022 (Bảng 4) cho thấy chỉ số NDVI trung bình tăng lên (từ 0,74 lên 0,78); chỉ số NDVI của năm 1991 biến động trong khoảng từ -0,06029 đến 0,85714 và năm 2022 biến động từ -0,35388 đến 0,89556; khoảng biến động ở năm 1991 (0,91743) là nhỏ hơn khoảng biến động năm 2022 (1,24944).

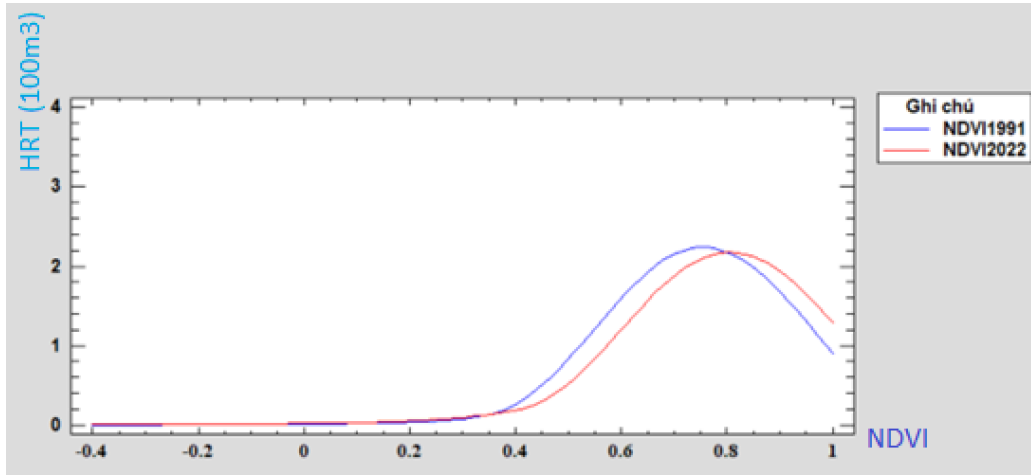
Kết quả ở biểu đồ (Hình 3) cho thấy chỉ số NDVI giữa năm 1991 và năm 2022 có độ lệch đỉnh tại hai thời điểm. Năm 1991 có đỉnh của chỉ số NDVI cao hơn năm 2022, chứng tỏ độ lệch đỉnh của năm 1991 thấp hơn của năm 2022. Điều này cho thấy rằng những loại rừng có chỉ số NDVI trung bình của năm 1991 là cao hơn năm 2022.

3.3 Thay đổi hiện trạng rừng qua các thời kỳ

Kết quả nghiên cứu về sự thay đổi chỉ số NDVI giữa năm 1991 và năm 2022 cho thấy diện tích rừng không có thay đổi về chỉ số thực vật chiếm 81%; khu vực có chỉ số NDVI tăng lên chiếm 12% và 7% diện tích có chỉ số NDVI giảm (Bảng 5). Kết quả cho thấy diện tích rừng giảm chỉ số NDVI trong giai đoạn này nhỏ hơn so với diện tích tăng.

Bảng 4. Kết quả so sánh các chỉ số của chỉ số NDVI năm 1991 và năm 2022

Các chỉ số	NDVI ₁₉₉₁	NDVI ₂₀₂₂
Số điểm khảo sát	4551	4551
Trung bình	0,745541	0,783838
Độ lệch chuẩn	0,0839774	0,119469
Coeff thay đổi	11,264%	15,2415%
Nhỏ nhất	-0,06029	-0,35388
Lớn nhất	0,85714	0,89556
Khoảng biến động	0,91743	1,24944
Std. độ lệch	-95,8579	-109,503
Std. độ nhọn	25,982	298,077



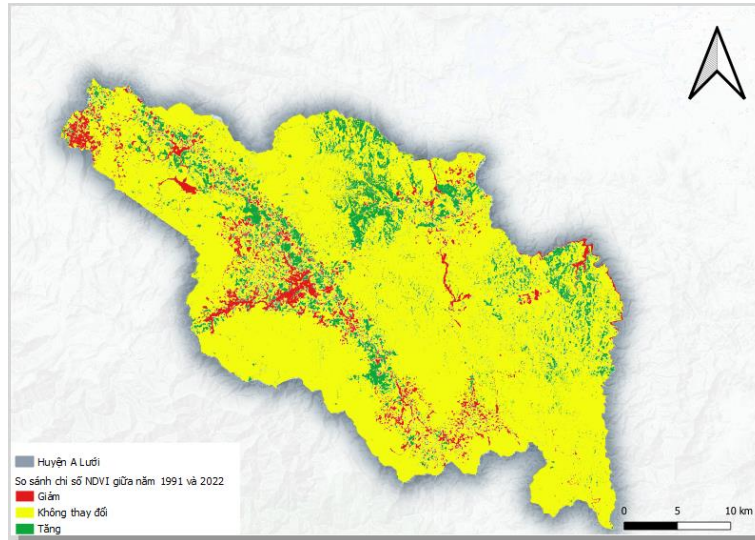
Hình 3. Biểu đồ so sánh chỉ số NDVI bình quân năm 1991 và năm 2022

Bảng 5. Tổng hợp so sánh chỉ số NDVI năm 1991 và 2022

Mức độ	Diện tích (ha)	Tỷ lệ (%)
Giảm	8.519,22	7
Không thay đổi	91.993,51	81
Tăng	14.337,37	12
Tổng	114.850,1	100

Bản đồ trên Hình 4 cho thấy các khu vực tài nguyên rừng bị suy giảm chủ yếu là hồ thủy điện và công trình giao thông. Trong khi đó, diện tích rừng tăng chủ yếu ở các khu vực gần dân cư, rừng trồng và rừng tự nhiên cách xa hệ thống giao thông và dân cư. Theo nghiên cứu của Martinuzzi và cs. về xây dựng bản đồ sinh cảnh sống của rừng khô nhiệt đới bằng cách tích hợp ảnh Landsat NDVI, Ikonos và thông tin địa hình ở đảo Caribe của Mona cho thấy việc xây dựng bản đồ che phủ đất và khả năng đồng nhất cơ sở dữ liệu của hệ tọa độ qua các thời kỳ, đánh giá và so sánh hiện trạng rừng trong quá khứ gặp rất nhiều khó khăn [18]. Vì vậy, việc xác định mối tương quan giữa hiện trạng rừng và chỉ số NDVI giúp công tác phân tích, so sánh và đánh giá hiện trạng rừng giữa các giai đoạn thuận tiện và khoa học hơn.

Qua kết quả nghiên cứu, có thể thấy rằng mối tương quan giữa hiện trạng rừng và chỉ số NDVI trích xuất từ ảnh viễn thám Landsat có thể áp dụng vào việc theo dõi hiện trạng rừng là phù hợp. Nghiên cứu đã chỉ ra mối tương quan tốt giữa hiện trạng rừng và chỉ số NDVI và giúp phát hiện những thay đổi về độ che phủ, tương đồng với nghiên cứu của Malik và cs. trong



Hình 4. Bản đồ so sánh chỉ số NDVI giữa năm 1991 và năm 2022

ngiên cứu mối quan hệ giữa LST, NDBI và NDVI, sử dụng dữ liệu Landsat-8 ở lưu vực sông Kandaihimmat, Hoshangabad, Ấn Độ [19].

4 Kết luận

Nghiên cứu cho thấy mối quan hệ tương đối mạnh được thể hiện bằng phương trình tương quan $MaHTR = 1/(1,85095 - 1,93634 \times NDVI_{2016})$, với $R^2 = 67,4\%$, giữa hiện trạng rừng và chỉ số NDVI trích xuất từ hình ảnh viễn thám. Kết quả giúp việc phân loại hiện trạng rừng dựa trên dữ liệu ảnh viễn thám chính xác hơn. Điều này giúp đánh giá những thay đổi hiện trạng rừng trong các giai đoạn một cách thuận lợi, khách quan và hiệu quả hơn; đặc biệt là trước những năm 2000 khi các vấn đề còn tồn tại trong quy định về phân loại rừng và sự thiếu đồng bộ của hệ tọa độ địa lý trong quản lý rừng giữa các thời kỳ.

Chỉ số NDVI của năm 1991 và 2022 cho thấy sự khác nhau về hiện trạng rừng. Những khu vực có chỉ số NDVI giảm chủ yếu là hồ thủy điện và công trình giao thông; những khu vực có chỉ số NDVI tăng chủ yếu là khu vực gần khu dân cư, rừng trồng và rừng tự nhiên cách xa hệ thống giao thông và khu dân cư. So sánh chỉ số NDVI giữa năm 1991 và năm 2022 cho thấy diện tích rừng có chỉ số NDVI cao tăng dần, nhưng diện tích rừng có chỉ số NDVI thấp lại giảm. Điều này cho thấy sự biến động của hiện trạng rừng tại địa bàn nghiên cứu trong giai đoạn 1991 đến 2022 có liên quan đến chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hoá.

Lời cảm ơn

Để hoàn thành nghiên cứu này, nhóm tác giả xin cảm ơn Dự án “Đánh giá bản chất của quá trình chuyển đổi rừng ở Việt Nam, dịch vụ sinh thái và khả năng phục hồi sinh thái xã hội trong các cảnh quan rừng được quản lý tại địa phương” (FTViet) giữa Đại học Lausanne (UNIL) – Thụy Sĩ và Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, đã tài trợ nguồn kinh phí trong giai đoạn 2020–2022.

Tài liệu tham khảo

1. FAO (2015), *Knowledge reference for national forest assessments*, Rome. www.fao.org/publications.
2. Noss, R. F. (1999), Assessing and monitoring forest biodiversity: A suggested framework and indicators, *Forest Ecology and Management*, 115(2–3), 135–146, 22 March 1999. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00394-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00394-6).
3. Phạm Trí Công (2014), *Ứng dụng GIS/GPS trong quản lý mật rừng ở Việt Nam*, Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên, Trường Đại học Thủy Lợi, 20–22.
4. Đoàn Duy Hiếu, Nguyễn Thám (2017), Đánh giá biến động rừng huyện Ia Pa, tỉnh Gia Lai trên tư liệu viễn thám đa thời gian và GIS, *Tạp chí Khoa học và Giáo dục*, Trường Đại học Sư phạm Huế. 2(42), 116–126.
5. Nguyễn Hải Hoà, và Nguyễn Văn Quốc (2007), Sử dụng ảnh viễn thám Landsat và GIS xây dựng bản đồ biến động diện tích rừng tại vùng đệm vườn quốc gia Xuân Sơn, *Tạp Chí Khoa học và Công Nghệ Lâm Nghiệp - Quản lý Tài nguyên rừng và Môi trường*, Trường Đại học Lâm nghiệp, 3, 46–56.
6. Phan Thanh Quyết, Trần Thế Hùng và Cao Thị Thanh Thủy (2017), *Ứng dụng ảnh viễn thám nghiên cứu biến động sự dụng đất lâm nghiệp tại huyện Bố Trạch tỉnh Quảng Bình*, Tuyển tập Hội nghị Khoa học, Trường Đại học Quảng Bình.
7. Kalle, E., V. T. Hinh, B. Huy, D. C. Khanh, ..., and Bechu, Y. (2012), *A review of the applicability of existing tree and forest characteristics prediction models to forest inventory in Vietnam and Nepal*, www.metla.fi Institutional Cooperation Instrument (ICI), Project “Improving Research Capacity of Forest Resource Information Technology in Vietnam and Nepal, Vol. 978-951-40-2368-2. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp235.htm>.
8. Gonenc, A., Ozerdem, M. S., Acar, O. E. (2019), *Comparison of NDVI and RVI Vegetation Indices Using Satellite Images*, International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics), DOI: 10.1109/Agro-Geoinformatics.2019.8820225.

9. Carlson, T. N. and Ripley, D. A. (1997), On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, *Remote Sensing of Environment, Elsevier*, 62(3), 241–252. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1).
10. Liang, L., Chen, F., Shi, L., and Niu, S. (2018), NDVI-derived forest area change and its driving factors in China, *PLoS ONE*, 13(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205885>.
11. Hồ Văn Lộc, Trần Quốc Cảnh (2018), Đánh giá nguyên nhân biến động hiện trạng rừng giai đoạn 2010–2015 làm cơ sở xây dựng kế hoạch hành động thực thi REDD+ trên địa bàn tỉnh TT Huế, *Tạp chí Rừng và Môi trường*, 1–12.
12. Vũ Văn Thái, Nguyễn Hải Hoà, Lê Thị Quỳnh Hoa, và Nguyễn Duy Liêm (2021), Sử dụng chỉ số viễn thám phát hiện mất rừng trên ảnh Sentinel -2 tại tỉnh Thừa Thiên Huế, *Tạp chí Khoa Học và Công Nghệ Lâm Nghiệp*, 4, 118–127.
13. T. T. C., Tuong, Tani, H., Wang, X., and N. Q., Thang (2019), Semi-supervised classification and landscape metrics for mapping and spatial pattern change analysis of tropical forest types in Thua Thien Hue Province, Vietnam, *Forests*, 10(8), 1–25. <https://doi.org/10.3390/f10080673>.
14. Chi Cục Kiểm Lâm Thừa Thiên Huế (2021), *Số liệu theo dõi diễn biến rừng năm 2021 tỉnh Thừa Thiên Huế*.
15. Quyết định số 536/QĐ-UBND tỉnh Thừa Thiên Huế (2021), *Về việc công bố hiện trạng rừng tỉnh Thừa Thiên Huế*.
16. Pontus Olofsson (2014), Giles M. Foody, Martin Herold, Stephen V. Stehmand, Curtis E. Woodcock, Michael A. Wulder, Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change, *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>.
17. Ghorbani, A. and Ouri, A. E. (2012), Utility of the NDVI for land/canopy cover mapping in Khalkhal County (Iran), *Annals of Biological Research*, 3(12), 5494–5503. <https://www.researchgate.net/publication/284777424>.
18. Martinuzzi, S., Gould, W. A., Ramos, G. O. M., Robles, A. M., Maldonado, P. C., Pérez-Buitrago, N. and, Caban, J. J. F. (2008), Mapping tropical dry forest habitats integrating Landsat NDVI, Ikonos imagery, and topographic information in the Caribbean Island of Mona, *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 625–639. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i2.5613>.
19. Malik, M. S., Shukla, J. P. and Mishra, S. (2019), Relationship of LST, NDBI and NDVI using landsat-8 data in Kandaihimmat watershed, Hoshangabad, India, *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 48(1), 25–31. <https://core.ac.uk/download/pdf/297996963.pdf>.