

Bài báo khoa học

Ứng dụng Google Earth Engine trong phát triển hệ thống giám sát biến động lớp phủ rừng Việt Nam

Vũ Xuân Định^{1*}

¹ Bộ môn Trắc địa bản đồ và GIS, Viện Quản lý đất đai và PTNT, Trường Đại học Lâm nghiệp; dinh.vuxuan@gmail.com

*Tác giả liên hệ: dinh.vuxuan@gmail.com; Tel.: +84-989640422

Ban Biên tập nhận bài: 10/10/2024; Ngày phản biện xong: 27/11/2024; Ngày đăng bài: 25/4/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu này tập trung phát triển một hệ thống tự động giám sát diễn biến lớp phủ rừng tại Việt Nam thông qua nền tảng Google Earth Engine (GEE) và các chỉ số thực vật thông dụng. Trước bối cảnh mất rừng và biến đổi khí hậu đang gia tăng, hệ thống này cung cấp giải pháp nhanh chóng, chính xác, và hiệu quả về chi phí trong việc theo dõi biến động rừng mà không đòi hỏi đầu tư lớn vào cơ sở hạ tầng. Các chỉ số NDVI, EVI, SAVI, NDWI, NBRI, GCI, và BSI được áp dụng để đánh giá sức khỏe và mức độ che phủ của rừng. Nghiên cứu nhấn mạnh vai trò quan trọng của công nghệ viễn thám trong giám sát biến động lớp phủ rừng, tận dụng dữ liệu vệ tinh để phân tích các biến động về diện tích và tình trạng sức khỏe hệ sinh thái. Nền tảng GEE, với khả năng xử lý quy mô lớn, cho phép phân tích diện rộng và phát hiện sớm các hiện tượng như phá rừng, cháy rừng, hoặc suy thoái rừng. Hệ thống này đóng vai trò hỗ trợ quan trọng trong việc ra quyết định quản lý và bảo tồn rừng bền vững, đồng thời tự động hóa quy trình theo dõi, góp phần nâng cao hiệu quả quản lý tài nguyên và bảo vệ đa dạng sinh học.

Từ khóa: Google Earth Engine; Công nghệ viễn thám; Chỉ số thực vật; Giám sát tài nguyên thiên nhiên; Phân loại thảm thực vật; Việt Nam.

1. Đặt vấn đề

Việt Nam, với diện tích rừng phong phú và đa dạng sinh học cao, đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì cân bằng sinh thái, bảo tồn đa dạng sinh học, và giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu [1]. Tuy nhiên, rừng Việt Nam đang phải đối mặt với tình trạng suy giảm diện tích rừng nghiêm trọng. Theo số liệu của Tổng cục Lâm nghiệp, diện tích rừng tự nhiên của Việt Nam đã giảm từ khoảng 14,3 triệu ha năm 1943 xuống chỉ còn khoảng 10,3 triệu ha vào năm 2020 [2]. Tỷ lệ che phủ rừng, mặc dù có tăng nhẹ, nhưng chất lượng rừng lại suy giảm đáng kể do nạn phá rừng, khai thác gỗ trái phép, và chuyển đổi đất rừng sang mục đích sử dụng khác [3]. Mỗi năm, Việt Nam mất đi hàng nghìn hecta rừng, đặc biệt là ở các vùng Tây Nguyên và miền Trung. Sự suy giảm diện tích rừng không chỉ làm mất đi nguồn tài nguyên thiên nhiên quý giá mà còn gây ra những hệ lụy nghiêm trọng về môi trường, như lũ lụt, sạt lở đất, suy thoái đất, và thay đổi khí hậu [4]. Hệ sinh thái rừng đang dần mất đi tính đa dạng sinh học, ảnh hưởng trực tiếp đến sự sống của nhiều loài động thực vật quý hiếm.

Công nghệ viễn thám đóng vai trò quan trọng trong việc theo dõi hiện trạng rừng, đặc biệt trong bối cảnh suy thoái rừng và biến đổi khí hậu đang ngày càng gia tăng [5]. Viễn thám sử dụng hình ảnh vệ tinh và dữ liệu từ xa để thu thập thông tin liên tục về các khu vực rừng rộng lớn, từ đó giúp phát hiện những thay đổi trong diện tích rừng, mật độ che phủ, và sức khỏe của hệ sinh thái. Công nghệ này cho phép quan sát diễn biến rừng trên quy mô lớn, với

độ chính xác cao và thời gian cập nhật nhanh, vượt trội hơn so với các phương pháp truyền thống dựa trên khảo sát thực địa, vốn tốn kém về thời gian và nguồn lực. Tại Việt Nam, viễn thám đã được ứng dụng trong việc xác định và giám sát các điểm nóng về phá rừng, khai thác gỗ trái phép và cháy rừng. Nhờ khả năng cung cấp dữ liệu theo chu kỳ (hàng ngày, hàng tháng), các nhà quản lý có thể theo dõi kịp thời những thay đổi nhỏ trong hệ thống rừng, từ đó đưa ra các biện pháp can thiệp sớm, giảm thiểu tổn thất, cũng như giúp tổ chức lập kế hoạch bảo vệ và phục hồi rừng một cách hiệu quả.

Google Earth Engine (GEE) là một nền tảng điện toán đám mây mạnh mẽ được thiết kế để phân tích và xử lý dữ liệu viễn thám trên quy mô toàn cầu [6]. GEE cung cấp khả năng truy cập miễn phí vào kho dữ liệu hình ảnh vệ tinh khổng lồ, bao gồm dữ liệu từ các vệ tinh như Landsat, MODIS, Sentinel, giúp các nhà khoa học, nhà quản lý, và các tổ chức có thể phân tích và theo dõi diễn biến của các khu vực rừng trên toàn thế giới một cách nhanh chóng và chính xác. Với GEE, các nhà nghiên cứu có thể xử lý lượng lớn dữ liệu viễn thám mà không cần cơ sở hạ tầng phần cứng phức tạp. Nhờ khả năng tính toán mạnh mẽ của nền tảng này, các mô hình phân tích diễn biến rừng, bao gồm cả thay đổi diện tích, mức độ che phủ và sức khỏe của rừng, có thể được xây dựng và cập nhật liên tục. Các công cụ này giúp phát hiện nhanh các sự kiện như phá rừng, cháy rừng, hay suy giảm rừng do biến đổi khí hậu, cung cấp thông tin kịp thời để có các biện pháp can thiệp sớm. Trên quy mô toàn cầu, GEE đã được sử dụng để theo dõi nạn phá rừng ở rừng mưa Amazon, cháy rừng ở Australia, và các khu vực bị ảnh hưởng bởi biến đổi khí hậu. Việc ứng dụng Google Earth Engine trong phân tích tư liệu viễn thám không chỉ giúp theo dõi hiện trạng rừng mà còn hỗ trợ lập kế hoạch bảo vệ và khôi phục rừng bền vững, góp phần bảo vệ đa dạng sinh học và chống biến đổi khí hậu trên toàn cầu. Trong theo dõi rừng tại Việt Nam, GEE đã được sử dụng để phân tích sự thay đổi diện tích rừng tại các vùng nhạy cảm như Tây Nguyên và dải đất miền Trung, nơi nạn phá rừng và chuyển đổi mục đích sử dụng đất đang diễn ra phức tạp [7]. Bằng cách sử dụng dữ liệu hình ảnh vệ tinh kết hợp với các thuật toán phân tích trên GEE, có thể xác định các khu vực bị xâm hại và đưa ra các báo cáo nhanh chóng, hỗ trợ việc ra quyết định cho chính phủ và các tổ chức bảo tồn.

Việc xây dựng một hệ thống giám sát biến động lớp phủ rừng tự động dựa trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) là vô cùng cần thiết trong bối cảnh suy giảm rừng và biến đổi khí hậu đang gia tăng [8]. Sử dụng nền tảng GEE làm nền tảng cho hệ thống giám sát biến động lớp phủ rừng tự động mang lại nhiều lợi ích vượt trội cho phép theo dõi diện tích rừng trên phạm vi lớn mà không đòi hỏi đầu tư lớn vào cơ sở hạ tầng. Một hệ thống như vậy sẽ cho phép giám sát chặt chẽ và liên tục các biến động của rừng, cung cấp dữ liệu thời gian thực với độ chính xác cao, và hỗ trợ phát hiện sớm các hiện tượng như phá rừng, cháy rừng, hay suy thoái rừng. Điều này đặc biệt quan trọng đối với các quốc gia như Việt Nam, nơi có diện tích rừng lớn nhưng đang đối mặt với các thách thức về quản lý tài nguyên và bảo vệ môi trường.

Hệ thống dựa trên GEE có thể được thiết kế như một ứng dụng thân thiện với người dùng, cho phép các nhà quản lý, chuyên gia lâm nghiệp và thậm chí cả cộng đồng địa phương dễ dàng truy cập và theo dõi tình trạng rừng trong khu vực của họ. Với giao diện trực quan và khả năng tự động phân tích dữ liệu, hệ thống có thể cung cấp các báo cáo và cảnh báo kịp thời về các khu vực có nguy cơ bị phá rừng, giúp đưa ra các biện pháp can thiệp nhanh chóng và hiệu quả. Việc xây dựng một ứng dụng như vậy không chỉ giúp tăng cường quản lý và bảo vệ rừng một cách bền vững mà còn góp phần vào các nỗ lực bảo tồn toàn cầu, đối phó với biến đổi khí hậu, và bảo vệ đa dạng sinh học. Một hệ thống giám sát biến động lớp phủ rừng tự động dựa trên GEE sẽ là công cụ hỗ trợ đắc lực cho chính phủ và các tổ chức trong việc duy trì và phát triển nguồn tài nguyên rừng.

2. Phương pháp nghiên cứu và thu thập số liệu

Hiện nay, việc theo dõi diễn biến lớp phủ rừng quốc gia tại Việt Nam đòi hỏi sự kết hợp của các chỉ số thực vật (*vegetation indices*) nhằm đánh giá chính xác và liên tục tình trạng sức khỏe rừng, độ che phủ và các thay đổi diễn ra theo thời gian. Các chỉ số: NDVI, EVI, SAVI, NDWI, NBRI, GCI, và BSI đều là những chỉ số hiệu quả và phổ biến trong việc giám sát diễn biến lớp phủ rừng. Trong đó, NDVI và EVI là những lựa chọn chủ đạo vì khả năng đánh giá nhanh chóng và toàn diện về sức khỏe và mật độ lớp phủ rừng [9–12]. Tùy thuộc vào điều kiện địa lý và đặc điểm của từng khu vực rừng, SAVI, NDWI và NBRI có thể được sử dụng để điều chỉnh theo môi trường đất và nước [13–15], trong khi GCI được dùng để đo lường hàm lượng diệp lục, giúp cung cấp cái nhìn sâu sắc hơn về sức khỏe cây cối [16]. Ngoài ra, BSI là chỉ số quan trọng để phát hiện và theo dõi sự suy thoái đất và vùng đất trống, cung cấp cái nhìn toàn diện hơn về sự biến động của rừng [17].

2.1. Chỉ số thực vật phân biệt (NDVI)

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) là một chỉ số quan trọng trong giám sát lớp phủ rừng, đặc biệt khi sử dụng công nghệ viễn thám [10]. NDVI được tính toán dựa trên dữ liệu từ các kênh phổ vệ tinh, sử dụng hai băng tần chính là cận hồng ngoại (NIR) và ánh sáng đỏ (Red), với công thức:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

Trong đó NIR là ánh sáng cận hồng ngoại (*Near Infrared*); Red là ánh sáng đỏ.

NDVI rất cần thiết trong giám sát lớp phủ rừng vì nó cung cấp một chỉ số đơn giản và hiệu quả để đánh giá sức khỏe và mật độ của thảm thực vật [18]. NDVI dao động từ -1 đến +1, trong đó giá trị gần +1 chỉ ra mật độ thực vật xanh tươi dày đặc, trong khi giá trị gần -1 biểu thị vùng đất trống hoặc bị suy thoái [19]. Qua việc theo dõi chỉ số này, người quản lý có thể phát hiện sớm các thay đổi trong lớp phủ rừng, chẳng hạn như rừng bị suy giảm hoặc thay đổi cấu trúc, thường xuất hiện khi rừng bị khai thác, bị cháy hoặc chịu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu [20]. Ứng dụng NDVI trong giám sát lớp phủ rừng dựa trên dữ liệu viễn thám từ các vệ tinh như Landsat, Sentinel, và MODIS [21]. Chỉ số này giúp xác định khu vực rừng bị tổn hại, khu vực rừng khỏe mạnh, và theo dõi sự phục hồi của rừng sau các sự kiện tự nhiên như cháy rừng [22]. Khi tích hợp NDVI vào các nền tảng phân tích như Google Earth Engine (GEE), người dùng có thể tự động tính toán, trực quan hóa và phân tích xu hướng biến đổi lớp phủ rừng theo thời gian, giúp đưa ra các quyết định chính xác trong việc bảo vệ và quản lý tài nguyên rừng [6]. NDVI không chỉ hữu ích trong giám sát các khu rừng lớn mà còn có thể ứng dụng ở các khu vực bị suy thoái hoặc cần bảo tồn đặc biệt, giúp tối ưu hóa các biện pháp can thiệp và bảo tồn rừng bền vững [23].

2.2. Chỉ số thực vật tăng cường (EVI)

EVI (Enhanced Vegetation Index) được thiết kế để khắc phục một số hạn chế của chỉ số NDVI, đặc biệt là trong các khu vực Rừng giàu đặc hoặc có nhiều khí quyển và bụi mù. EVI nhạy cảm hơn với các khu vực có thảm thực vật dày và ít bị bão hòa hơn so với NDVI, giúp cải thiện khả năng phân biệt sự thay đổi sức khỏe và mật độ rừng, đặc biệt trong các khu rừng mưa nhiệt đới và rừng có độ che phủ cao [9]. Công thức tính EVI như sau:

$$EVI = 2.5 \times \frac{(NIR - Red)}{(NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue + L)} \quad (2)$$

Trong đó NIR là phản xạ ánh sáng cận hồng ngoại; Red là phản xạ ánh sáng đỏ; Blue là phản xạ ánh sáng xanh; C₁ và C₂ là các hệ số điều chỉnh cho ảnh hưởng của khí quyển (thường là 6 và 7,5); L là hệ số điều chỉnh nền đất (thường là 1).

EVI được thiết kế để khử tác động của khí quyển, loại bỏ ảnh hưởng của bụi, mây mờ, và cải thiện khả năng phân biệt giữa các loại thực vật có mật độ khác nhau, điều mà NDVI

có thể gặp khó khăn [24]. Ứng dụng của EVI trong giám sát lớp phủ rừng rất rộng rãi, đặc biệt trong các khu vực rừng nhiệt đới và rừng có độ dày thảm thực vật cao [25]. Bằng cách sử dụng dữ liệu từ các vệ tinh như MODIS và Landsat, EVI giúp đánh giá chính xác hơn sự thay đổi trong sinh khối rừng, mức độ quang hợp và sức khỏe cây rừng [26]. Điều này rất cần thiết trong việc phát hiện sớm sự suy giảm rừng do nạn phá rừng, cháy rừng, hay biến đổi khí hậu, cho phép các nhà quản lý đưa ra biện pháp can thiệp kịp thời [27]. Ngoài ra, EVI có thể được tích hợp vào các nền tảng phân tích dữ liệu lớn như Google Earth Engine để theo dõi và đánh giá diễn biến rừng trong thời gian dài [6]. Với khả năng nhạy bén hơn trong việc phát hiện các thay đổi về sức khỏe thực vật, EVI là một công cụ hữu ích trong việc bảo tồn và quản lý bền vững các hệ sinh thái rừng trên toàn cầu [28].

2.3. Chỉ số thực vật có hiệu chỉnh đất (SAVI)

SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) là một công cụ quan trọng trong giám sát lớp phủ rừng, đặc biệt trong các khu vực mà lớp phủ thực vật mỏng và bị ảnh hưởng đáng kể bởi sự hiện diện của đất trống. SAVI được phát triển nhằm giảm thiểu sự ảnh hưởng của ánh sáng phản xạ từ đất, yếu tố có thể làm sai lệch kết quả của các chỉ số thực vật như NDVI trong những khu vực có thảm thực vật thưa thớt [13]. Công thức tính SAVI như sau:

$$SAVI = 2,5 \times \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red + L)} \times (1 + L) \quad (3)$$

Trong đó NIR là ánh sáng cận hồng ngoại (*Near Infrared*); Red là ánh sáng đỏ; L là hệ số hiệu chỉnh ảnh hưởng của đất (thường có giá trị là 0,5, nhưng có thể thay đổi tùy theo điều kiện đất và thảm thực vật).

SAVI được thiết kế để giảm thiểu sự nhiễu loạn do phản xạ từ đất bằng cách thêm vào một hệ số L, giúp điều chỉnh mức độ ảnh hưởng của đất lên chỉ số [29]. Khi lớp phủ thực vật thưa thớt, giá trị L có thể được điều chỉnh để làm tăng tính chính xác của chỉ số [30]. SAVI đặc biệt hiệu quả trong các khu vực rừng bị suy thoái, khu vực khô cằn hoặc nơi mà lượng đất trống lớn dễ ảnh hưởng đến phép đo lớp phủ thực vật [31]. Ứng dụng của SAVI trong giám sát lớp phủ rừng là rất cần thiết trong các nhiệm vụ theo dõi sự suy giảm rừng hoặc đánh giá tái tạo rừng ở các khu vực có lớp phủ thực vật thưa [32]. Nhờ khả năng loại bỏ ảnh hưởng của đất, SAVI cung cấp thông tin chính xác hơn về sức khỏe và mật độ của cây cối so với các chỉ số khác như NDVI, đặc biệt trong các điều kiện mà đất chiếm tỷ lệ cao trong vùng quan sát [33]. SAVI có thể được áp dụng trong việc theo dõi sự phục hồi rừng sau cháy rừng, khai thác gỗ hoặc các hiện tượng tự nhiên khác, giúp xác định khu vực nào cần trồng mới và khu vực nào đang phục hồi tốt [34]. Khi tích hợp vào các nền tảng phân tích như Google Earth Engine, SAVI có thể giúp giám sát và quản lý rừng trong thời gian dài, cung cấp dữ liệu quan trọng để lập kế hoạch bảo tồn và phát triển rừng bền vững [6]. Bằng cách sử dụng SAVI, các nhà quản lý rừng có thể nắm bắt rõ hơn về tình trạng rừng ở những khu vực nhạy cảm và đưa ra các biện pháp can thiệp phù hợp [35].

2.4. Chỉ số độ ẩm thực vật (NDWI)

NDWI (*Normalized Difference Water Index*) là một công cụ quan trọng trong giám sát lớp phủ rừng, đặc biệt trong việc đánh giá và theo dõi hàm lượng nước của thực vật và rừng. NDWI rất hữu ích trong việc giám sát sự thay đổi độ ẩm của thảm thực vật, điều này đóng vai trò quan trọng trong việc phát hiện các sự kiện như khô hạn, suy giảm sinh khối, và các yếu tố môi trường tác động đến rừng. Chỉ số này giúp phân biệt rõ hơn về tình trạng sức khỏe của thảm thực vật, bởi hàm lượng nước trong cây cối là chỉ dấu quan trọng cho quá trình quang hợp và phát triển thực vật [15]. Công thức tính NDWI như sau:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (4)$$

Trong đó NIR là ánh sáng cận hồng ngoại (*Near Infrared*); SWIR là ánh sáng hồng ngoại sóng ngắn (*Shortwave Infrared*).

Chỉ số này sử dụng sự khác biệt giữa hai băng tần: cận hồng ngoại (NIR), phản xạ mạnh bởi thực vật khỏe mạnh, và hồng ngoại sóng ngắn (SWIR), hấp thụ bởi nước trong thảm thực vật [36]. Khi cây cối thiếu nước, phản xạ SWIR tăng lên, dẫn đến giá trị NDWI giảm [37]. Sự cần thiết của NDWI trong giám sát lớp phủ rừng chủ yếu nằm ở khả năng theo dõi sự thay đổi hàm lượng nước trong cây cối [38]. Điều này rất quan trọng trong việc phát hiện các hiện tượng khô hạn, cháy rừng hoặc suy thoái rừng do biến đổi khí hậu và các tác động nhân tạo [39]. Việc theo dõi hàm lượng nước giúp nhà quản lý rừng đánh giá sức khỏe của rừng theo thời gian, từ đó đưa ra các biện pháp bảo vệ kịp thời trước các nguy cơ tiềm tàng như mất nước, cháy rừng, hoặc suy giảm chất lượng sinh khối [40]. Ứng dụng của NDWI trong nhiệm vụ giám sát rừng cũng rất đa dạng. Chỉ số này có thể được sử dụng để giám sát khu vực rừng nhiệt đới có nguy cơ khô hạn, theo dõi sức khỏe các khu rừng bị ảnh hưởng bởi biến đổi khí hậu, và hỗ trợ trong việc quản lý nước ở các hệ sinh thái rừng đầm lầy hoặc rừng ngập nước [41]. Khi được tích hợp vào các hệ thống phân tích dữ liệu viễn thám như Google Earth Engine, NDWI giúp cung cấp thông tin chính xác và liên tục về tình trạng độ ẩm rừng, hỗ trợ trong việc lập kế hoạch bảo vệ và phục hồi rừng [6]. Với khả năng giám sát độ ẩm của thảm thực vật, NDWI trở thành một chỉ số thiết yếu giúp phát hiện sớm các thay đổi bất thường trong hệ sinh thái rừng, góp phần quan trọng vào việc quản lý bền vững và bảo vệ tài nguyên rừng toàn cầu [42].

2.5. Chỉ số cháy rừng (NBRI)

Chỉ số NBRI (Normalized Burn Ratio Index) đóng vai trò quan trọng trong giám sát lớp phủ rừng, đặc biệt là trong việc theo dõi và đánh giá sự ảnh hưởng của cháy rừng và phục hồi sau cháy. NBRI được thiết kế nhằm phát hiện các khu vực bị ảnh hưởng bởi lửa và theo dõi sự thay đổi của thảm thực vật trong các giai đoạn sau cháy [14]. Công thức tính NBRI dựa trên hai dải phổ hồng ngoại trung bình (SWIR) và hồng ngoại gần (NIR), cụ thể là:

$$NBRI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (5)$$

Trong đó NIR là ánh sáng cận hồng ngoại (*Near Infrared*); SWIR là giá trị phản xạ từ kênh hồng ngoại trung bình.

NBRI được sử dụng để so sánh giữa thời điểm trước và sau khi xảy ra cháy rừng, nhằm đánh giá mức độ thiệt hại và theo dõi quá trình phục hồi của hệ sinh thái [43]. Khi một khu vực bị cháy, thảm thực vật sẽ bị giảm mạnh về độ phản xạ hồng ngoại gần (NIR), trong khi độ phản xạ ở dải hồng ngoại trung bình (SWIR) sẽ tăng lên do sự giảm độ ẩm và sự xuất hiện của bề mặt trơ [44]. NBRI là một công cụ hiệu quả giúp các nhà quản lý tài nguyên rừng xác định các vùng bị thiệt hại bởi lửa, từ đó hỗ trợ các quyết định liên quan đến việc phục hồi hoặc quản lý rừng sau cháy [45]. Ứng dụng của NBRI trong giám sát lớp phủ rừng tại Việt Nam có tiềm năng rất lớn [46]. Việt Nam là quốc gia có hệ sinh thái rừng nhiệt đới đa dạng, dễ bị ảnh hưởng bởi cháy rừng tự nhiên và con người gây ra [47]. Việc sử dụng NBRI trong hệ thống giám sát rừng tự động trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) giúp cải thiện khả năng phát hiện sớm các vụ cháy và đánh giá thiệt hại theo thời gian thực [6]. Hơn nữa, NBRI cũng giúp hỗ trợ các dự án phục hồi rừng sau cháy, đảm bảo rằng các biện pháp khắc phục được thực hiện kịp thời và hiệu quả [48].

Như vậy, chỉ số NBRI không chỉ cần thiết trong giám sát sự thay đổi thảm thực vật do cháy rừng mà còn là một công cụ mạnh mẽ để đánh giá mức độ thiệt hại và phục hồi sau các sự kiện thiên tai này [49]. Việc tích hợp NBRI vào các hệ thống giám sát rừng sẽ nâng cao hiệu quả quản lý tài nguyên rừng, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và các nguy cơ cháy rừng ngày càng tăng [50].

2.6. Chỉ số chất diệp lục xanh (GCI)

GCI (Green Chlorophyll Index) là một công cụ quan trọng trong giám sát lớp phủ rừng, tập trung vào việc đo lường hàm lượng chlorophyll trong thảm thực vật, từ đó phản ánh trực tiếp sức khỏe và năng suất sinh học của cây cối. GCI đặc biệt nhạy cảm với sự thay đổi về mức độ quang hợp của thực vật, giúp phát hiện kịp thời các vấn đề liên quan đến stress môi trường như thiếu nước, sâu bệnh, hoặc các hiện tượng suy thoái sinh khối. Trong quản lý rừng, GCI là một chỉ số cần thiết để theo dõi sự thay đổi sức khỏe rừng một cách chính xác và nhanh chóng [16]. Công thức tính GCI như sau:

$$GCI = \frac{NIR}{Green} - 1 \quad (6)$$

Trong đó NIR là ánh sáng cận hồng ngoại (*Near Infrared*); Green là ánh sáng xanh (*Green*), là ánh sáng mà thực vật hấp thụ ít hơn so với các băng tần khác, do đó phản xạ mạnh.

GCI nhắm vào hàm lượng chlorophyll, thành phần thiết yếu của quang hợp, do đó nó có thể theo dõi sự thay đổi nhanh chóng trong quá trình sinh trưởng và phát triển của thực vật [51]. Điều này đặc biệt cần thiết trong giám sát lớp phủ rừng, vì hàm lượng chlorophyll có mối liên hệ chặt chẽ với sức khỏe của rừng [52]. Khi cây cối bị stress, hàm lượng chlorophyll giảm, làm cho giá trị GCI cũng giảm [53]. Ngược lại, một giá trị GCI cao phản ánh thảm thực vật có mật độ dày đặc và sức khỏe tốt [54]. Ứng dụng của GCI trong giám sát rừng bao gồm theo dõi sự thay đổi về sinh trưởng của cây rừng, đánh giá tác động của biến đổi khí hậu, phát hiện sớm sự suy giảm sức khỏe rừng do các yếu tố tự nhiên như hạn hán, hoặc các hoạt động nhân tạo như khai thác gỗ [55]. GCI có thể được sử dụng để đánh giá sự phục hồi của rừng sau các sự kiện phá hoại như cháy rừng hoặc sau các hoạt động tái trồng rừng [56]. Khi tích hợp vào các nền tảng phân tích dữ liệu viễn thám như Google Earth Engine, GCI cho phép các nhà nghiên cứu và quản lý rừng theo dõi diễn biến sức khỏe của rừng theo thời gian, trên quy mô lớn [6]. Điều này giúp đưa ra các quyết định nhanh chóng và hiệu quả về quản lý và bảo vệ tài nguyên rừng, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và các hoạt động gây tổn hại đến hệ sinh thái rừng ngày càng gia tăng [57]. GCI cung cấp thông tin chi tiết và kịp thời, giúp bảo tồn và phát triển rừng bền vững [58].

2.7. Chỉ số đất trống (BSI)

Chỉ số BSI (*Bare Soil Index*) là một chỉ số quan trọng trong giám sát lớp phủ rừng, đặc biệt nhằm mục tiêu phát hiện và theo dõi các khu vực đất trống hoặc các khu vực bị suy thoái, nơi mà lớp phủ thực vật đã bị mất đi hoặc suy giảm nghiêm trọng. BSI được thiết kế để phát hiện các vùng đất trống bằng cách so sánh sự khác biệt giữa các dải phổ phản xạ của đất và thảm thực vật [17]. Công thức tính BSI như sau:

$$BSI = \frac{(SWIR+ Red) - (NIR+ Blue)}{(SWIR+ Red) + (NIR+ Blue)} \quad (7)$$

Trong đó NIR là giá trị phản xạ hồng ngoại gần; Blue là giá trị phản xạ ánh sáng xanh; Red là giá trị phản xạ ánh sáng đỏ; SWIR: là giá trị phản xạ hồng ngoại trung bình.

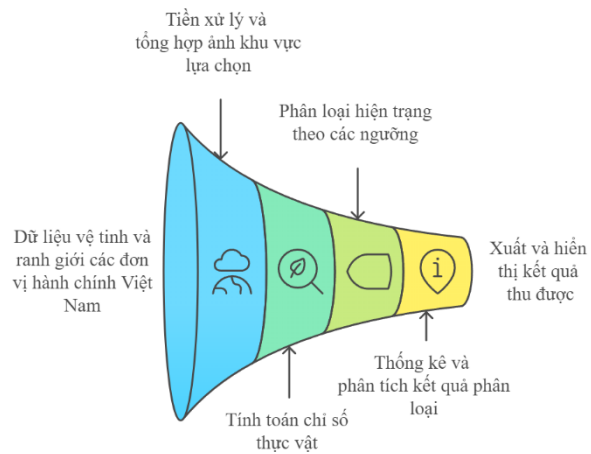
Chỉ số BSI đóng vai trò quan trọng trong việc giám sát và đánh giá quá trình suy thoái đất hoặc phá rừng, bởi nó giúp phát hiện các vùng đất trống một cách chính xác, từ đó hỗ trợ các hoạt động quản lý tài nguyên rừng [59]. Trong bối cảnh các khu vực rừng bị khai thác quá mức hoặc bị phá hủy để phục vụ cho các hoạt động kinh tế như nông nghiệp, BSI cho phép phát hiện kịp thời các khu vực bị suy thoái, hỗ trợ trong việc đưa ra các biện pháp quản lý và phục hồi kịp thời [60]. Ứng dụng của BSI trong giám sát rừng tại Việt Nam có ý nghĩa đặc biệt quan trọng, khi mà đất nước đang đối mặt với những thách thức nghiêm trọng về suy giảm diện tích rừng do khai thác gỗ, chuyển đổi đất nông nghiệp và phát triển hạ tầng [61]. Bằng cách tích hợp BSI vào các hệ thống giám sát tự động trên nền tảng Google Earth Engine (GEE), các nhà quản lý có thể theo dõi sự thay đổi của đất trống theo thời gian thực và ở quy

mô lớn [6]. BSI cũng cho phép phát hiện nhanh chóng những khu vực có nguy cơ bị sa mạc hóa hoặc suy thoái đất, từ đó giúp hỗ trợ các chiến lược phục hồi và quản lý tài nguyên rừng bền vững [62]. Như vậy, chỉ số BSI không chỉ là công cụ hữu ích trong việc phát hiện và theo dõi đất trồng, mà còn đóng góp tích cực vào việc quản lý và bảo vệ tài nguyên rừng tại Việt Nam [63]. Với tiềm năng lớn trong giám sát sự suy thoái thảm thực vật và đất đai, BSI sẽ tiếp tục là một thành phần quan trọng trong các hệ thống giám sát rừng hiện đại [64].

3. Kết quả và thảo luận

Ứng dụng dựa trên Google Earth Engine với nền tảng dữ liệu phong phú và công cụ tính toán mạnh mẽ sẽ giúp các nhà khoa học, nhà quản lý, và người dùng cá nhân có thể dễ dàng truy cập và phân tích dữ liệu viễn thám một cách nhanh chóng và hiệu quả, góp phần quan trọng trong quản lý tài nguyên thiên nhiên và bảo tồn môi trường. Quy trình xây dựng ứng dụng Google Earth Engine (GEE) nhằm mục đích tự động phân loại khu vực được người dùng lựa chọn dựa trên các chỉ số thực vật, và thực hiện phân tích thống kê về diện tích cũng như tạo ảnh sau phân loại.

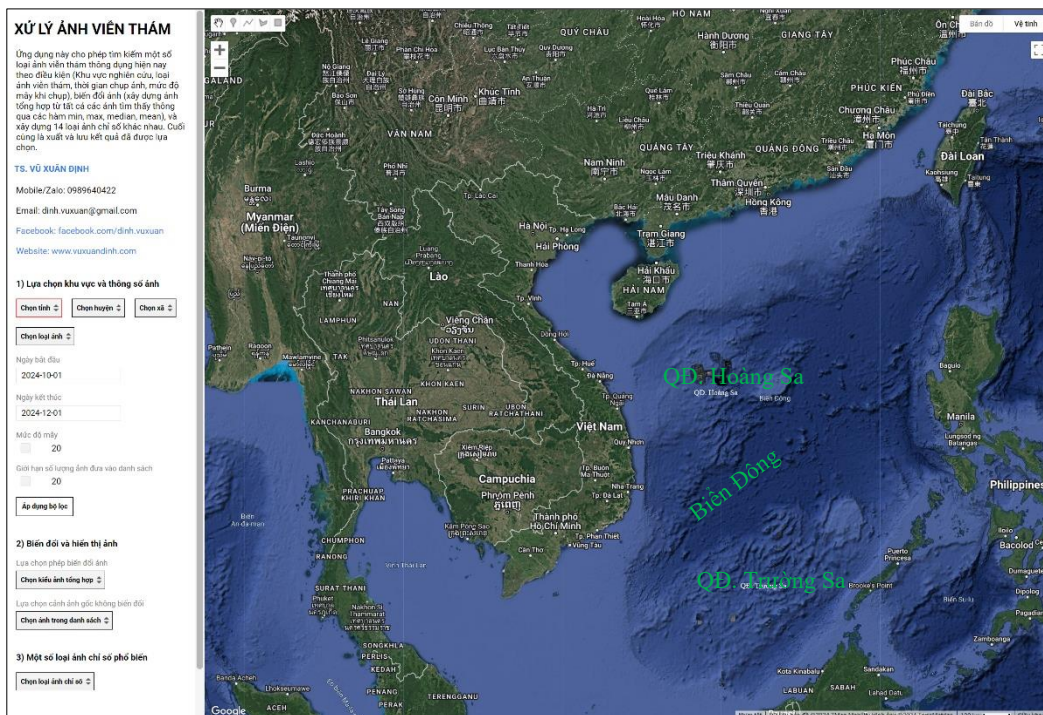
Hình 1 thể hiện sơ đồ khối mô tả hệ thống giám sát biến động lớp phủ rừng Việt Nam với cấu trúc gồm: thu thập dữ liệu vệ tinh và ranh giới hành chính, tiền xử lý và tổng hợp ảnh khu vực lựa chọn, tính toán các chỉ số thực vật (NDVI, EVI, SAVI...) sau đó phân loại hiện trạng lớp phủ theo các ngưỡng được định nghĩa. Kết quả phân loại được thống kê và phân tích, cuối cùng xuất và hiển thị qua các bản đồ, và số liệu thống kê.



Hình 1. Sơ đồ khối cấu trúc hệ thống giám sát biến động lớp phủ rừng

3.1. Thiết kế giao diện người dùng

Quy trình xây dựng ứng dụng Google Earth Engine (GEE) nhằm mục đích phân loại tự động các khu vực theo các chỉ số thực vật bắt đầu từ việc thiết kế giao diện người dùng (Hình 2). Trong ứng dụng này, người dùng có thể tùy chọn các thông số như



Hình 2. Giao diện hệ thống giám sát biến động lớp phủ rừng Việt Nam.

nguồn dữ liệu từ vệ tinh Landsat 8, Landsat 9, và Sentinel-2. Mỗi nguồn cung cấp dữ liệu với độ phân giải và đặc tính khác nhau, mang lại sự linh hoạt cho quá trình phân tích lớp phủ thực vật. Người dùng cũng có thể thiết lập khoảng thời gian nhất định và yêu cầu lọc dữ liệu theo tỷ lệ che phủ bởi mây, nhằm tối ưu hóa dữ liệu vệ tinh có chất lượng cao. Hơn nữa, ứng dụng cho phép người dùng lựa chọn khu vực quan tâm (AOI) bằng cách vẽ trực tiếp trên bản đồ, giúp đảm bảo quá trình phân loại được cá nhân hóa và chính xác theo yêu cầu.

3.2. Thu thập và lọc dữ liệu đầu vào

Dữ liệu bản đồ địa giới hành chính Việt Nam từ nguồn GADM (<https://gadm.org/>) đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu này, cung cấp ranh giới hành chính từ cấp tỉnh, huyện đến xã, giúp xác định chính xác các khu vực phân tích. Bộ dữ liệu này không chỉ hỗ trợ người dùng lựa chọn khu vực quan tâm mà còn đảm bảo tính đồng nhất và chính xác của dữ liệu đầu vào, giúp hệ thống cung cấp kết quả phân tích phù hợp với từng đơn vị hành chính. Nhờ đó, các cơ quan quản lý dễ dàng theo dõi và đưa ra quyết định về công tác bảo vệ và phát triển rừng tại các địa phương. Dữ liệu ranh giới này sẽ được tải lên và sử dụng trong các lựa chọn đầu tiên về khu vực giám sát lớp phủ rừng tại Việt Nam.

Bên cạnh đó, dữ liệu từ Landsat 8, 9 và Sentinel-2 giúp nâng cao hiệu quả giám sát biến động lớp phủ rừng nhờ độ phân giải không gian từ 10 đến 30 mét và các kênh phổ quan trọng cho việc tính toán chỉ số thực vật. Với chu kỳ lặp lại nhanh từ 5 đến 16 ngày, hệ thống có khả năng theo dõi chi tiết và kịp thời các biến động. Google Earth Engine cung cấp nền tảng tiếp cận hệ thống dữ liệu vệ tinh lớn này với các yêu cầu về thời gian và mức độ mây che phủ, tối ưu hóa chất lượng dữ liệu đầu vào bằng cách loại bỏ các ảnh bị ảnh hưởng bởi mây hoặc yếu tố thời tiết. Việc lọc theo các thông số đã chọn đảm bảo chỉ các ảnh có chất lượng cao nhất được sử dụng trong quá trình phân tích.

3.3. Tổng hợp và biến đổi ảnh

Tổng hợp ảnh vệ tinh trong một khoảng thời gian nhất định là kỹ thuật quan trọng trong nghiên cứu biến động lớp phủ rừng, giúp làm giảm ảnh hưởng của các yếu tố ngẫu nhiên ngắn hạn, chẳng hạn như thời tiết và nhiễu ảnh tạm thời, tạo ra cái nhìn ổn định và nhất quán hơn về xu hướng dài hạn của lớp phủ [65, 66]. Các phương pháp tổng hợp ảnh theo giá trị cực tiểu (min), cực đại (max), trung bình (mean), và trung vị (median) đóng vai trò khác nhau trong quá trình này: chúng không chỉ giảm thiểu nhiễu mà còn giúp tập trung vào các mô hình biến động bền vững theo thời gian. Ảnh tổng hợp trung bình cung cấp cái nhìn tổng quan, làm mờ các biến động ngắn hạn, trong khi ảnh cực đại và cực tiểu giúp xác định giới hạn của các giá trị phản xạ, qua đó phát hiện những khu vực có biến động bất thường [67, 68].

Trong điều kiện khí hậu nhiệt đới, nơi tỷ lệ mây che phủ cao và kéo dài suốt năm như tại Việt Nam, việc thu thập ảnh không bị ảnh hưởng bởi mây cho từng thời điểm riêng lẻ là một thách thức lớn. Kỹ thuật tổng hợp ảnh giúp khắc phục điều này, đặc biệt là phương pháp cực tiểu, có xu hướng loại bỏ các vùng mây do giá trị phản xạ cao của mây so với lớp phủ thực địa [69]. Các ảnh trung vị và trung bình cũng làm giảm tác động của mây, vì chúng sử dụng giá trị phản xạ phổ biến trong khoảng thời gian quan sát, làm mờ ảnh hưởng của các đám mây tạm thời. Ngược lại, ảnh cực đại, khi kết hợp với lọc mây ban đầu, có thể cung cấp thêm thông tin về mật độ lớp phủ tối đa của rừng trong một khu vực nhất định.

Nhờ các phép tổng hợp này, dữ liệu ảnh vệ tinh được tạo ra sẽ hỗ trợ theo dõi chính xác và liên tục các thay đổi trong lớp phủ rừng, đồng thời cải thiện khả năng phát hiện xu hướng phục hồi hoặc suy giảm của rừng. Điều này đặc biệt hữu ích trong công tác quản lý và bảo tồn tài nguyên rừng, đóng góp vào các chiến lược bền vững [6].

3.4. Tính toán các chỉ số thực vật

Các ảnh chất lượng cao thu được sau quá trình lọc, sẽ được đưa vào tự động tính toán các chỉ số thực vật quan trọng dựa trên dữ liệu đầu vào, bao gồm NDVI, EVI, SAVI và NDWI. Những chỉ số này giúp đánh giá mật độ và sức khỏe của thảm thực vật trong khu vực phân tích. NDVI là chỉ số phổ biến nhất, giúp đo lường sức khỏe thực vật bằng cách so sánh sự phản xạ của ánh sáng đỏ và cận hồng ngoại. EVI được sử dụng để tăng độ nhạy cảm trong các khu vực có mật độ thực vật cao, trong khi SAVI điều chỉnh các yếu tố liên quan đến lớp đất trống. NDWI hỗ trợ trong việc phát hiện các vùng nước và xác định độ ẩm của đất và thực vật. Việc sử dụng kết hợp các chỉ số này mang lại cái nhìn toàn diện về tình trạng lớp phủ thực vật và nước trong khu vực đã chọn. Các công thức chỉ số được triển khai dưới dạng script trên GEE, cho phép xử lý dữ liệu quy mô lớn, thực hiện phân tích chuỗi thời gian, và trích xuất thông tin không gian chi tiết. Kết quả từ các chỉ số này là cơ sở để xây dựng hệ thống giám sát lớp phủ rừng, hỗ trợ việc ra quyết định trong quản lý rừng bền vững tại Việt Nam.

3.5. Phân loại lớp phủ rừng

Quá trình phân loại hiện trạng rừng dựa trên các chỉ số thực vật đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu viễn thám và quản lý tài nguyên rừng, đặc biệt là tại Việt Nam. Việc sử dụng các ngưỡng giá trị của các chỉ số thực vật như NDVI, EVI, SAVI, NDWI, NBRI, GCI và BSI đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu trong việc phân loại rừng, đất trống, đất nông nghiệp, và các dạng thảm thực vật khác. Những chỉ số này không chỉ giúp định hình rõ ràng sự khác biệt giữa các loại lớp phủ mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc theo dõi sự thay đổi của môi trường rừng qua thời gian. Cụ thể, các ngưỡng giá trị của các chỉ số này được thiết lập dựa trên các nghiên cứu về phản xạ quang phổ của thảm thực vật, giúp phân biệt các dạng lớp phủ một cách chính xác và hiệu quả. Bảng 1 dưới đây cung cấp các ngưỡng giá trị của từng chỉ số thực vật và các loại hình hiện trạng rừng tương ứng, được tổng hợp từ nhiều nghiên cứu đã được công bố tại Việt Nam và trên thế giới.

Bảng 1. Ngưỡng giá trị của các chỉ số trong phân loại lớp phủ rừng.

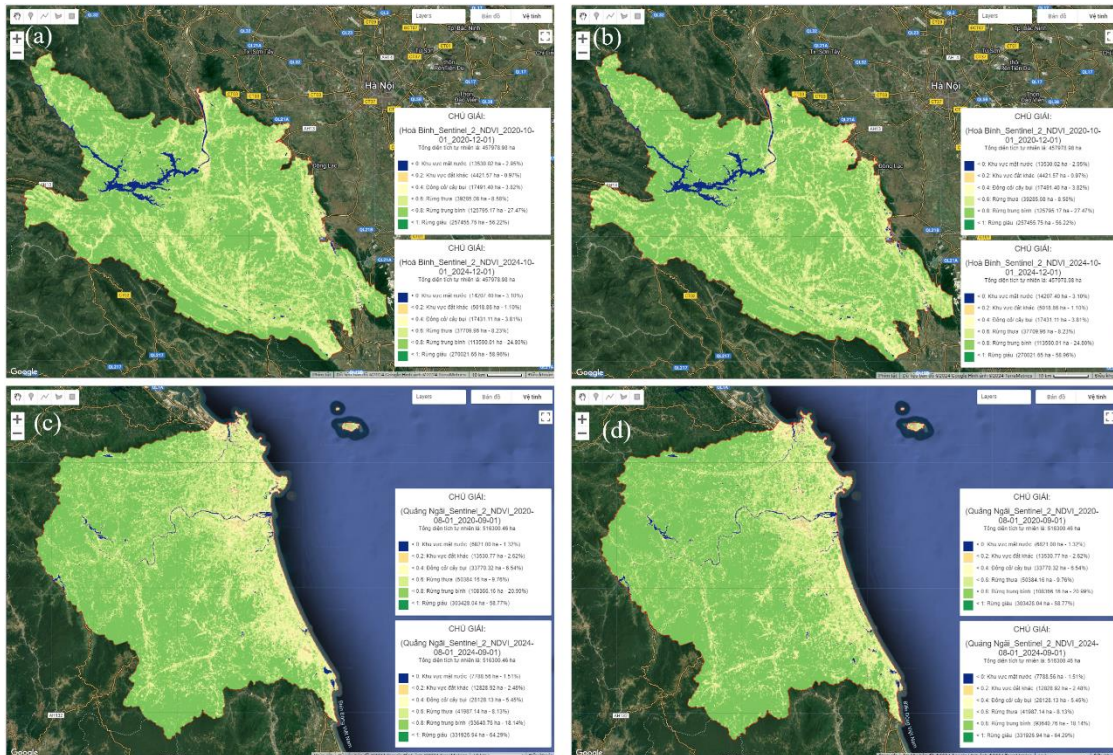
STT	Chỉ số thực vật	Loại hình lớp phủ	Ngưỡng giá trị	Nguồn tài liệu trích dẫn
1	NDVI	Rừng giàu	0,6 – 0,9	[70, 71]
		Rừng thưa	0,3 – 0,6	
		Đất nông nghiệp	0,2 – 0,4	
		Đất trống hoặc đô thị	-0,1 – 0,2	
2	EVI	Rừng giàu	0,5 – 1,0	[72]
		Rừng thưa	0,2 – 0,5	
		Đất trống hoặc nông nghiệp	0,0 – 0,2	
3	SAVI	Rừng giàu	0,4 – 0,7	[73]
		Rừng thưa	0,2 – 0,4	
		Đất trống hoặc nông nghiệp	0,0 – 0,2	
4	NDWI	Vùng nước	0,5 – 1,0	[74, 75]
		Rừng giàu	0,2 – 0,5	
		Đất trống hoặc đô thị	-0,5 – 0,0	
5	NBRI	Rừng bị cháy	-0,1 – -0,5	[76, 77]
		Rừng sau phục hồi	0,1 – 0,5	
		Đất trống sau cháy	-0,5 – 0,0	
6	GCI	Rừng khỏe	0,3 – 0,8	[78, 79]
		Rừng suy thoái	0,0 – 0,3	
7	BSI	Đất trống hoặc suy thoái	0,1 – 0,5	[64, 80]
		Rừng	-0,2 – 0,1	

3.6. Phân tích và thống kê diện tích

Quá trình tính toán và tổng hợp diện tích cho từng loại hình hiện trạng rừng được thực hiện tự động trên nền tảng Google Earth Engine (GEE), dựa trên các chỉ số thực vật được tính toán từ dữ liệu vệ tinh Landsat 8, 9 và Sentinel-2 do người dùng lựa chọn. Các chỉ số thực vật cho phép phân biệt các trạng thái rừng và các khu vực không có rừng thông qua các ngưỡng chỉ số thực vật đặc trưng. Dựa vào dữ liệu địa giới hành chính từ GADM, diện tích của từng loại hình hiện trạng rừng được xác định chính xác theo từng khu vực hành chính. Phương pháp này giúp phát hiện và đo lường nhanh chóng, chính xác các biến động về diện tích rừng theo thời gian, từ đó hỗ trợ hiệu quả cho công tác quản lý và bảo tồn tài nguyên rừng.

3.7. Xuất kết quả và hiển thị ảnh sau phân loại

Sau khi hoàn tất quá trình phân loại và tính toán diện tích, kết quả sẽ được hiển thị dưới dạng bản đồ số với các lớp màu khác nhau biểu thị cho từng loại địa hình hoặc lớp phủ thực vật. Người dùng có thể xem trực tiếp kết quả này trên giao diện ứng dụng và tùy chọn tải xuống ảnh phân loại hoặc dữ liệu thống kê dưới dạng bảng tính để phục vụ cho các nhu cầu phân tích hoặc báo cáo chi tiết. Ứng dụng cung cấp tính năng linh hoạt trong việc xuất dữ liệu, giúp người dùng dễ dàng chia sẻ hoặc tiếp tục nghiên cứu trên các nền tảng khác nhau.



Hình 3. Hiển thị kết quả sau phân loại theo chỉ số thực vật: (a) Ảnh sau phân loại theo chỉ số NDVI khu vực tỉnh Hòa Bình tháng 10 năm 2020, (b) Ảnh sau phân loại theo chỉ số NDVI khu vực tỉnh Hòa Bình tháng 10 năm 2024, (c) Ảnh sau phân loại theo chỉ số NDVI khu vực tỉnh Quảng Ngãi tháng 8 năm 2020, (d) Ảnh sau phân loại theo chỉ số NDVI khu vực tỉnh Quảng Ngãi tháng 8 năm 2024.

Hình 3 trình bày kết quả phân loại lớp phủ dựa trên chỉ số NDVI tại khu vực tỉnh Hòa Bình và Quảng Ngãi trong hai mốc thời gian khác nhau: năm 2020 và năm 2024. Cụ thể, hình 3a, 3b thể hiện phân bố giá trị NDVI tại tỉnh Hòa Bình vào tháng 10 năm 2020 và tháng 10 năm 2024, trong khi hình 3c, 3d mô tả tình hình tương tự tại tỉnh Quảng Ngãi vào tháng 8 năm 2020 và tháng 8 năm 2024. Kết quả phân loại dựa trên các ngưỡng NDVI, phản ánh sự khác biệt về mức độ che phủ thực vật. Sự so sánh giữa các mốc thời gian cho thấy những biến động đáng kể trong lớp phủ rừng tại cả hai tỉnh, qua đó thể hiện rõ kết quả của nghiên cứu.

cứu trong xây dựng hệ thống giám sát biến động lớp phủ rừng dựa trên nền tảng GEE trong hỗ trợ xử lý dữ liệu vệ tinh và phân tích chuỗi thời gian, cung cấp thông tin chi tiết và trực quan phục vụ công tác quản lý tài nguyên rừng bền vững.

3.8. *Đánh giá độ chính xác*

Trong các nghiên cứu gần đây, nhiều thực nghiệm đã được thực hiện nhằm đánh giá độ chính xác của các chỉ số thực vật như NDVI, EVI, SAVI, NDWI, NBRI, GCI và BSI trong việc giám sát và phân loại lớp phủ rừng. Chỉ số NDVI đã được chứng minh là có khả năng phân loại chính xác lớp phủ rừng trong nhiều điều kiện môi trường khác nhau, đạt độ chính xác phân loại lớp phủ rừng khoảng 85% trong các khu vực rừng giàu, nhưng giảm xuống còn 70% trong các khu vực có lớp phủ thực vật thưa [70]. Trong khi đó, EVI cho thấy ưu thế trong việc phân biệt giữa các loại thảm thực vật dày đặc và ít che phủ, đặc biệt là ở những khu vực bị che phủ bởi mây hoặc có bụi bản, nhờ vào khả năng điều chỉnh ảnh hưởng của các yếu tố ngoại cảnh. Độ chính xác đạt khoảng 88% trong các khu vực có mây hoặc bụi bản, so với 75% của NDVI trong cùng điều kiện [72]. Chỉ số SAVI, với việc bổ sung hệ số L, đã cho kết quả khả quan trong các khu vực có lớp phủ thực vật thưa, giúp giảm thiểu tác động của đất lên phép đo đã cho độ chính xác khoảng 82% trong việc phân loại rừng thưa, cao hơn so với 68% của NDVI [73]. NDWI được công nhận có hiệu quả trong việc theo dõi độ ẩm của thực vật, đã được chứng minh có độ chính xác lên tới 90% trong việc theo dõi độ ẩm của thực vật, đặc biệt hiệu quả trong phát hiện các hiện tượng khô hạn và cháy rừng [74]. Chỉ số NBRI đã cho thấy khả năng cao trong việc đánh giá thiệt hại sau các sự kiện cháy rừng, đạt độ chính xác khoảng 92% giúp xác định nhanh chóng các khu vực cần phục hồi [14, 43, 76]. GCI, chỉ số phản ánh hàm lượng chlorophyll, đã được chứng minh có khả năng phát hiện sự thay đổi về sức khỏe của thực vật với chính xác đạt 85% trong việc phát hiện sự thay đổi sức khỏe thực vật, được ứng dụng trong việc theo dõi tình trạng stress của rừng [79]. Cuối cùng, BSI đã chứng tỏ tính hiệu quả với độ chính xác lên tới 87% trong việc phát hiện các vùng đất trống và suy thoái, hỗ trợ hiệu quả cho quản lý tài nguyên rừng bền vững [64].

Những con số này không chỉ chứng minh tính hiệu quả của các chỉ số thực vật trong việc giám sát và quản lý tài nguyên rừng mà còn mở ra cơ hội cho các phương pháp giám sát hiện đại trong bối cảnh biến đổi khí hậu và suy thoái môi trường. Từ đó, các chỉ số này đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp thông tin kịp thời và chính xác cho các nhà quản lý rừng, góp phần bảo tồn và phát triển bền vững các hệ sinh thái rừng toàn cầu.

4. **Kết luận**

Ứng dụng phát triển trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) để theo dõi và đánh giá hiện trạng rừng mang lại nhiều ưu điểm vượt trội trong quản lý tài nguyên thiên nhiên. Một trong những ưu điểm lớn nhất là khả năng xử lý dữ liệu vệ tinh lớn theo thời gian thực với tốc độ nhanh chóng, cho phép người dùng có thể cập nhật thông tin về hiện trạng rừng một cách liên tục và hiệu quả. Ứng dụng cũng có tính linh hoạt cao khi cho phép người dùng tùy chọn các loại dữ liệu vệ tinh (Landsat 8, 9 và Sentinel-2), thời gian và mức độ lọc mây, giúp việc giám sát rừng trở nên phù hợp với các điều kiện cụ thể của Việt Nam và từng khu vực địa lý khác nhau. Điều này giúp người dùng có thể theo dõi các biến động rừng kịp thời, đặc biệt hỗ trợ rất lớn trong việc đưa ra các quyết định quản lý và bảo tồn rừng của các cơ quan quản lý trực tiếp. Bên cạnh đó, việc sử dụng ứng dụng trên GEE không đòi hỏi người dùng có kỹ năng và hiểu biết nhiều về viễn thám và quá trình xử lý dữ liệu, điều này cho thấy vai trò của ứng dụng trong thực tế là rất cần thiết đặc biệt cho những người sử dụng quan tâm có kiến thức chuyên môn về các lĩnh vực khác nhau có thể tham gia vào quá trình theo dõi và gia quyết định trong tương lai.

Tiềm năng phát triển của ứng dụng này là rất lớn, đặc biệt khi xu hướng quản lý tài nguyên thiên nhiên theo thời gian thực ngày càng được chú trọng. Với việc tiếp tục phát triển và cải tiến, ứng dụng có thể tích hợp thêm các thuật toán học máy (machine learning) và trí

tuệ nhân tạo (AI) để tăng cường khả năng phân loại và dự đoán biến động rừng một cách chính xác hơn. Ngoài ra, việc cải thiện giao diện người dùng, tăng cường khả năng tiếp cận và đào tạo cho người dùng không chuyên sẽ mở rộng phạm vi ứng dụng, giúp các tổ chức chính phủ, nhà nghiên cứu và doanh nghiệp tư nhân có thể sử dụng công cụ này một cách dễ dàng hơn trong việc ra quyết định liên quan đến quản lý và bảo vệ rừng.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: V.X.Đ.; Xử lý số liệu: V.X.Đ.; Viết bản thảo bài báo: V.X.Đ.; Chỉnh sửa bài báo: V.X.Đ.

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích với tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Sodhi, N.S.; Brook, B.W.; Bradshaw, C.J.A. Southeast Asian biodiversity conservation. *Trends Ecol. Evol.* **2004**, *19*(12), 654–660.
2. General Department of Forestry, M.o.A. and R. Development, Vietnam forestry statistics. Hanoi: General Department of Forestry, 2020.
3. Nguyen, T.V.; McElwee, P.D. Forest cover change in Vietnam: A historical review and implications for future policies. *Land Use Policy* **2020**, *97*, 104693.
4. Food and A. Organization. Global forest resources assessment. Rome: FAO, 2020.
5. Hansen, M.C.; et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* **2013**, *342*(6160), 850-853.
6. Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* **2017**, *202*, 18–27.
7. Nguyen, Q.; Hoang, T.L.; Vu, N.C. Applications of remote sensing for forest monitoring in Vietnam using Google Earth Engine. *Forests* **2020**, *11*(8), 822.
8. Asner, G.P.; et al. The importance of remote sensing for forest conservation. *Nat. Commun.* **2021**, *12*(1), 6956.
9. Huete, A.R.; Liu, H.Q.; Batchily, K.; van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.* **1997**, *59*(3), 440–451.
10. Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, in Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. NASA SP-351, 1974, pp. 309–317.
11. Geography, G.I.S. What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), 2015.
12. Vélez, S.; Martínez-Peña, R.; Castrillo, D. Beyond vegetation: A review unveiling additional insights into agriculture and forestry through the application of vegetation indices. *J. Agric. For. Res.* **2023**, *6*(3), 421–436.
13. Huete, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* **1988**, *25*(3), 295–309.
14. Key, C.H.; Benson, N.C. Landscape assessment: Remote sensing of severity, the normalized burn ratio. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006.
15. McFeeters, S.K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens.* **1996**, *17*(7), 1425–1432.
16. Gitelson, A.A.; Gritz, U.; Merzlyak, M.N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *J. Plant Physiol.* **2003**, *160*(3), 271–282.
17. Rikimaru, A.; Roy, P.S.; Miyatake, S. Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology* **2002**, *43*(1), 39–47.

18. Pettorelli, N.; Laurance, W.F.; O'Brien, T.G.; Wegmann, M.; Nagendra, H.; Turner, W. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *J. Appl. Ecol.* **2016**, *53*(4), 859–864.
19. Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* **2019**, *12*(1), 1001–1006.
20. Xu, C.; et al. NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change in the northern forests of China. *Forests* **2017**, *8*(6), 200.
21. Zhu, Z.; Wang, S.; Woodcock, C.E. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: Cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sens. Environ.* **2019**, *159*, 269–277.
22. Huang, X.; Liu, Y.; Zhang, M. Spatiotemporal dynamics of forest disturbance and recovery derived from Landsat time series in subtropical China. *Remote Sens. Environ.* **2020**, *12*(2), 233.
23. Fensholt, R.; Proud, S.R.; Mbow, C. Evaluation of earth observation based global long-term vegetation trends—Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote Sens. Environ.* **2015**, *159*, 104–123.
24. Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T. Overview of the Enhanced Vegetation Index (EVI): Contributions and improvements to vegetation monitoring. *Remote Sens. Environ.* **2016**, *182*, 231–245.
25. Sims, D.A.; Rahman, A.F. Tropical forest monitoring with enhanced vegetation indices. *Ecol. Appl.* **2017**, *27*(6), 1833–1847.
26. Didan, K.; Huete, A.R. MODIS vegetation index products: Updates and lessons learned. *Remote Sens. Environ.* **2018**, *221*, 3–22.
27. Morton, D.C.; Defries, R.S.; Randerson, J.T. Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazon forests. *Global Environ. Change* **2019**, *55*, 1–12.
28. Zhang, Y.; Xu, B.; Wang, W. Monitoring forest health using remote sensing data with enhanced vegetation index. *Environ. Monit. Assess.* **2020**, *192*(9), 606.
29. Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T. A revised soil-adjusted vegetation index (SAVI) and its application to vegetation monitoring. *Remote Sens. Environ.* **2015**, *174*, 143–153.
30. Xu, D.; Chen, Q.; Du, J. Impact of soil reflectance on the performance of vegetation indices: A comparison study in arid regions. *Ecol. Indic.* **2016**, *63*, 1–9.
31. Zhang, C.; Liu, X.; He, H. Assessing deforestation and forest degradation using soil-adjusted vegetation indices in dry forest ecosystems. *For. Ecol. Manage.* **2017**, *404*, 13–22.
32. Chen, X.; Zhao, Y.; Sun, J. Application of SAVI in forest degradation and regeneration assessment in semi-arid areas. *J. Arid. Environ.* **2018**, *152*, 98–110.
33. Jiang, Z.; Xiao, X.; Wang, Y. Soil-adjusted vegetation indices for improving forest health assessments under high soil visibility. *Remote Sens.* **2019**, *11*(5), 582.
34. Wang, L.; Zhou, L.; Liu, Z. Monitoring post-fire forest recovery using SAVI and other vegetation indices: A case study in boreal forest regions. *Forests* **2020**, *11*(6), 629.
35. Huang, Y.; Wang, Y.; Chen, J. Utilizing SAVI for forest management in sensitive regions. *Enviro. Res.* **2020**, *188*, 109.
36. Gao, B.C. NDWI: A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sens. Environ.* **2015**, *101*, 375–382.
37. Gu, Y.; et al. A five-year analysis of the NDWI for drought monitoring in the central United States. *Remote Sens.* **2017**, *9*(4), 303.
38. Makamura, Y.; Xu, H. Application of NDWI for forest water stress monitoring. *Ecol. Indic.* **2018**, *85*, 1–9.

39. Chen, J.; Huang, Y.; Wu, J. Using NDWI and other indices to assess forest drought stress. *J. Hydrol.* **2016**, 535, 222–233.
40. Zhou, Y.; Liu, X.; Zhang, Z. Monitoring forest health using NDWI: A case study in subtropical forests. *Remote Sens. Environ.* **2019**, 226, 216–224.
41. Li, W.; Zhang, H.; Li, Y. NDWI application in wetland and forest water stress assessment: A comparative study. *For. Ecol. Manage.* **2020**, 456, 117666.
42. Wang, L.; Zhou, L.; Liu, Z. NDWI in forest management: A global perspective on forest water stress monitoring. *Forests* **2021**, 12(5), 501.
43. Key, C.H.; Benson, N.C. Landscape assessment: Ground measure of severity, the composite burn index; and remote sensing of severity, the normalized burn ratio. *Fire Effects Monit. Inventory Syst.* **2006**, LA1–LA51.
44. Holden, Z.A.; Morgan, P.; Crimmins, M.A.; Steinhorst, R.K.; Smith, A.M.S. Fire season precipitation variability influences fire extent and severity in a large southwestern wilderness area, USA. *Geophys. Res. Lett.* **2015**, 42(14), 5213–5221.
45. García-Lázaro, J.R.; et al. Burn severity patterns of large fires in response to pre-fire fuel and weather in Mediterranean pine ecosystems. *Sci. Total Environ.* **2018**, 624, 424–437.
46. Pham, T.D.; Nguyen, H.V. Forest fire monitoring and management in Vietnam using remote sensing and GIS. *For. Ecol. Manage.* **2020**, 477, 118481.
47. Doan, H.Q.; Tran, Q.D. The effects of forest fire on tropical forest ecosystems in Vietnam. *Int. J. Wildland Fire* **2019**, 28(5), 340–349.
48. Roberts, D.A.; Quayle, B.; Borchert, J. Use of remote sensing to assess the impacts of large fires on forest restoration. *Ecological Restoration* **2019**, 37(3), 183–195.
49. Chuvieco, E.; Pettinari, M.L.; Ramo, C.C. Generation and analysis of burn severity maps for a southern European country using Landsat and Sentinel-2 data. *Remote Sens.* **2016**, 8(5), 340.
50. Rodríguez-Galiano, V.F.; Pascual, J.; Martín, M.P. Burned area mapping and post-fire severity assessment using satellite imagery and machine learning in fire-prone ecosystems. *Remote Sens. Environ.* **2021**, 264, 112571.
51. Sims, D.A.; Gamon, J.A. Relationship between chlorophyll content and vegetation indices: implications for photosynthetic efficiency across vegetation types. *Remote Sens. Environ.* **2016**, 187, 120–134.
52. Daughtry, C.S.T.; Walthall, C.L.; Kim, M.S.; de Colstoun, E.B.; McMurtrey, J.E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. *Remote Sens. Environ.* **2000**, 74(6), 229–239.
53. Tucker, C.J.; Sellers, P.J. Satellite remote sensing of primary production. *Int. J. Remote Sens.* **2015**, 36(5), 1540–1560.
54. Smith, M.O.; Black, A. Reflectance of dense vegetation at near-infrared wavelengths. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **2018**, 56(2), 233–243.
55. Jones, M.O.; Kimball, J.S.; Reichle, R.H. Satellite monitoring of vegetation response to drought. *Agric. For. Meteorol.* **2019**, 265, 146–159.
56. Chen, B.; Xiao, X.; Zhang, Y. Using Landsat images to monitor post-fire forest recovery dynamics. *Ecol. Appl.* **2020**, 30(2), e02052.
57. Wang, Y.; Ma, L.; Li, X. Effects of climate change on forest ecosystems and vegetation index trends. *J. Environ. Manage.* **2021**, 278, 111591.
58. Kross, A.; Murdie, T.; Gomez, C. Evaluating GCI for sustainable forest management. *Can. J. Remote Sens.* **2018**, 44(3), 266–278.
59. Rahman, M.M.; Shi, Z.; Chongfa, C. Soil degradation monitoring with remote sensing. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2017**, 54, 38–48.
60. DeFries, R.; Hansen, A.; Turner, B.L. Land use change: Impacts on soil and biodiversity. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **2015**, 40, 235–258.

61. Phan, L.D.; Vu, T.A.; Bui, Q.T. Forest cover loss and agricultural expansion in Vietnam: Impacts of economic activities on land degradation. *For. Policy Econ.* **2020**, *115*, 102138.
62. Sun, Q.; Cheng, W.; Liu, X. Desertification monitoring using BSI and other remote sensing indices. *Environ. Monit. Assess.* **2019**, *191*(4), 220.
63. Tran, H.T.; Nguyen, Q.D. Assessing BSI for forest management in tropical regions. *J. For. Res.* **2021**, *32*(2), 353–367.
64. Li, F.; Lu, C.; Yang, X. Application of BSI in forest cover and land degradation monitoring. *Land Degrad. Dev.* **2018**, *29*(5), 1337–1349.
65. Zhu, Z.; Woodcock, C.E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sens. Environ.* **2012**, *118*, 83–94.
66. Cohen, W.B.; Goward, S.N. Landsat's role in ecological applications of remote sensing. *Bioscience* **2004**, *54*(6), 535–545.
67. Woodcock, C.E.; Strahler, A.H. The factor of scale in remote sensing. *Remote Sens. Environ.* **1987**, *21*(3), 311–332.
68. Kennedy, R.E.; Yang, Z.; Cohen, W.B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr – Temporal segmentation algorithms. *Remote Sens. Environ.* **2010**, *114*(12), 2897–2910.
69. Roy, D.P.; et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sens. Environ.* **2014**, *145*, 154–172.
70. Nguyen, H.T.; Tran, M.T.; Le, Q.P. Application of NDVI in monitoring forest cover changes in the Central Highlands of Vietnam. *J. Sci. Technol.* **2018**, *56*(2), 12–19.
71. Phan, T.H.; Vo, N.A. The use of remote sensing and NDVI to monitor forest ecosystems in Vietnam. *VN J. For. Res.* **2015**, *24*(3), 22–30.
72. Hoang, L.V.; Le, V.T.; Nguyen, A.H. Enhanced vegetation index (EVI) application in forest monitoring in tropical areas of Vietnam. *J. Environ. Sci.* **2017**, *61*(4), 55–67.
73. Le, M.T.; Pham, V.C.; Tran, Q.H. Soil-adjusted vegetation index (SAVI) in vegetation classification and monitoring in Northern Vietnam. *VN Acad. Agric. Sci.* **2016**, *49*(1), 10–18.
74. Tran, Q.T.; Le, T.V.; Hoang, P.D. NDWI and MNDWI in monitoring water bodies and forested wetland areas in the Mekong Delta, Vietnam. *VN J. Hydrometeorol.* **2019**, *75*(2), 43–52.
75. Xu, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Int. J. Remote Sens.* **2006**, *27*(14), 3025–3033.
76. Key, C.H.; Benson, N.C. Landscape Assessment: Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio; and ground measure of severity, the Composite Burn Index.
77. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. USDA Forest Service, 2006.
78. López García, M.J.; Caselles, V. Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data. *Geocarto Int.* **1991**, *6*(1), 31–37.
79. Gitelson, A.A.; Viñ, A.; Ciganda, V.; Rundquist, D.C.; Arkebauer, T.J. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophys. Res. Lett.* **2005**, *32*(8), L08403.
80. Wu, Y.; et al. Evaluation of GCI index in monitoring forest health status using remote sensing data. *Remote Sens.* **2020**, *12*(14).
81. Jamalabad, V.P.; Abkar, A.A. Forest canopy density monitoring using satellite images. *Geocarto Int.* **2004**, *19*(2), 21–24.

Application of Google Earth Engine in developing a forest cover change monitoring system in Vietnam

Vu Xuan Dinh^{1*}

¹ Department of Geodesy, Mapping and GIS, College of Land Management and Rural Development, Vietnam National University of Forestry; dinh.vuxuan@gmail.com

Abstract: This study focuses on developing an automated system to monitor forest cover changes in Vietnam through the Google Earth Engine (GEE) platform, using widely recognized vegetation indices. Amid increasing deforestation and climate change, this system provides a rapid, accurate, and cost-effective solution for tracking forest dynamics without the need for substantial infrastructure investment. The indices NDVI, EVI, SAVI, NDWI, NBRI, GCI, and BSI are applied to assess forest health and coverage levels. This research underscores the critical role of remote sensing technology in forest monitoring, leveraging satellite data to analyze changes in forest area and ecosystem health. With its large-scale processing capabilities, GEE enables broad-area analysis and early detection of phenomena such as deforestation, wildfires, and forest degradation. This system serves as a crucial decision-support tool for sustainable forest management and conservation, while also automating monitoring processes, contributing to improved resource management efficiency and biodiversity protection.

Keywords: Google Earth Engine; Remote Sensing Technology; Vegetation Indices; Natural Resource Monitoring; Vegetation Classification; Vietnam.