

PHÂN TÍCH ỨNG DỤNG GIS VÀ VIỄN THÁM TRONG THAY ĐỔI THÂM PHỦ RỪNG DƯỚI TÁC ĐỘNG CỦA CÁC NHÂN TỐ TỰ NHIÊN, KINH TẾ VÀ XÃ HỘI

Cao Thị Hoài và Nguyễn Thị Thanh Hương

Trường Đại học Tây Nguyên

TÓM TẮT

Bài viết này tổng hợp và phân tích các công trình nghiên cứu về ứng dụng công nghệ GIS và viễn thám trong việc theo dõi và phân tích thay đổi thảm phủ sử dụng đất (LULCC), quản lý tài nguyên rừng và mối quan hệ giữa thay đổi tài nguyên rừng với các nhân tố tự nhiên - kinh tế - xã hội. Tổng quan từ 79 tài liệu trong và ngoài nước cho thấy, các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung vào phân tích LULCC theo giai đoạn và ít khám phá sâu vào tác động tổng hợp của các nhân tố tự nhiên, kinh tế và xã hội. Bài viết mở rộng phạm vi nghiên cứu bằng cách đánh giá các nghiên cứu liên quan đến tác động của những nhân tố này đối với thay đổi thảm phủ rừng, chỉ ra các thách thức liên quan không chỉ xuất phát từ các yếu tố tự nhiên mà còn từ ảnh hưởng lớn của các yếu tố kinh tế và xã hội. Về phương pháp các nghiên cứu trên toàn cầu đã sử dụng công nghệ viễn thám và GIS để xem xét tác động của các nhân tố tự nhiên, kinh tế và xã hội đến LULCC, dựa trên phương pháp hồi quy tuyến tính, trong khi đó chỉ một số ít đã áp dụng mô hình phương trình cấu trúc (Structural Equation Modeling) với một vài nhân tố được xác định một cách chủ quan để phân tích định lượng mối quan hệ nhân quả này. Tại Việt Nam, nghiên cứu về tác động của các nhân tố tự nhiên, kinh tế và xã hội đến thay đổi thảm phủ rừng sử dụng công nghệ viễn thám và GIS còn hạn chế, thường tập trung vào phân tích riêng lẻ các nhân tố hoặc kết hợp một vài nhân tố, với phương pháp chính là hồi quy tuyến tính hoặc logistic. Việc tổng quan các ứng dụng này nhằm làm cơ sở để vận dụng phối hợp không chỉ phân tích định lượng và không gian LULCC mà còn chỉ ra tiềm năng ứng dụng phân tích này trong mối tương quan với các yếu tố kinh tế - xã hội.

Từ khóa: GIS và viễn thám, LULCC, nhân tố tự nhiên - kinh tế - xã hội.

A REVIEW OF GIS AND REMOTE SENSING APPLICATIONS IN ANALYZING FOREST COVER CHANGE UNDER THE INFLUENCE OF NATURAL, ECONOMIC AND SOCIAL FACTORS

Cao Thi Hoai, Nguyen Thi Thanh Huong

Tay Nguyen University

ABSTRACT

This article synthesized and analyzed based on 79 studies on the application of GIS and remote sensing technologies in monitoring and analyzing land use land cover changes (LULCC), forest resource management, and the relationship between forest resource changes and natural, economic, and social factors. Previous studies primarily focused on analyzing LULCC over periods and rarely explored the combined impacts of natural, economic, and social factors. This paper expanded the research objective by evaluating studies related to the impacts of these factors on forest cover changes, indicating that the challenges arise not only from natural factors but also significantly from economic and social influences. While global studies have utilized remote sensing and GIS to examine the impacts of natural, economic, and social factors on LULCC, most have relied on linear regression methods, and only a few have applied the model of "Structural Equation Modeling" (SEM) to quantitatively analyze this causal relationship. In contrast, in Vietnam, research on the impact of natural, economic, and social factors on forest cover changes using remote sensing and GIS is limited. Existing studies often focus on analyzing individual factors or a combination of a few, primarily using linear and logistic regression methods. The overview of these applications aims to provide a basis for the coordinated use of not only quantitative and spatial analysis of LULCC but also to highlight the potential application of this analysis in relation to socio-economic factors.

Keywords: GIS and remote sensing, LULCC, natural - economic - social factors.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Thay đổi thảm phủ rừng đang đặt ra những thách thức đáng kể cho quản lý bảo vệ tài nguyên rừng và môi trường toàn cầu. Mặc dù thế giới đã có những nỗ lực không nhỏ trong việc bảo tồn tài nguyên rừng nhưng diện tích rừng vẫn tiếp tục giảm sút. Báo cáo của Global Forest Watch (2023) chỉ ra rằng, dù có nhiều nỗ lực bảo tồn, cam kết quốc tế về chấm dứt nạn phá rừng, diện tích rừng nguyên sinh nhiệt đới toàn cầu vẫn tiếp tục bị suy giảm. Bằng chứng cho thấy, tổng diện tích rừng nguyên sinh nhiệt đới bị mất năm 2022 là 4,1 triệu ha. Điều này đặt ra một thách thức lớn không chỉ cho các nhà khoa học, nhà hoạch định chính sách, mà còn cho toàn thể xã hội trong việc tìm ra giải pháp quản lý bền vững tài nguyên rừng.

Trong bối cảnh đó, công nghệ GIS và viễn thám đã chứng minh là công cụ không thể thiếu trong việc theo dõi, phân tích và hiểu biết về quy mô, tốc độ của thay đổi thảm phủ rừng. Các nghiên cứu gần đây như Manson, S. và đồng tác giả (2015); Suleiman, M.S. (2017); Ottah, C. & Ukpere, D. (2018); Blaga, L. và đồng tác giả (2023) đã sử dụng ảnh vệ tinh để cung cấp dữ liệu chính xác về tình hình rừng, từ đó phục vụ cho việc đưa ra các quyết định quản lý môi trường và hoạch định chính sách dựa trên thông tin đáng tin cậy. Ngày nay, viễn thám đã phát triển thành một công nghệ quan trọng và được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực khoa học lâm nghiệp (Fassnacht, F.E. *et al.*, 2024).

Mặt khác, các thách thức liên quan đến thay đổi thảm phủ rừng không chỉ bắt nguồn từ các yếu tố tự nhiên, mà còn chịu ảnh hưởng mạnh mẽ từ các nhân tố kinh tế và xã hội. Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu thống kê tổng hợp lại cho thấy, mối quan hệ phức tạp giữa nhiều yếu tố này với thực trạng thay đổi thảm phủ rừng (DeFries. R. *et al.*, 2010;

Phompila. C. *et al.*, 2017; Furukawa. T., 2018; Rovani. I.L. *et al.*, 2020; Xiao. H., *et al.*, 2021; Prochazka. P., *et al.*, 2023). Hơn nữa, có nhiều nghiên cứu đã ứng dụng công nghệ GIS và viễn thám để nghiên cứu thay đổi thảm phủ rừng chịu tác động của nhiều nhân tố tự nhiên, kinh tế và xã hội (Ningthoujam. R., *et al.*, 2016; Negassa. M.D., *et al.*, 2020; Amini. S., *et al.*, 2022; Debebe. B., *et al.*, 2023). Đây là phương pháp tiếp cận khoa học và phù hợp với bối cảnh hiện nay để quản lý và định hình chính sách quản lý bảo vệ rừng một cách hiệu quả. Nghiên cứu này nhằm mục tiêu tổng hợp và phân tích các nghiên cứu đã được thực hiện trong những năm gần đây liên quan đến ứng dụng GIS và viễn thám trong việc phân tích thay đổi thảm phủ rừng dưới tác động của các nhân tố tự nhiên, kinh tế và xã hội, từ đó nhận diện những hạn chế và tồn tại trong các nghiên cứu hiện hành, xây dựng những định hướng nghiên cứu tiếp theo và tạo nền tảng vững chắc cho việc hoạch định chính sách.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

- Sử dụng phương pháp tổng hợp dữ liệu từ các nghiên cứu đã được công bố trong và ngoài nước. Để thu thập tài liệu tham khảo, đã dựa vào các công cụ tìm kiếm và nền tảng học thuật như Google, ResearchGate, Google Scholar, Web of Science và Science Direct.

- Những công trình nghiên cứu quan trọng nhất được phân tích về các lĩnh vực sau đây:

(i) Ứng dụng viễn thám và GIS trong giám sát rừng;

(ii) Các phương pháp phân tích mối quan hệ giữa các thay đổi thảm phủ rừng và các nhân tố kinh tế - xã hội.

Tổng số đã tham khảo 79 tài liệu, bao gồm: 65 bài báo khoa học quốc tế (trong đó có 02 bài review tổng hợp), 02 bài báo từ hội nghị quốc tế và 02 báo cáo. Ngoài ra, cũng đã tham khảo 10 bài báo khoa học trong nước.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật GIS và viễn thám liên quan đến quản lý tài nguyên rừng

Trong lĩnh vực quản lý tài nguyên rừng, việc áp dụng kỹ thuật GIS và viễn thám đã trở nên thiết yếu, đặc biệt từ cuối những năm 1980, nhằm giải quyết các thách thức môi trường như phá rừng, sa mạc hóa và đô thị hóa. Thế giới đã ghi nhận sự tiến bộ đáng kể của công nghệ này, mở rộng ứng dụng sang các lĩnh vực như khảo cổ học, dân số học và sức khỏe cộng đồng nhờ vào khả năng cung cấp thông tin chính xác và hiệu quả về thảm phủ và biến đổi sử dụng đất.

Nhiều nghiên cứu hiện đại, như công trình của Pettorelli và đồng tác giả (2014), N.T.T. Huong và đồng tác giả (2020), Xu. C. và đồng tác giả (2020), N.T.T. Huong và đồng tác giả (2021), Sandker. M., (2021), Laze. K. (2022), Almalki. R. và đồng tác giả (2022) và Gu. Z. & Zeng. M., (2024) đã khẳng định giá trị của dữ liệu viễn thám như một nguồn thông tin chính để phát hiện và theo dõi sự thay đổi thảm phủ, đồng thời các nghiên cứu cũng đề cập đến cải tiến trong phương pháp phân tích và xử lý dữ liệu viễn thám, mở rộng khả năng ứng dụng của nó trong các lĩnh vực liên quan đến thảm phủ rừng. Điều này góp phần quan trọng vào việc quyết định và phát triển các chiến lược quản lý tài nguyên rừng. Sự tiến bộ trong công nghệ viễn thám và GIS đã cho phép phát hiện, phân tích và dự báo các xu hướng thay đổi thảm phủ rừng, từ yếu tố tự nhiên cho đến nhân tạo. Các nghiên cứu của N.T.T. Huong và đồng tác giả (2020), Xu. L. và đồng tác giả (2022) và Zhang. G. và đồng tác giả (2023) đã áp dụng thành công công nghệ này trong quản lý tài nguyên rừng ở các quốc gia đang phát triển, đánh dấu sự tăng trưởng đáng kể trong lĩnh vực này.

Nghiên cứu mới nhất của Fassnacht. F.E. và đồng tác giả (2024) cũng cho thấy, sự cần thiết của việc chấp nhận, phù hợp và tích hợp công nghệ, sản phẩm và dữ liệu viễn thám vào các

chương trình kiểm kê và giám sát rừng bao gồm cả đa dạng sinh học và phát triển bền vững. Nổi bật trong ứng dụng công nghệ này với các nghiên cứu đa dạng sinh học có thể kể đến các nghiên cứu như báo cáo của Krawczyk. W. và Wężyk. P., (2023) trong việc phát hiện sự thay đổi của loài Vân sam theo thời gian; sự xuất hiện của các loài chim bị đe dọa (Kobayashi *et al.*, 2023); mô hình học sâu và phân tích đất nông nghiệp (Gan *et al.*, 2023; Molla *et al.*, 2023); các nghiên cứu của Yang. J và đồng tác giả (2013), Zhao. S. và đồng tác giả (2023) đã cho thấy, viễn thám vệ tinh đã mang lại những tiến bộ lớn trong việc tìm hiểu hệ thống khí hậu và những thay đổi của nó, bằng cách định lượng các quá trình và trạng thái không gian - thời gian của khí quyển, đất liền và đại dương. Đặc biệt, nghiên cứu của Pettorelli và đồng tác giả (2014) và Goetz và đồng tác giả (2015) cũng đã chỉ ra cách thức kết hợp dữ liệu viễn thám và các phép đo điều tra hiện trường để nghiên cứu đa dạng sinh học, đánh giá các dự án giảm phát thải từ phá rừng và suy thoái rừng, cho thấy, tiềm năng lớn trong việc hỗ trợ các chính sách khí hậu, thực thi các biện pháp bảo vệ rừng tự nhiên và đa dạng sinh học. Bên cạnh đó, định lượng đa dạng loài ứng dụng công nghệ này cũng được sự quan tâm khám phá như nghiên cứu của Nguyễn T.T. Hương và đồng tác giả (2018); trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã lập bản đồ đa dạng loài thực vật thân gỗ dựa vào mối quan hệ giữa các chỉ số đa dạng sinh học và chỉ số digital number của ảnh vệ tinh. Những công trình nghiên cứu này đã chứng minh tiềm năng lớn của công nghệ viễn thám và GIS trong quản lý tài nguyên rừng với nhiều lĩnh vực chuyên sâu.

Ở cấp độ toàn cầu, công nghệ GIS và viễn thám đã thể hiện được khách quan, chính xác và kịp thời trong đánh giá tài nguyên rừng toàn cầu (Kumar. D., 2011; FAO, 2020). Các nghiên cứu đã dựa trên dữ liệu viễn thám để cung cấp một bức tranh toàn cảnh về các khu

rừng trên thế giới và cách thức tài nguyên đang thay đổi. Một bức tranh toàn cầu rõ ràng như vậy hỗ trợ việc phát triển các chính sách, thực tiễn và đầu tư đúng đắn có tác động đến rừng và lâm nghiệp.

Gần đây, việc tích hợp các thuật toán máy học tiên tiến như XGBoost vào phân tích hình ảnh vệ tinh đã mở ra cơ hội mới cho việc tăng cường độ chính xác và hiệu quả của giám sát môi trường. Bartold. M. & Kluczek. M., (2023), Dash. C.J. & Atkinson. P. M. (2010) đã minh họa điều này qua việc sử dụng dữ liệu viễn thám để lập bản đồ chỉ số diệp lục, chứng minh khả năng của viễn thám trong việc cung cấp thông tin chi tiết về thảm thực vật.

Tóm lại, việc nâng cao hiểu biết và áp dụng các phương pháp phân loại thảm phủ đất sử dụng công nghệ viễn thám là yếu tố then chốt trong việc đạt được độ chính xác cao và thời gian xử lý tối thiểu (Na. H.S. & Park. J., 2015; Lee. S.H., 2020; Maxwell. A.E. *et al.*, 2021; Adegun. A.A., 2023). Những tiến bộ này cung cấp một cơ sở vững chắc cho việc hiểu và áp dụng các kỹ thuật tiên tiến trong việc phân tích và giám sát thảm phủ đất, từ đó góp phần vào quản lý và bảo tồn tài nguyên rừng một cách bền vững.

Trong những năm gần đây, lĩnh vực GIS và viễn thám đã trở thành công cụ không thể thiếu trong quản lý và bảo vệ tài nguyên rừng tại Việt Nam, đánh dấu một bước tiến quan trọng trong việc kết hợp giữa khảo sát thực địa và ứng dụng công nghệ tiên tiến. Phương pháp này, với việc sử dụng các dữ liệu từ ảnh máy bay và vệ tinh như Landsat ETM và SPOT, đã mở rộng khả năng của chúng ta trong việc tạo ra bản đồ hiện trạng rừng, từ đó so sánh và phân tích sự biến đổi của rừng và đất lâm nghiệp qua thời gian.

Các nghiên cứu tiêu biểu như công trình của Đặng Quốc Hưng và Hồ Đắc Thái Hoàng (2009a) về Vườn Quốc gia Bạch Mã; nghiên cứu của Phạm Quang Vinh và Vũ Thị Kim Dung (2016) về biến động tài nguyên rừng ở

tỉnh Điện Biên; nghiên cứu của Nguyễn Văn Thị và đồng tác giả (2016) tại lưu vực thủy điện Hương Sơn, Hà Tĩnh; nghiên cứu của Trần Quang Bảo và đồng tác giả (2017) ở huyện Vĩnh Cửu, tỉnh Đồng Nai, cùng với nghiên cứu của Nguyễn Thị Thanh Hương và Ngô Thị Thùy Phương (2019) về huyện Tuy Đức, tỉnh Đắk Nông; đề tài nghiên cứu của Lê Quang Toan (2021) ở tỉnh Đắk Nông, nghiên cứu của Cao Thị Hoài và Nguyễn Thị Thanh Hương (2024) ở huyện Đắk Glong, tỉnh Đắk Nông đã thể hiện rõ vai trò và tiềm năng của viễn thám và GIS trong việc theo dõi và đánh giá sự thay đổi của rừng, quản lý chi trả dịch vụ môi trường rừng và phát triển kinh tế - xã hội (KT - XH) và du lịch. Công nghệ này, đặc biệt qua sự hỗ trợ của Google Earth Engine và vệ tinh Sentinel, đã cho phép các nhà nghiên cứu và quản lý rừng phát hiện sự mất mát rừng một cách kịp thời và hiệu quả, từ đó đóng góp vào việc lập kế hoạch và triển khai các biện pháp bảo tồn rừng bền vững.

Tóm lại, việc áp dụng công nghệ GIS và viễn thám đã cải thiện đáng kể khả năng của Việt Nam trong việc quản lý và bảo tồn tài nguyên rừng, đồng thời mở ra các cơ hội mới cho việc phát triển các phương pháp bảo tồn đa dạng sinh học và sử dụng đất bền vững. Các nghiên cứu và ứng dụng của công nghệ này không chỉ đóng góp vào kho tàng kiến thức về lĩnh vực quản lý rừng mà còn hỗ trợ Việt Nam và cộng đồng quốc tế trong việc đối mặt với các thách thức môi trường ngày càng gia tăng.

3.2. Các nghiên cứu về mối quan hệ giữa thay đổi thảm phủ rừng với các nhân tố tự nhiên, kinh tế và xã hội

Bên cạnh sự tiến bộ của công nghệ GIS và viễn thám trong việc phân tích và giám sát thay đổi thảm phủ rừng (Forest Cover Change - FCC) trên toàn cầu, các nghiên cứu còn đánh giá tác động của các yếu tố KT - XH và môi trường đến FCC. Tuy nhiên, phần lớn các

nghiên cứu này thường được thực hiện ở quy mô lớn, bao gồm cả vùng lãnh thổ và quốc gia, với một số ít nghiên cứu tại cấp quốc gia hoặc địa phương tập trung vào mối quan hệ của các nhân tố tự nhiên. Dù đã có những nghiên cứu đề cập đến yếu tố KT - XH, nhưng số lượng nhân tố được xem xét vẫn còn hạn chế, đặc biệt là trong việc định lượng nhằm dự đoán FCC trong tương lai và phát triển giải pháp bảo vệ nguồn tài nguyên rừng một cách bền vững.

Trong phạm vi nghiên cứu về mối quan hệ giữa FCC và các nhân tố tự nhiên - kinh tế - xã hội (TN - KT - XH), nhiều công trình tiên tiến đã được công bố, phản ánh sự phức tạp và đa dạng của chủ đề này. Nghiên cứu nổi bật nhất gần đây là nghiên cứu tài liệu có hệ thống của Tandetzki, J. và đồng tác giả (2022) để tìm ra khoảng trống về các nghiên cứu sử dụng dữ liệu vệ tinh để phân tích phát triển rừng dưới góc độ phát triển KT, XH và môi trường. Nghiên cứu đã sàng lọc kỹ lưỡng các kết quả tài liệu và đưa ra kết quả có 46 bài báo với tổng số 141 mô hình nghiên cứu khác nhau để đánh giá. Kết quả của nghiên cứu cho thấy, rằng: (a) cơ sở bằng chứng cho đường cong Kuznets môi trường đối với nạn phá rừng toàn diện hơn so với giả thuyết chuyển đổi rừng, (b) phần lớn các nghiên cứu đủ điều kiện tập trung vào phân tích dữ liệu từ các nước đang phát triển và (c) phân tích thống kê về các khái niệm đường cong Kuznets môi trường đối với nạn phá rừng, giả thuyết chuyển đổi rừng không cung cấp một bức tranh thống nhất mà là nhiều cách giải thích và thông số kỹ thuật khác nhau. Dựa trên kết quả của khoảng trống này, nghiên cứu cũng đã kết luận rằng nên mở rộng thiết kế nghiên cứu mối quan hệ giữa FCC và các nhân tố kinh tế - xã hội - môi trường (KT - XH - MT) bằng cách xác định các biến liên quan đến rừng trong tương lai để thiết lập chương trình nghị sự và các chính sách có thể có hiệu quả trong việc ngăn chặn nạn phá rừng bằng cách xác định mục tiêu dựa trên các biên cơ sở.

Một nghiên cứu khác của Borda-Niño, M. và đồng tác giả (2019) trên cơ sở đánh giá tài liệu có hệ thống bao gồm 64 bài báo được bình duyệt từ các vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới toàn cầu được xuất bản từ năm 1990 - 2017, từ đó nghiên cứu đã khẳng định phân loại tự động các ảnh vệ tinh đa thời gian và ma trận chuyển đổi là những phương pháp phổ biến nhất để phát hiện các khu vực rừng tái sinh, trong khi phân tích hồi quy là phương pháp phân tích được sử dụng nhiều nhất để đánh giá các yếu tố thúc đẩy. Nghiên cứu cũng chỉ ra độ che phủ rừng tăng thường xuyên hơn ở các sườn dốc, gần các khu rừng manh mún, trong các khu bảo tồn và xa trung tâm dân cư. Tuy nhiên, tác động của hầu hết các động lực khác nhau giữa các thang đánh giá và có thể bị ảnh hưởng nhiều hơn bởi quy mô tái sinh rừng. Các động lực KT, XH và sinh lý rừng có ảnh hưởng nhất đến việc tăng độ che phủ rừng được xác định ở đây có thể được sử dụng để phát triển các mô hình dự đoán về khả năng tái sinh của rừng nguyên sinh nhằm hướng dẫn thực hiện phục hồi rừng nhiệt đới hiệu quả về mặt chi phí, từ đó góp phần giảm thiểu biến đổi khí hậu và tuyệt chủng loài. Các tài liệu viễn thám hiện nay đánh giá sự thay đổi độ che phủ rừng dường như chủ yếu tập trung vào động thái phá rừng mà ít chú ý đến việc tăng độ che phủ rừng (Shimamoto. C. Y., 2018; Song. X.-P., 2018; Aide. T. M., 2019).

Trong lĩnh vực quản lý tài nguyên rừng, sự kết hợp của công nghệ GIS và viễn thám đã mở ra những khả năng mới cho việc phân tích thay đổi thảm phủ rừng và đánh giá tác động của các yếu tố KT, XH và môi trường. Một nghiên cứu đặc biệt thú vị tại Lào (Phompila. C. *et al.*, 2017) đã sử dụng ảnh Landsat ETM+ năm 2006 và 2012, cùng với dữ liệu môi trường vật lý và dữ liệu KT, XH quốc gia để phân tích những thay đổi về độ che phủ rừng. Khu vực nghiên cứu đã trải qua những thay đổi đáng chú ý về độ che phủ rừng: rừng giảm và rừng tăng đều phân bố không đều trên toàn khu vực. Các

mô hình hồi quy logistic được sử dụng để kiểm tra mối quan hệ giữa việc tăng hoặc giảm độ che phủ rừng với các yếu tố vật lý và KT, XH được lựa chọn. Tương đồng với một số nghiên cứu trước và sau đó (N.T.T. Huong, 2011; David. J.K., 2020), việc phá rừng có liên quan chặt chẽ với độ cao, khoảng cách đến các tuyến đường chính. Trong khi đó, độ che phủ rừng tăng lên có nhiều khả năng tương quan với việc trồng cao su hơn, rừng nguyên sinh và đất canh tác nương rẫy dễ bị chuyển đổi sang trồng cao su (Huang. C. *et al.*, 2022; Ling. Z., *et al.*, 2022; Jayathilake. H. M., *et al.*, 2024). Những nghiên cứu này đã cung cấp thông tin rất cần thiết làm cơ sở cho chính sách lâm nghiệp và ra quyết định nhằm giảm thiểu và ngăn chặn nạn phá rừng hiện tại cũng như quản lý các rủi ro tiềm ẩn trong tương lai bởi kết quả của nghiên cứu không chỉ về đối tượng không gian mà còn phân tích được những nguyên nhân đằng sau sự biến động tài nguyên rừng. Các loại nghiên cứu như vậy rất hữu hiệu vì đã đưa ra cái nhìn sâu sắc về mối tương quan trực tiếp giữa phát triển kinh tế và các nhân tố xã hội trong mối quan hệ thay đổi thảm phủ rừng. May thay, trong những năm gần đây, sự tương tác phức tạp giữa tăng trưởng kinh tế và bảo tồn môi trường được phân tích qua dữ liệu vệ tinh, khám phá cách thức mà chính sách và kinh tế tác động đến quá trình phá rừng (Wu. X. *et al.*, 2023; Anca Antoaneta Vărzaru & Claudiu George Bocean, 2023). Điều này đã tăng tính hữu dụng và tin cậy giữa thông tin khách quan định lượng và thông tin định tính.

Mối quan hệ nhiều chiều giữa thay đổi độ che phủ rừng và các yếu tố đẩy mạnh, bao gồm phát triển kinh tế (Woldemedhin. D.G., *et al.*, 2022; Cuaresma. C.J., *et al.*, 2017), cải thiện cơ sở hạ tầng (Baehr. C., *et al.*, 2021; Bebbington. A.J., 2018; Angelstam. P., 2017), chính sách đầu tư (Schultz. C.A., 2018), các yếu tố tự nhiên và con người (Jia. M., *et al.*, 2015) đã được nhấn mạnh làm nền tảng cho việc ra quyết định. Đặc biệt, dựa trên những phát hiện

này đề xuất việc triển khai các chính sách quản lý đất đai tổng hợp, cân nhắc cả lợi ích kinh tế của cộng đồng và nhu cầu bảo tồn tài nguyên rừng.

Trong những thập kỷ gần đây, sự phát triển của công nghệ GIS và viễn thám đã đem lại những cơ hội mới mẻ và đáng giá trong việc phân tích và giám sát thay đổi thảm phủ rừng (FCC) dưới tác động của các nhân tố KT, XH và môi trường. Trong bối cảnh này, nghiên cứu do Li.W. và đồng tác giả (2018) thực hiện đã sử dụng dữ liệu của Cơ quan Vũ trụ châu Âu để phân tích sự biến đổi không gian và thời gian của thảm phủ rừng từ năm 1992 đến năm 2015. Phát hiện của nghiên cứu cho thấy, sự giảm diện tích rừng tổng thể, với sự giảm mạnh ở Nam Mỹ.

Tương tự, nghiên cứu tại Công viên Quốc gia Núi Simien, Tây Bắc Ethiopia, do Debebe. B. và đồng tác giả (2023), đã khám phá xu hướng thay đổi thảm phủ rừng và các nhân tố ảnh hưởng từ năm 1984 đến năm 2020. Họ phát hiện ra một sự giảm sút đáng kể về diện tích rừng, chủ yếu do mở rộng nông nghiệp, tăng trưởng dân số và nhu cầu ngày càng cao về nhiên liệu từ gỗ, điều này ảnh hưởng tiêu cực đến đa dạng sinh học, khí hậu và nguồn cung cấp dịch vụ hệ sinh thái của rừng.

Cùng với hướng nghiên cứu như vậy, của Duguma. L.A (2019) đã tập trung vào việc phân tích các yếu tố bối cảnh thúc đẩy cơ bản liên quan đến phá rừng và suy thoái rừng của các nhóm nông dân sản xuất nhỏ, bao gồm hạn chế về mặt nhân khẩu học xã hội, các yếu tố sản xuất, các vấn đề chính sách và quản trị với một số ảnh hưởng của các hoạt động thường ngày. Do đó, các nỗ lực xây dựng chính sách nhằm giảm phá rừng và suy thoái rừng cần xem xét kỹ lưỡng bối cảnh và các yếu tố liên quan để giảm mất rừng trong các điều kiện quản lý tài nguyên, lý sinh và KT, XH khác nhau, điều này đã được áp dụng trong nhiều nghiên cứu (Börner, J, 2016; Furumo, P.R. & Lambin,

E.F., 2021). Tại châu Âu, Helming, K. và đồng tác giả (2011) đã xây dựng một khung đánh giá để nghiên cứu tác động thay đổi chính sách ảnh hưởng đến việc sử dụng đất. Họ khám phá mối quan hệ giữa kịch bản cải cách tài chính trong chính sách nông nghiệp và kịch bản chính sách năng lượng sinh học, sử dụng cách tiếp cận có sự tham gia với việc thay đổi sử dụng đất, thay đổi độ che phủ rừng, nghiên cứu chỉ ra rằng khi sử dụng từng kịch bản thì sẽ có sự hạn chế trong đánh giá so với việc kết hợp các kịch bản với nhau.

Mặc dù, mô hình SEM được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu khoa học xã hội nhân văn (Marlin, M., 2018; Abdurrahman, L. & Mulyana, R., 2022; Marisa, S., 2022), vì khả năng so sánh mối tương quan giữa các yếu tố khác nhau và xác định sự khác biệt giữa các yếu tố trong tác động (Lee, 2015; Zhou, T., 2011). Tuy nhiên, cho đến nay, hầu hết các nghiên cứu liên quan đến SEM đều sử dụng dữ liệu mặt cắt hơn là dữ liệu chuỗi thời gian và hầu như không có nghiên cứu nào thực hiện phân tích dữ liệu không gian toàn diện.

Trong những năm gần đây, sự phát triển và tích hợp công nghệ GIS và viễn thám đã mang lại những bước tiến vượt bậc trong việc nghiên cứu và hiểu biết sâu sắc về các LULCC, cũng như các yếu tố ảnh hưởng đến chúng. Để phân tích LULCC dọc theo tuyến đường Hồ Chí Minh, Đặng Ngọc Hưng và Hồ Đắc Thái Hoàng (2009) đã sử dụng kết hợp phân tích LULCC dựa vào dữ liệu viễn thám, đồng thời phân tích một số nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi này để cung cấp một cái nhìn toàn diện về ảnh hưởng của các nhân tố tự nhiên, kinh tế và xã hội đối với FCC. Tuy nhiên, các phân tích này thường được tiến hành riêng biệt, chưa đủ để mô tả một cách toàn diện mối quan hệ không gian giữa FCC và các yếu tố ảnh hưởng.

Phạm Phương Thảo và Trần Nam Thắng (2022), đã mở rộng sự hiểu biết này bằng cách kết hợp dữ liệu về thay đổi mục đích sử dụng

rừng và theo dõi sự biến đổi của rừng từ năm 2006 đến năm 2020. Nghiên cứu áp dụng phỏng vấn sâu với các cán bộ chức năng để khám phá bản chất của sự chuyển đổi đất lâm nghiệp và những thách thức trong quản lý và bảo vệ rừng. Phát hiện từ nghiên cứu chỉ ra rằng, mặc dù diện tích rừng tự nhiên của huyện Nam Đông tăng lên, sự tăng trưởng này phụ thuộc nhiều vào diện tích rừng trồng và cao su, trong khi diện tích rừng tự nhiên thực tế bị chuyển đổi sang rừng trồng và diện tích rừng phòng hộ giảm. Nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của việc sử dụng ảnh vệ tinh và phúc tra hiện trường để cập nhật thông tin và quản lý, bảo vệ rừng một cách hiệu quả hơn, đồng thời giảm áp lực lên rừng tự nhiên và nâng cao hiệu quả của rừng trồng.

Để khắc phục những hạn chế trong các nghiên cứu trước, việc tiến hành nghiên cứu tích hợp, áp dụng dữ liệu đa nguồn từ viễn thám và GIS cùng với phân tích thống kê và mô hình hóa địa lý, sẽ cung cấp một cái nhìn đầy đủ và định lượng về mối quan hệ giữa FCC và các yếu tố ảnh hưởng. Qua đó, thông tin thu được sẽ hỗ trợ chi tiết và chính xác hơn về các nhân tố tác động để sử dụng cho việc lập kế hoạch và quản lý tài nguyên rừng một cách bền vững.

IV. KẾT LUẬN

Trên thế giới đã có một số nghiên cứu kết hợp GIS và viễn thám để phân tích FCC trong mối quan hệ với các yếu tố TN - KT - XH. Tuy nhiên, các yếu tố này thường được lựa chọn khá hạn chế, chủ yếu bao gồm độ dốc, độ cao, gia tăng dân số và sản xuất nông nghiệp. Phương pháp phân tích chủ yếu là hồi quy tuyến tính. Một số nghiên cứu đã ứng dụng mô hình SEM để kiểm tra tính phù hợp và định lượng mối quan hệ nhân quả, nhưng các yếu tố tác động cũng chỉ giới hạn trong địa hình (độ cao và độ dốc), khả năng tiếp cận đường xá và các yếu tố KT, XH (phân bố dân cư, điểm thu hút khách du lịch).

Ở Việt Nam, việc kết hợp GIS và viễn thám để phân tích FCC trong mối quan hệ với các yếu tố TN - KT - XH còn rất khiêm tốn. Phần lớn các nghiên cứu chỉ phân tích riêng lẻ hoặc khi kết hợp chỉ lựa chọn một vài yếu tố như địa hình (độ dốc và độ cao), dân số và giá nông sản. Phương pháp chủ yếu vẫn là hồi quy tuyến tính hoặc logistic; chưa có nghiên cứu nào sử dụng mô hình SEM để phân tích định lượng mối quan hệ nhân quả. Do đó, việc đề xuất nghiên cứu sử dụng mô hình SEM với hệ thống các nhân tố TN - KT - XH dựa trên điều tra xã hội là một hướng nghiên cứu nổi bật cần được xem xét thực hiện.

Tham khảo các công trình hiện có cho thấy, các nghiên cứu thường thiên về các ứng dụng rõ ràng nhất của phương pháp không gian như GIS và phân tích LULCC dựa vào ảnh vệ tinh đa thời gian, mà chưa chú trọng nhiều đến tích hợp các biến số xã hội. Nghiên cứu trong tương lai nên tập trung vào việc tích hợp phân tích xã hội với không gian trong toàn bộ quá trình. Một lợi thế lớn là dữ liệu viễn thám lịch sử như Landsat trong nhiều thập kỷ có tiềm năng lớn để khám phá các động lực tác động thay đổi thảm phủ rừng.

GIS là một công cụ hữu ích giúp tích hợp nhiều loại dữ liệu, nguyên tắc và phương pháp khác nhau, đặc biệt là trong lĩnh vực viễn thám, phân tích không gian và khoa học xã hội. Điều này hỗ trợ xác định các đặc điểm của nhiều tác động LCC. Các nghiên cứu sử dụng dữ liệu viễn thám và GIS có thể cung cấp thông tin chi tiết về vị trí của các biến KTXH, kết hợp với dữ liệu từ các khảo sát xã hội để tạo ra thông tin tham chiếu không gian. GIS và viễn thám không chỉ hỗ trợ tạo ra dữ liệu không gian mà còn giúp thu thập thông tin hiệu quả về chi phí hơn so với khảo sát thực địa. Điều này đặc biệt hữu ích khi nghiên cứu các vùng xa xôi hoặc thực hiện các phân tích hồi cứu. Chính vì vậy, trong bối cảnh hiện tại việc ứng dụng GIS và viễn thám vừa phân tích không gian vừa lồng ghép các biến số xã hội để tìm hiểu sâu sắc những biến động của phân bố không gian là chủ đề nên được chú trọng đặc biệt là phân tích biến đổi tài nguyên rừng và động lực của những biến động đó để có cơ sở giải quyết thấu đáo mối quan hệ nhân - quả, góp phần cải thiện các chính sách lâm nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Abdurrahman, L., Mulyana, R., 2022. "Pemodelan nilai teknologi informasi menggunakan structural equation modeling (SEM)". *JIP (jurnal ilmiah penelitian dan pembelajaran informatika)*, Vol 7, Issue 2, pp. 469-477, 2022. <https://doi.org/10.29100/jipi.v7i2.2825>.
2. Adegun, A.A., Viriri, S. & Tapamo, JR, 2023. "Review of deep learning methods for remote sensing satellite images classification: experimental survey and comparative analysis". *J Big Data* 10, 93 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00772-x>.
3. Aide, T. M., Grau, H. R., Graesser, J., Andrade-Núñez, M. J., Aráoz, E., Barros, A. P.,... Zimmerer, K. S., 2019. Woody vegetation dynamics in the tropical and subtropical Andes from 2001 to 2014: Satellite images interpretation and expert validation. *Global Change Biology*, 25, 2112-2126. <https://doi.org/10.1111/gcb.14618>.
4. Almalki, R., Khaki, M., Saco, P.M., Rodriguez, J.F., 2022. "Monitoring and Mapping Vegetation Cover Changes in Arid and Semi-Arid Areas Using Remote Sensing Technology: A Review". *Remote Sens.* 2022, 14(20), 5143; <https://doi.org/10.3390/rs14205143>.
5. Amini, S., Saber, M., Dastjerdi, H.R., Homayouni, S., 2022. "Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series". *Remote Sens.* 2022, 14(11), 2654; <https://doi.org/10.3390/rs14112654>.
6. Angelstam, P., Khauliyak, O., Yamelynets, T., Mozgeris, G., Naumov, V., Chemielewski, T.J., Elbakidze, M., Manton, M., Prots, B., Valasiuk, S., 2017. "Green infrastructure development at European Union's eastern

- border: Effects of road infrastructure and forest habitat loss”. *Journal of Environmental management*, Volume 193, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.017>.
7. Anca Antoaneta Vărzaru and Claudiu George Bocean, 2023. An Empirical Analysis of Relationships between Forest Resources and Economic and Green Performances in the European Union. *Forests*, vol 14(12), doi: 10.3390/f14122327.
 8. Baehr, A., BenYishay, A., Parks, A., 2021. “Linking Local Infrastructure Development and Deforestation: Evidence from Satellite and Administrative Data”. *Journal of the Association of environmental and resource economists*, Vol 8, number 2.
 9. Trần Quang Báo, Nguyễn Đức Lợi, Lê Nguyên Khang, 2017. Ứng dụng GIS và viễn thám trong phân tích thực trạng và đánh giá diễn biến tài nguyên rừng tại huyện Vĩnh Cửu, tỉnh Đồng Nai. *Tạp chí Khoa học và công nghệ Lâm nghiệp*, số 6, 2017.
 10. Bartold, M. & Kluczek, M., 2023. “A Machine Learning Approach for Mapping Chlorophyll Fluorescence at Inland Wetlands”. *Remote Sens.* 2023, 15(9), 2392; <https://doi.org/10.3390/rs15092392>.
 11. Bebbington, A.J., Bebbington, D.H., Sauls, L.A., Rogan, J., Agrawal, S., Gamboa, C., Imhof, A., Johnson, K., Rosa, H., Royo, A., Toumbourou, T., Verdum, R., 2018. “Resource extraction and infrastructure threaten forest cover and community rights”. *Crossref*, December 3, 2018, 115 (52) 13164-13173 <https://doi.org/10.1073/pnas.1812505115>.
 12. Blaga, L., Llies, D.C., Wendt, J.A, Rus, L., Zhu, K., Dávid, L.D., 2023. “Monitoring Forest Cover Dynamics Using Orthophotos and Satellite Imagery”. *Remote Sens.* 2023, 15(12), 3168; <https://doi.org/10.3390/rs15123168>.
 13. Borda-Niño, M., Meli, P., Brancalion, P.H.S., 2019. “Drivers of tropical forest cover increase: A systematic review”. *Land degradation & Development*, volume 31, issue 11, <https://doi.org/10.1002/ldr.3534>.
 14. Börner, J; Baylis, K.; Corbera, E.; Ezzine-de-Blas, D.; Ferraro, P.J.; Honey-Rosés, J.; Lapeyre, R.; Persson, U.M.; Wunder, S., 2016. Emerging Evidence on the Effectiveness of Tropical Forest Conservation. *Plos one*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159152>.
 15. Cuaresma, C. J., Danylo, O., Fritz S., McCallum, L., Obersteiner, M., See, L., Walsh, B., 2017. “Economic Development and Forest Cover: Evidence from Satellite Data”. *Scientific Reports*, 7, 40678. <https://doi.org/10.1038/srep40678>.
 16. David, J.K., 2020. Can roads contribute to forest transitions? *World development*, vol 129. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.104898>.
 17. Debebe, B., Senbeta, F., Teferi, E., Guta, D., 2023. “Analysis of Forest Cover Change and Its Drivers in Biodiversity Hotspot Areas of the Semien Mountains National Park, Northwest Ethiopia”. *Sustainability* 2023, 15, 3001. <https://doi.org/10.3390/su15043001>.
 18. DeFries, R., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M., 2010. “Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century”. *Nature Geoscience*, 3(3), 178-181. <https://doi.org/10.1038/ngeo756>.
 19. Duguma, L.A., Atela, J., Minang, P.A., Ayana, A.N., Gizachew, B., Nzyoka, J.M., Bernard, F., 2019. “Deforestation and forest degradation as an environmental behavior: Unpacking realities shaping community actions”. *Land* 2019, 8(2), 26; <https://doi.org/10.3390/land8020026>.
 20. Fassnacht, F.E., White, J.C., Wulder, M.A., Næsset, E., 2024. “Remote sensing in forestry: current challenges, considerations and directions,” *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 97, Issue 1, January 2024, Pages 11-37, <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad024>.
 21. FAO, 2020. “Global Forest Resources Assessment 2020”. Rome, Italy, ISBN 978-92-5-132581-0.
 22. Furukawa, T., Tsujino, R., Kitamura, S., Yumoto, T., 2018. “Factors affecting forest area change in Southeast Asia during 1980-2010”. *PLOS ONE* 13(6): e0199908. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199908>.
 23. Furumo PR, Lambin EF. Policy sequencing to reduce tropical deforestation. *Global Sustainability*, 2021. 4:e24. doi:10.1017/sus.2021.21.
 24. Gan, Y., Wang, Q., Lio, A., 2023. “Tree Crown Detection and Delineation in a Temperate Deciduous Forest from UAV RGB Imagery Using Deep Learning Approaches: Effects of Spatial Resolution and Species Characteristics”. *Remote Sens.* 2023, 15(3), 778; <https://doi.org/10.3390/rs15030778>.
 25. Goetz, S.J., Hansen, M., Houghton, R.A., Walker, W., Laporte, N., Busch, J., 2015. “Measurement and monitoring needs, capabilities and potential for addressing reduced emissions from deforestation and forest degradation under REDD+”. *IOP Publishing*, 10(12), DOI:10.1088/1748-9326/10/12/123001.

26. Global Forest Watch., 2023. “Tropical Primary Forest Loss Worsened in 2022, Despite International Commitments to End Deforestation”. Global Forest Watch Report 2023.
27. Gu, Z. & Zeng, M., 2024. “The Use of Artificial Intelligence and Satellite Remote Sensing in Land Cover Change Detection: Review and Perspectives”. *Sustainability* 2024, 16(1), 274; <https://doi.org/10.3390/su16010274>.
28. Helming, K., Diehl, K., Kuhlman, T., Jansson, T., Verburg, P.H., Bakker, M., Perez-Soba, M., Jones, L., Verkerk, P.J., Tabbush, P., Morris, J.B., Drillet, Z., Farrington, J., LeMouél, P., Zagame, P., Stuczynski, T., Siebielec, G., Wiggering, H., 2011. “Ex ante impact assessment of policies affecting land use, Part B: application of the analytical framework”. *Ecology and Society* 16(1): 29. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art29/>
29. Cao Thị Hoài và Nguyễn Thị Thanh Hương, 2024. Phân tích sự thay đổi lớp phủ ở huyện Đắk Glong - tỉnh Đắk Nông giai đoạn 2011-2023 dựa vào ảnh vệ tinh đa thời gian. *Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp*, số 01, 2024.
30. Huang, C.; Zhang, C.; Li, H., 2022. Assessment of the Impact of Rubber Plantation Expansion on Regional Carbon Storage Based on Time Series Remote Sensing and the InVEST Mode. *Remote Sens.* 2022, 14(24), 6234; <https://doi.org/10.3390/rs14246234>.
31. Đặng Ngọc Hưng, Hồ Đắc Thái Hoàng, 2009a. Nghiên cứu sự thay đổi lớp phủ thảm thực vật rừng tại Vườn quốc gia Bạch Mã, tỉnh Thừa Thiên - Huế, *Tạp chí Kinh tế sinh thái*, số 32.
32. Đặng Ngọc Hưng và Hồ Đắc Thái Hoàng, 2009b. Ứng dụng GIS và viễn thám trong nghiên cứu thay đổi lớp phủ đất và rừng. *Journal of Environmental Science and Technology*.
33. Nguyễn Thị Thanh Hương, Châu Thị Như Quỳnh, Nguyễn Đức Định, Phan Thị Hằng, Cao Thị Hoài, Nguyễn Thế Hiển, Đặng Ngọc Trí, Ngô Thế Sơn, Đoàn Minh Trung, Hồ Đình Bảo, Ngô Thị Thùy Phương, Nguyễn Công Tài Anh, Võ Hùng, Hoàng Trọng Khánh, 2018. Thử nghiệm định lượng đa dạng loài thực vật thân gỗ tại tỉnh Đắk Nông dựa vào ảnh vệ tinh. *Tạp chí khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, Tập 15, Số 11b (2018): 54-62. ISSN: 1859-3100.
34. Nguyễn Thị Thanh Hương và Ngô Thị Thùy Phương, 2019. Phân tích thay đổi thảm phủ dựa vào ảnh vệ tinh đa thời gian và chuỗi Markov tại tỉnh Đắk Nông. *Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp*, số 2, tr. 101-112.
35. Jayathilake, H. M.; Wei C. Z.; Tan, G.; Porte, C.; Carrasco, L. R., 2024. Rubber plantation size and global rubber price are linked to forest loss and degradation in Jambi, Sumatra. *Integrative conservation*, Vol 3, Issue 1, p. 22-35. <https://doi.org/10.1002/inc3.43>.
36. Jeganathan, C. and Atkinson, P.M., 2010. Mapping the phenology of natural vegetation in India using a remote sensing-derived chlorophyll index. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 31, 2010 - Issue 22.
37. Jia, M., Wang, Z., Zang, Y., 2015. “Landsat-Based Estimation of Mangrove Forest Loss and Restoration in Guangxi Province, China, Influenced by Human and Natural Factors”. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 8, no. 1, Jan. 2015, pp. 311-23, doi:10.1109/JSTARS.2014.2333527.
38. Kobayashi, S., Fujita, M.S., Omura, Y., Haryadi, D.S., Muhammad, A., Irham, M., Shiodera, S., 2023. “Evaluating Threatened Bird Occurrence in the Tropics by Using L-Band SAR Remote Sensing Data”. *Remote Sens.* 2023, 15(4), 947; <https://doi.org/10.3390/rs15040947>.
39. Krawczyk, W. & Węzyk, P., 2023. “Using Satellite Imagery and Aerial Orthophotos for the Multi-Decade Monitoring of Subalpine Norway Spruce Stands Changes in Gorce National Park, Poland”. *Remote Sens.* 2023, 15(4), 951; <https://doi.org/10.3390/rs15040951>.
40. Kumar, D., 2011. “Monitoring Forest Cover Changes Using Remote Sensing and GIS: A Global Prospective”. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5: 105-123. <https://doi.org/10.3923/rjes.2011.105.123>.
41. Laze, K., 2022. “Preliminary findings on remote sensing of forest cover change, forest and tree health in Southeastern Europe”. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*. Vol. XLIII-B4-2022.
42. Lee, J., 2015. “Satisfaction Factors Analysis of Freight Drivers Using Structural Equation Model”. Master’s Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea.
43. Lee, S.H., Han, K.J., Lee, K., Lee, K.J., Oh, K.Y., Lee, M.J., 2020. “Classification of Landscape Affected by Deforestation Using High-Resolution Remote Sensing Data and Deep-Learning Techniques”. *Remote Sens.* 2020, 12(20), 3372; <https://doi.org/10.3390/rs12203372>.

44. Li, W., MacBean, N., Ciais, P., Defourny, P., Lamarch, C., Houghton, R.A., Peng, S., 2018. "Gross and Net Land Cover Changes in the Main Plant Functional Types Derived from the Annual ESA CCI Land Cover Maps (1992-2015)". *Earth System Science Data*, vol. 10, no. 1, Jan. 2018, pp. 219-234, doi:10.5194/essd-10-219-2018.
45. Ling, Z.; Shi, Z.; Gu, S.; Wang, T.; Zhu, W.; Feng, G., 2022. Impact of Climate Change and Rubber (*Hevea brasiliensis*) Plantation Expansion on Reference Evapotranspiration in Xishuangbanna, Southwest China. *Front. Plant Sci.*, 03 March 2022 Sec. Sustainable and Intelligent Phytoprotection, Volume 13, <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.830519>.
46. Manson, S., Bonsal, D., Kernik, M., Lambin, E.F., 2015. "Geographic Information Systems and Remote Sensing". *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, p64-68, DOI:10.1016/B978-0-08-097086-8.91027-4.
47. Marisa, S., 2022. "Reliabilitas konstruk multidimensional pada structural equation modeling (SEM)". *Akrab Juara*, Vol 7, Issue 1, 2022. <https://doi.org/10.58487/akrabjuara.v7i1.1783>.
48. Marlin, M., 2018. "Structural Equation Modeling (SEM): Bergunakah bagi Penelitian Akuntansi". *Journal of Islamic accounting and tax*, Vol 1, Issue 2, p. 134, 2018. <https://doi.org/10.30587/jiatax.v1i2.761>.
49. Maxwell, A.E., Warner, T.A., Guillén, L.A., 2021. "Accuracy Assessment in Convolutional Neural Network-Based Deep Learning Remote Sensing Studies-Part 1: Literature Review". *Remote Sens.* 2021, 13(13), 2450; <https://doi.org/10.3390/rs13132450>.
50. Molla, G., Addisie, M.B., Ayele, G.T., 2023. "Expansion of Eucalyptus Plantation on Fertile Cultivated Lands in the North-Western Highlands of Ethiopia". *Remote Sens.* 2023, 15(3), 661; <https://doi.org/10.3390/rs15030661>.
51. Na, H.S., Park, J., 2015. "Analysis of Land Cover Classification and Pattern Using Remote Sensing and Spatial Statistical Method". *J Korean Assoc Geogr Inf Stud NA*, Hyun-Sup, Vol 18, Issue 4, pp. 100-118, 2015. Doi: <https://doi.org/10.11108/kagis.2015.18.4.100>.
52. Negassa, M.D., Mallie, D.T. & Gemed, D.O, 2020. "Forest cover change detection using Geographic Information Systems and remote sensing techniques: a spatio-temporal study on Komto Protected forest priority area, East Wollega Zone, Ethiopia". *Environ Syst Res* 9, 1. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-0163-z>.
53. Ningthoujam, R., Tansey, K., Balzter, H., Morrison, K., Johnson, S.C.M., Gerard, F., George, C., Burbridge, G., Doody, S., Veck, N., Llewlynn, G.M., Blythe, T., 2016. "Mapping Forest Cover and Forest Cover Change with Airborne S-Band Radar". *Remote Sens.* 2016, 8(7), 577; <https://doi.org/10.3390/rs8070577>.
54. N.T.T. Huong, 2011. Thesis Ph.D.: Classification of normal and natural wide-wide forests based on multi-data for forest control in the central Highlands. Freiburg im Breisgau, Germany.
55. N.T.T. Huong, C.T.N. Quynh, P.T. Anh, P.T. Hang, T.T.X. Phan, C.T. Hoai, L.Q. Toan, N.T.H. Diep, 2020. "Land use/land cover changes using multi-temporal satellite". *ISPRS TC IV Gi4DM 2020-13th GeoInformation for Disaster Management conference*. Volume VI-3/W1-2020. Doi 10.5194/isprs-annals-VI-3-W1-2020-83-2020.
56. N.T.T. Huong, C.T.N. Quynh, P.T. Anh, P.T. Hang, T.T.X. Phan and T M T Pham, 2021. "Mapping Land use/land cover using a combination of Radar Sentinel -1A and Sentinel-2A optical images". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 652, issue 1, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/652/1/012021>.
57. Ottah, C. & Ukpere, D., 2018. "Remote sensing and GIS application in environmental management". Chapter 16, *Journal of Environmental Management*.
58. Pettorelli, N., Safi, K., Turner, W., 2014. "Satellite Remote Sensing for Biodiversity Research and conservation of the future". *Biodiversity Sciences Journal*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>.
59. Phompila, C., Lewis, M., Ostendorf, B., Clark Sandker e, K, 2017. "Forest Cover Changes in Lao Tropical Forests: Physical and Socio-Economic Factors are the Most Important Drivers". *Land* 2017, 6(2), 23; <https://doi.org/10.3390/land6020023>.
60. Prochazka, P., Abrham, J., Cerveny, J., Kobera, L., Sanova, P., Benes, D., Fink, J., JirasKova, E., Simona, P., Soukupava, J., Smutka, L., 2023. "Understanding the socio-economic causes of deforestation: a global perspective". *Forest Management*, Volume 6 - 2023. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1288365>.
61. Rovani, I.L., Decian, V.S., Zanin, E.M., Brandalise, M., Quadros, F.R., Hepp, L.U., 2020. "Socioeconomic Changes and Land Use and Land Cover of the Northern Region of Rio Grande do Sul, Brazil". *Floresta Ambient.* 27 (3) • 2020 • <https://doi.org/10.1590/2179-8087.025818>.
62. Sandker, M., Carrillo, O., Leng, C., Lee, D., Annuzio, R., Fox, J., 2021. "The Importance of High-Quality Data for Redd+ monitoring and reporting". *Forests* 2021, 12(1), 99; <https://doi.org/10.3390/f12010099>.

63. Schultz, C.A., McIntyre, K.B., Cyphers, L., Kooistra, C., Ellson, A., Moseley, K., 2018. “Policy Design to Support Forest Restoration: The Value of Focused Investment and Collaboration”. *Forests* 2018, 9(9), 512; <https://doi.org/10.3390/f9090512>.
64. Shimamoto, C. Y., Padial, A. A., da Rosa, C. M., & Marques, M. C. M. 2018. Restoration of ecosystem services in tropical forests: A global meta-analysis. *PLoS One*, 13, 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208523>.
65. Song, X.-P., Hansen, M. C., Stehman, S. V., Potapov, P. V., Tyukavina, A., Vermote, E. F., & Townshend, J. R., 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560, 639-643. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9>.
66. Suleiman, M.S., Wasonga, O.V., Mbau, J.S., Elhadi, Y.A., 2017. “Spatial and temporal analysis of forest cover change in Falgore Game Reserve in Kano, Nigeria”. *Ecol Process* 6, 11 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0078-4>.
67. Tandetzki, J., Schier, F., Kothle, M., Weimar, H., 2022. “An evidence and gap map of the environmental Kuznets curve and the forest transition hypothesis for estimating forest area development,” *Environ. Res. Lett.* 17 123005, DOI 10.1088/1748-9326/aca781.
68. Phạm Phương Thảo và Trần Nam Thắng, 2022. Kết hợp số liệu thay đổi mục đích sử dụng rừng và theo dõi diễn biến rừng tại huyện Nam Đông: Phương pháp và ứng dụng. *Journal of Forestry Research*.
69. Nguyễn Văn Thị, Trần Thị Mai Anh, Nguyễn Thị Hà, Phùng Văn Khoa, Vũ Tiến Thịnh, 2016. Ứng dụng GIS và viễn thám trong quản lý chỉ trả dịch vụ môi trường rừng tại lưu vực thủy điện Hương Sơn, Hà Tĩnh. *Tạp chí Khoa học và công nghệ Lâm nghiệp*, số 6, 2016.
70. Lê Quang Toan, 2021. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS trong đánh giá tổng hợp tài nguyên thiên nhiên và môi trường, phát triển kinh tế xã hội và du lịch tỉnh Đắk Nông. Đề tài cấp Bộ, Bộ Khoa học và Công nghệ.
71. Phạm Quang Vinh, Vũ Thị Kim Dung, 2016. Ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS đánh giá biến động tài nguyên rừng ở tỉnh Điện Biên. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam*, số 3(3), 2016.
72. Wu, X.; Liu, G.; Bao, Q., 2023. Impact of economic growth on the changes in forest resources in Inner Mongolia of China. *Front. Environ. Sci.*, 02 August 2023, Sec. Environmental Economics and Management, Volume 11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1241703>.
73. Woldemedhin, D.G., Assefa, E., Seyoum, A., 2022. “Forest Covers, Energy Use, and Economic Growth Nexus in the Tropics: A Case of Ethiopia”. *Trees, forests and people*, Volume 8, <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100266>.
74. Xu, C., Du, X., Yan, Z., Fan, X., 2020. “ScienceEarth: A Big Data Platform for Remote Sensing Data Processing”. *Remote sensing*, Vol. 12 Issue 4, p. 607, 2020. Doi: 10.3390/rs12040607.
75. Xu, L., Herold, M., Tsendbazar, N., Masiliūnas, D., Li, L., Lesiv, M., Fritz, S., Verbesselt, J, 2022. “Time series analysis for global land cover change monitoring: A comparison across sensors”. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 271, p. 112905, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112905>.
76. Yang, J., Gong, P., Fu, R., Zhang, M., Chen, J., Liang, S., Xu, B., Shi, J., Dickinson, R., 2013. “Erratum: The role of satellite remote sensing in climate change studies”. *Nature Clim Change* 3, 1001 (2013). <https://doi.org/10.1038/nclimate2033>.
77. Zhang, G., Hormann, G., Huang, J., Fohrer, N., 2023. “Identifying Drivers of Forest Cover Change in Developing Countries Through Remote Sensing”. *Remote Sens.* 2023, 15(8), 2128; <https://doi.org/10.3390/rs15082128>.
78. Zhao, S., Liu, M., Tao, M., Zhou, W., Lu, X., Xiong, Y.J., Li, F., Wang, Q., 2023. “The role of satellite remote sensing in mitigating and adapting to global climate change”. *The Science of The Total Environment* 904(6247):166820 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166820>.
79. Zhou, T., 2011. “Understanding online community user participation: A social influence perspective”. *Internet Res.* 21, 67-81.

Email tác giả liên hệ: cthoai@ttn.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/05/2024

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 24/05/2024

Ngày duyệt đăng: 31/05/2024