

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

Nguyễn Hữu Việt Hiệu

NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỘNG TRẠNG THÁI VÀ
SINH KHỐI RỪNG BẰNG CÔNG NGHỆ VIỄN
THÁM VÀ GIS, THÍ ĐIỂM TẠI CAO NGUYÊN
KON HÀ NỪNG, TỈNH GIA LAI

Chuyên ngành: Bản đồ, viễn thám và hệ thống tin địa lý
Mã số: 9440214.

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐỊA LÝ

Hà Nội, 2026

Công trình được hoàn thành tại:

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học:

1. GS.TS. Nguyễn Ngọc Thạch

2. TS. Phạm Văn Mạnh

Phản biện: **PGS.TS. Tống Sĩ Sơn**

Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội.

Phản biện: **PGS.TS. Phùng Văn Khoa**

Trường Đại học Lâm nghiệp.

Phản biện: **PGS.TS. Trần Văn Anh**

Trường Đại học Mở - Địa chất.

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ họp tại

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN

vào hồi giờ ngày tháng năm 2026.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam;

- Trung tâm Thư viện và Tri thức số, Đại học Quốc gia Hà Nội .

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Nhằm góp phần bổ sung, phát triển tổ chức không gian dựa trên những kết quả đánh giá biến động phục vụ mục đích sử dụng hợp lý tài nguyên, phát triển kinh tế gắn với bảo tồn đa dạng sinh học đối với cao nguyên Kon Hà Nừng nghiên cứu sinh đã lựa chọn thực hiện đề tài luận án: “*Nghiên cứu biến động trạng thái và sinh khối rừng bằng công nghệ viễn thám và GIS, thí điểm tại cao nguyên Kon Hà Nừng, tỉnh Gia Lai*” trong khuôn khổ chương trình đào tạo tiến sĩ.

Những kết quả nghiên cứu của đề tài có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, góp phần phục vụ công tác quản lý tài nguyên rừng gắn với phát triển kinh tế và ổn định sinh kế dân sinh khu vực nghiên cứu.

2. Mục tiêu và nội dung nghiên cứu

Mục tiêu:

- Đề xuất quy trình công nghệ hợp lý ứng dụng công nghệ Viễn thám - GIS trong việc xác định biến động trạng thái và sinh khối rừng cao nguyên Kon Hà Nừng giai đoạn 2000 – 2022.

- Hoàn thiện mô hình đánh giá mức phát thải và hấp thụ CO₂ do biến động trạng thái rừng trên cảnh quan địa lý của khu vực Tây nguyên, nhằm cung cấp thông tin chính xác cho việc tham gia thị trường mua bán tín chỉ các-bon nội địa và từng bước tham gia vào thị trường thế giới.

- Đề xuất định hướng quản lý, định giá và chia sẻ lợi ích từ rừng gắn với các hoạt động REDD+.

Nội dung nghiên cứu:

Nội dung 1: Hoàn chỉnh cơ sở khoa học, phương pháp nghiên cứu biến động trạng thái và sinh khối rừng từ dữ liệu viễn thám quang học và tài liệu thực địa khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng, tỉnh Gia Lai.

Nội dung 2: Xác định trạng thái, quy mô và biến động bao gồm cả biến động sinh khối rừng tại khu vực nghiên cứu trong các giai đoạn 2000 - 2010 và 2010 - 2022.

Nội dung 3: Hoàn thiện mô hình tính toán xây dựng đường tham chiếu rừng (FRL) liên quan đến biến động trạng thái và sinh khối rừng nhằm cung cấp thông tin chính xác cho việc tham gia thị trường mua bán tín chỉ các-bon nội địa và của thế giới.

Nội dung 4: Đề xuất định hướng quản lý, định giá rừng trồng và dịch vụ hệ sinh thái rừng gắn với các hoạt động REDD+, phục vụ quản lý, bảo vệ và phát triển rừng bền vững tại khu vực nghiên cứu.

3. Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi không gian: Được giới hạn trong ranh giới khu dự trữ sinh quyển cao nguyên Kon Hà Nừng, tỉnh Gia Lai với tổng diện tích tự nhiên khoảng 242.000 ha.

Phạm vi khoa học: Phạm vi nghiên cứu tập trung xây dựng mô hình biến động trạng thái rừng và sinh khối trên mặt đất tại cao nguyên Kon Hà Nừng bằng tư liệu viễn thám quang học và GIS, áp dụng cho rừng tự nhiên.

4. Những điểm mới

- Đề xuất phương pháp tích hợp kỹ thuật viễn thám và GIS xây dựng bản đồ trạng thái rừng, đánh giá biến động trạng thái rừng tại cao nguyên Kon Hà Nừng trên cơ sở ảnh SPOT-4, Sentinel-2 với các thông số phân loại tối ưu và dữ liệu phụ trợ; xây dựng phương trình ước tính sinh khối trên mặt đất (AGB) cho các kiểu rừng chủ yếu khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng từ dữ liệu viễn thám kết hợp điều tra mặt đất.

- Xác định mức phát thải tham chiếu rừng gắn với các dạng biến động trạng thái được xây dựng bằng công nghệ viễn thám - GIS, cung

cấp cơ sở khoa học đề xuất kịch bản giảm phát thải thông qua giảm mất rừng và suy thoái rừng tại khu vực nghiên cứu; ước tính giá trị số tín chỉ các-bon tại khu vực nghiên cứu trong trường hợp tham gia thị trường các-bon.

5. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Tích hợp tư liệu ảnh SPOT-4, Sentinel-2 và hệ thống ô tiêu chuẩn đa thời gian thông qua mô hình hồi quy tuyến tính và thuật toán rừng ngẫu nhiên cho phép xác định tin cậy biến động trạng thái và sinh khối rừng, làm rõ quy mô và kiểu biến động trạng thái cũng như sinh khối rừng tại khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng.

Luận điểm 2: Sử dụng công nghệ viễn thám và GIS để phân tích, đánh giá biến động trạng thái rừng gắn với sinh khối tạo cơ sở xác định mức phát thải tham chiếu, từ đó ước tính giá trị số tín chỉ các-bon tại khu vực nghiên cứu, sẵn sàng tham gia thị trường các-bon, đồng thời xác lập các không gian ưu tiên bảo vệ, phát triển rừng và triển khai các hoạt động giảm mất rừng, suy thoái rừng.

6. Ý nghĩa lý luận và thực tiễn

Về lý luận, nghiên cứu giúp mở rộng cơ sở khoa học về biến động trạng thái rừng và sinh khối, xây dựng và kiểm chứng phương pháp ước tính sinh khối dựa trên hồi quy tuyến tính kết hợp ảnh viễn thám và dữ liệu đo thực địa, đề xuất quy trình thiết lập đường tham chiếu rừng (FRL) để giám sát phát thải và hấp thụ CO₂ từ suy thoái và mất rừng.

Về thực tiễn, kết quả cung cấp quy trình phân tích ảnh viễn thám ứng dụng trong giám sát thay đổi trạng thái và sinh khối rừng, tạo ra dữ liệu định lượng phục vụ tính toán các-bon hệ sinh thái bằng công cụ viễn thám – GIS, và làm nền tảng cho đề xuất giải pháp quản lý bền vững, bảo tồn

đa dạng sinh học và nâng cao hiệu quả quản lý, giám sát tài nguyên rừng tại khu vực nghiên cứu.

7. Cơ sở tài liệu

Luận án sử dụng các nguồn dữ liệu chính gồm cơ sở dữ liệu địa hình cao nguyên Kon Hà Nừng xây dựng các dữ liệu phụ trợ như mô hình số độ cao, độ dốc và hướng phơi), ảnh viễn thám SPOT-4 (2000, 2010) và Sentinel-2 (2022) cho khu vực nghiên cứu, kết quả ô tiêu chuẩn từ “Chương trình điều tra, đánh giá và theo dõi diễn biến tài nguyên rừng toàn quốc”, và dữ liệu điều tra, khảo sát thực địa bao gồm đo đếm trữ lượng, mẫu chia khóa ảnh cùng dữ liệu UAV thu thập ngày 06/08/2022 và 12/03/2023 do nghiên cứu sinh thực hiện tại cao nguyên Kon Hà Nừng.

8. Cấu trúc của luận án

Cùng với phần mở đầu, kết luận, tài liệu tham khảo và phụ lục, nội dung chính của Luận án được trình bày trong 3 chương với 168 trang A4, 26 bảng, 27 hình, trong đó có 06 bản đồ kết quả chính.

CHƯƠNG 1. CƠ SỞ LÝ LUẬN VỀ NGHIÊN CỨU BIẾN ĐỘNG TRẠNG THÁI VÀ SINH KHỐI RỪNG

1.1. Tổng quan tài liệu về nghiên cứu biến động trạng thái và sinh khối rừng

1.1.1. Các khái niệm cơ bản sử dụng trong nội dung luận án

Hiện trạng rừng phản ánh cấu trúc, thành phần loài, mật độ, độ che phủ và điều kiện sinh thái. Các khái niệm chính gồm biến động trạng thái rừng, sinh khối rừng, sinh khối trên mặt đất (AGB) và biến động sinh khối.

1.1.2. Tổng quan tình hình nghiên cứu biến động trạng thái và sinh khối rừng trên thế giới và Việt Nam

Các nội dung được đề cập đến trong phần tổng quan gồm có: Nghiên cứu toàn cầu về sinh khối rừng tiến bộ nhờ viễn thám; Dữ liệu lớn và học máy; Nội dung và phương pháp xây dựng bản đồ sinh khối; Nghiên cứu hồi cứu biến động và ứng dụng đa nguồn dữ liệu.

1.1.3. Mức hấp thụ và phát thải tham chiếu các-bon

Đường tham chiếu rừng (FRL) được xây dựng theo khung phương pháp luận của IPCC (2006) và hướng dẫn kỹ thuật của Chương trình UN-REDD (2014), trong đó lượng CO₂ phát thải hoặc hấp thụ được tính dựa trên sự thay đổi bể chứa các-bon sinh khối trên mặt đất (AGB) giữa hai thời điểm quan trắc theo công thức: $\Delta C = (AGB_{t2} - AGB_{t1}) \times f_c \times \frac{44}{12}$, với hệ số các-bon trong sinh khối $f_c = 0,47$ theo quy định mặc định của IPCC cho rừng nhiệt đới.

1.1.4. Các nguồn dữ liệu ảnh viễn thám trong ước tính sinh khối khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu có dữ liệu quang học (Landsat, Sentinel-2, SPOT, PlanetScope) và radar (ERS-2, RADARSAT, ALOS, Sentinel-1...), với thuận lợi ảnh quang học miễn phí còn radar độ phân giải cao và chi phí lớn.

1.1.5. Các công trình nghiên cứu về Tây Nguyên và Kon Hà Nừng liên quan đến luận án

Bao gồm các nghiên cứu tại Tây Nguyên và Kon Hà Nừng kết hợp viễn thám - GIS; Điều tra thực địa và học máy để phân tích biến động rừng; Phát hiện điểm nóng phá rừng và dự báo sử dụng đất.

1.2. Cơ sở lý luận biến động trạng thái và sinh khối rừng

1.2.1. Tiêu chí phân loại rừng và sinh khối rừng

Rừng được phân loại theo nguồn gốc, mục đích sử dụng, điều kiện lập địa và trữ lượng.

Sinh khối chia thành 5 bể chứa, luận án tập trung vào sinh khối trên mặt đất (AGB).

1.2.2. Các phương pháp phân loại ảnh viễn thám

Phân loại đa phổ gồm hai cách chính: không giám sát và có giám sát. Phân loại hướng đối tượng kết hợp thông tin phổ với đặc trưng không gian và ngữ cảnh; quy trình gồm phân mảnh ảnh thành vùng đồng nhất dựa trên màu, hình dạng, kích thước và cấu trúc, rồi phân loại từng đối tượng theo đặc trưng phổ, hình thái và quan hệ lân cận.

1.2.3. Nghiên cứu biến động sử dụng viễn thám và GIS

Nghiên cứu biến động sử dụng viễn thám và GIS gồm hai hướng chính: trước phân loại và sau phân loại. Phương pháp trước phân loại xử lý ảnh đa thời gian trực tiếp bằng chỉ số như NDVI, phân tích vector biến đổi và trừ raster. Phương pháp sau phân loại tạo bản đồ lớp phủ độc lập cho từng thời điểm rồi so sánh để trích xuất thay đổi diện tích.

1.2.4. Phân loại biến động trạng thái rừng sử dụng trong luận án

Gồm biến động diện tích (mất rừng, suy thoái rừng, thêm rừng, tăng cường chất lượng rừng, biến động khác) và biến động trạng thái (AGB, NDVI).

Bảng 1.4. Ma trận nguyên tắc ảnh xạ trong xây dựng bản đồ biến động

Năm	2022							
	Hiện trạng rừng	Rừng tự nhiên (TXG)	Rừng tự nhiên (TXB)	Rừng tự nhiên (TXN)	Rừng tự nhiên (TXP)	Rừng trồng (TG)	Mất nước (MN)	Diện tích khác (DTK)
2000		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	(1)	11	12	13	14	15	16	17
	(2)	21	22	23	24	25	26	27
	(3)	31	32	33	2	35	36	37
	(4)	41	42	43	44	45	46	47
	(5)	51	52	53	54	55	56	57
	(6)	61	62	63	64	65	66	67
	(7)	71	72	73	74	75	76	77

Ghi chú: Đọc đường chéo là các loại hình không biến động, hai phía đường chéo là các loại hình biến động.

Năm		2022						
Hiện trạng rừng	Rừng tự nhiên (TXG)	Rừng tự nhiên (TXB)	Rừng tự nhiên (TXN)	Rừng tự nhiên (TXP)	Rừng trồng (TG)	Mặt nước (MN)	Diện tích khác (DTK)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
2000	(1)	1	9	9	9	8	8	8
	(2)	11	2	9	9	8	8	8
	(3)	11	11	3	2	8	8	8
	(4)	11	11	11	4	8	8	8
	(5)	10	10	10	10	5	12	12
	(6)	10	10	10	10	12	6	12
	(7)	10	10	10	10	12	12	7

Nguyên tắc gộp từ kết quả chồng xếp bản đồ đánh giá biến động sau phân loại tạo bản đồ biến động theo các loại hình được mô tả trong bảng ma trận nguyên tắc sau khi gộp ta có bản đồ biến động: 8 - Mất rừng; 9 - Suy thoái rừng; 10 - Thêm rừng; 11 - Tăng cường chất lượng rừng; 12 - Biến động khác.

Trong bảng ma trận, đáng chú ý là mã 8, 9, 10, 11 là các loại hình biến động liên quan đến trạng thái rừng tự nhiên sẽ được tập trung nghiên cứu trong luận án. Các diện tích biến động nhỏ (dưới 10 ha/giai đoạn) sẽ được xem xét không đưa vào phân tích, đánh giá.

1.2.5. Lựa chọn ảnh viễn thám sử dụng trong luận án

Luận án sử dụng ảnh quang học (SPOT, Sentinel-2, Landsat) vì dữ liệu dài hạn, miễn phí và ổn định.

1.3. Quan điểm và phương pháp nghiên cứu

1.3.1. Quan điểm nghiên cứu

Quan điểm hệ thống và tổng hợp; Quan điểm lãnh thổ; Quan điểm phát triển bền vững.

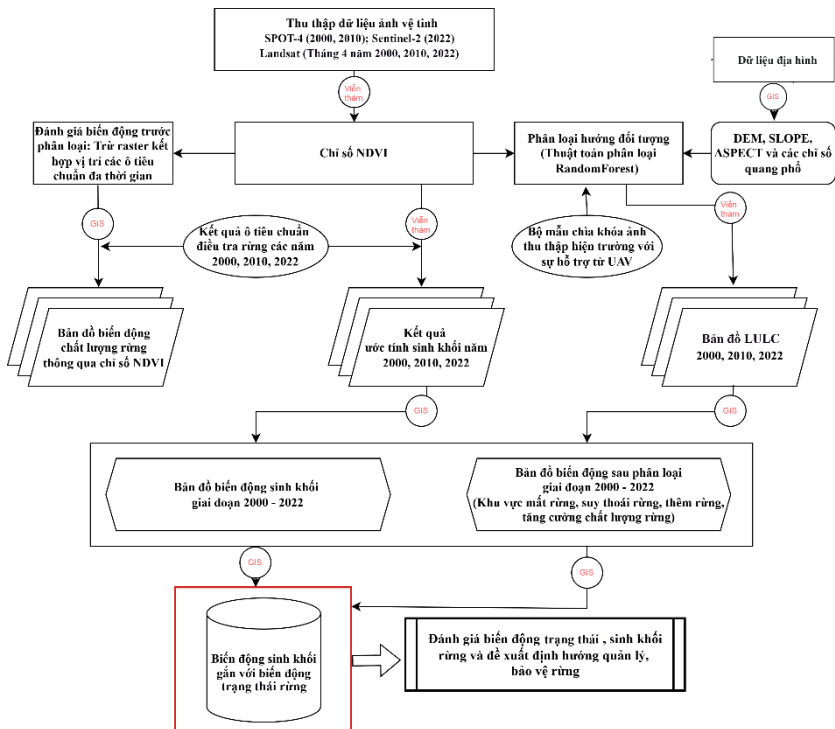
1.3.2. Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp, nhóm phương pháp chính được sử dụng, tích hợp bao gồm: 1) Phương pháp tổng hợp và phân tích tài liệu; 2) Phương pháp khảo sát thực địa; 3) Phương pháp viễn thám; 4) Phương

pháp phân tích tương quan và hồi quy; 5) Phương pháp bản đồ và phân tích không gian.

1.3.3. Quy trình nghiên cứu

Luận án được thực hiện với quy trình gồm 3 bước: 1) Xây dựng cơ sở lý luận và phương pháp nghiên cứu; 2) Nghiên cứu biến động trạng thái rừng; 3) Phân tích, đánh giá biến động sinh khối rừng và định hướng phát triển, bảo tồn. Các bước nghiên cứu thể hiện qua sơ đồ 1.2.



Hình 1.2. Sơ đồ quy trình nghiên cứu

CHƯƠNG 2. ĐẶC ĐIỂM KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ QUY TRÌNH XÂY DỰNG BẢN ĐỒ TRẠNG THÁI, SINH KHỐI RỪNG TẠI CAO NGUYÊN KON HÀ NỪNG

2.1. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

2.1.1. Điều kiện tự nhiên

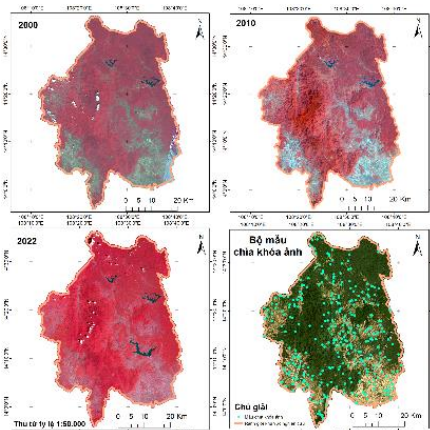
Cao nguyên Kon Hà Nừng, thuộc miền Đông Trường Sơn ở phía Đông Bắc tỉnh Gia Lai cách Pleiku khoảng 100 km với diện tích tự nhiên 416.810,16 ha (khu vực nghiên cứu 276.000 ha giáp Kon Plong, Quảng Ngãi, Bình Định, An Khê, Đăk Pơ và Chư Păh). Điều kiện tự nhiên tại Kon Hà Nừng tạo nền tảng cho hệ sinh thái rừng thường xanh đa dạng, giá trị bảo tồn và tiềm năng phát triển bền vững.

2.1.2. Điều kiện kinh tế - xã hội

Cộng đồng dân cư tại Kon Hà Nừng sống bằng canh tác nương rẫy và khai thác rừng, kỹ thuật lạc hậu khiến năng suất thấp. Giáo dục, y tế, viễn thông và điện lưới yếu kém hạn chế nhận thức bảo tồn.

2.2. Dữ liệu và quy trình thực hiện

2.2.1. Thu thập và xử lý ảnh vệ tinh



Hình 2.2. Ảnh vệ tinh đa thời gian và vị trí mẫu chìa khóa ảnh

Nghiên cứu tại cao nguyên Kon Hà Nừng sử dụng ảnh SPOT-4 (2000, 2010) và Sentinel-2 (2022) để phân tích trạng thái rừng

2.2.2. Xây dựng bộ mẫu chìa khóa ảnh

Tại Kon Hà Nừng, phương pháp phân tầng ngẫu nhiên tạo bộ mẫu chìa khóa ảnh.

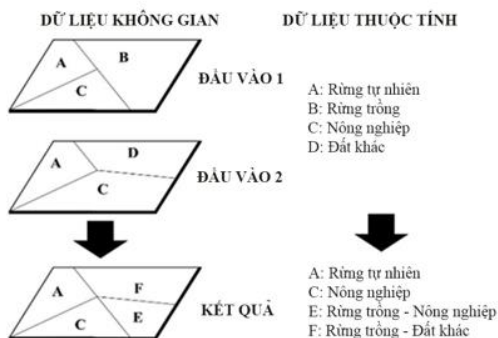
2.2.3. Xây dựng bản đồ trạng thái rừng

Nghiên cứu áp dụng phân loại hướng đối tượng trên phần mềm eCognition để xây dựng bản đồ trạng thái rừng tại Kon Hà Nừng cho các năm 2000, 2010 và 2022. Sau đó, thuật toán Random Forest phân loại các đối tượng dựa trên phổ (NDVI, AVI, ARVI) và địa hình (độ cao, độ dốc, hướng từ DEM 12,5 m).

2.2.4. Đánh giá biến động trước phân loại

Đánh giá biến động trước phân loại sử dụng ảnh cùng mùa để đảm bảo đồng nhất điều kiện thu nhận, trong đó NDVI (các mốc 2000, 2010, 2022 cùng tháng 4) được dùng làm chỉ báo quang phổ đánh giá biến động chất lượng rừng, tuy nhiên NDVI là chỉ báo gián tiếp có thể bão hòa ở tán dày và chịu ảnh hưởng nền đất, góc quan sát, khí quyển.

2.2.5. Đánh giá biến động sau phân loại



Hình 2.9. Mô tả thành lập bản đồ biến động LULC

Đánh giá biến động sau phân loại thành lập bản đồ lớp phủ rừng độc lập cho từng thời điểm, rồi chồng xếp (Intersect trong ArcGIS Pro) để xây dựng ma trận biến động và đánh giá thay đổi diện tích các trạng thái rừng.

2.3. Ứng dụng viễn thám và GIS trong đánh giá biến động sinh khối

2.3.1. Xây dựng phương trình ước tính sinh khối trên mặt đất các kiểu rừng

Nghiên cứu ước tính sinh khối rừng kết hợp hồi quy tuyến tính với dữ liệu viễn thám NDVI và số liệu thực địa từ ô tiêu chuẩn 500 - 1.000 m² (đo chỉ tiêu đường kính, chiều cao, loài, trữ lượng), áp dụng công thức thực nghiệm đặc thù Tây Nguyên để tính sinh khối.

2.3.2. Phương pháp xây dựng đường tham chiếu rừng (FRL) và ước tính năng lực hấp thụ CO₂ rừng tự nhiên

Phương pháp ước tính hấp thụ – phát thải CO₂ từ biến động sinh khối trên mặt đất tuân theo hướng dẫn IPCC. Phương pháp xây dựng đường tham chiếu rừng (FRL) dựa trên chuỗi dữ liệu lịch sử 2000–2022 làm cơ sở xây dựng kịch bản REDD+ giảm mất rừng và suy thoái.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỘNG TRẠNG THÁI, SINH KHỐI RỪNG VÀ ĐỊNH HƯỚNG QUẢN LÝ BẢO VỆ RỪNG CAO NGUYÊN KON HÀ NỪNG

3.1. Đánh giá biến động trạng thái rừng qua các giai đoạn 2000 - 2010 và 2010 - 2022

3.1.1. Kết quả thành lập bản đồ trạng thái rừng

Dựa trên giải đoán ảnh viễn thám đa thời gian, bản đồ lớp phủ rừng tại cao nguyên Kon Hà Nừng đã được thành lập cho các mốc 2000, 2010 và 2022. Kết quả cho thấy rừng tự nhiên luôn chiếm diện tích lớn nhất, trong đó rừng lá rộng thường xanh và nửa rụng lá trung bình duy trì trên 80.000 ha nhưng giảm nhẹ qua hai giai đoạn, trong khi rừng giàu tăng dần nhờ khoanh nuôi và phục hồi. Rừng nghèo biến động mạnh: giảm ở giai đoạn đầu nhưng tăng nhanh sau 2010.

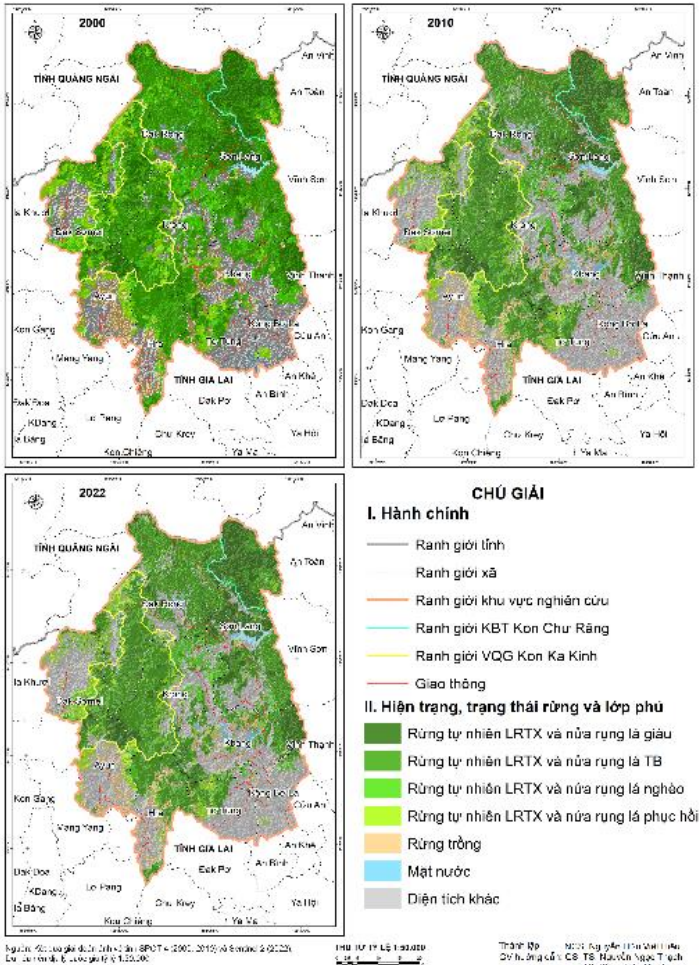
Bảng 3.1. Thống kê diện tích các trạng thái khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng các năm 2000, 2010, và 2022

Đơn vị: ha

Hiện trạng rừng	Diện tích	Diện tích	Diện tích	2010-2000	2022-2010	2010-2000 tỷ lệ tăng/giảm theo năm	2022-2010 tỷ lệ tăng/giảm theo năm
	2000	2010	2022	Thay đổi diện tích	Thay đổi diện tích	(% y ⁻¹)	(% y ⁻¹)
Rừng tự nhiên (TXG)	35.656,3	37.257,7	38.557,7	1.601,4	1.300,0	0,45	0,35
Rừng tự nhiên (TXB)	95.543,9	82.333,3	81.952,5	-13.210,6	-380,8	-1,38	-0,05
Rừng tự nhiên (TXN)	19.061,5	17.395,5	24.022,4	-1.666,0	6.626,9	-0,87	3,81
Rừng tự nhiên (TXP)	23.036,9	17.130,3	15.101,7	-5.906,6	-2.028,6	-2,56	-1,18
Rừng trồng (TG)	14.439,3	11.897,7	8.482,0	-2.541,6	-3.415,7	-1,76	-2,87
Mặt nước (MN)	3.138,1	3.353,7	3.356,5	215,7	2,8	0,69	0,01
Diện tích khác (DTK)	50.753,8	72.261,5	70.157,1	21.507,7	-2.104,5	4,24	-0,29
Tổng	242.000,00						

Dựa trên kết quả kiểm định các mẫu chìa khóa giải đoán ảnh và công thức tính hệ số K, nghiên cứu đã thành lập bảng ma trận sai lẫn và tính chỉ số độ chính xác tổng thể đối với bản đồ trạng thái rừng khu

vực cao nguyên Kon Hà Nừng năm 2022. Theo đó, chỉ số độ chính xác tổng thể năm 2022 đạt 90,44 %, tương ứng với $K=0,88$. Kết quả độ chính xác được đánh giá đạt mức cao.



Hình 3.1. Bản đồ hiện trạng, trạng thái rừng và lớp phủ khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng giai đoạn 2000 – 2022

3.1.2. Biến động trạng thái rừng và sự thay đổi chỉ số NDVI theo các năm 2000, 2010, 2022

Dựa trên bản đồ trạng thái rừng ở 3 thời điểm: năm 2000, 2010, và 2022, đã thành lập được 2 bản đồ biến động và bảng đánh giá biến động diện tích các trạng thái khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng qua 2 giai đoạn bao gồm: 2000 - 2010 và 2010 – 2022.

Bảng 3.3. Biến động diện tích rừng khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng giai đoạn 2000 – 2010

Đơn vị: ha

Năm	2010								
	Hiện trạng rừng	Rừng tự nhiên (TXG)	Rừng tự nhiên (TXB)	Rừng tự nhiên (TXN)	Rừng tự nhiên (TXP)	Rừng trồng (TG)	Mặt nước (MN)	Diện tích khác (DTK)	Tổng
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)		
2000	(1)	28.585,6	3.553,4	1.302,9	681,8	21,6		1.510,9	35.656,3
	(2)	7.383,4	69.961,4	987,3	3.213,1	1.715,1	50,8	12.232,7	95.543,9
	(3)	651,7	3.616,8	7.124,5	1.265,3	559,5	954,8	4.888,8	19.061,5
	(4)	385,0	3.106,3	4.014,1	8.905,8	814,4	16,3	5.795,0	23.036,9
	(5)	153,6	840,7	991,4	932,5	5.653,8	21,2	5.846,2	14.439,3
	(6)	3,5		77,9	115,5	87,4	2.212,4	641,3	3.138,1
	(7)	94,9	1.254,7	2.897,3	2.016,2	3.045,9	98,3	41.346,6	50.753,8
	Tổng	37.257,7	82.333,3	17.395,5	17.130,3	11.897,7	3.353,7	70.750,6	242.000,0

Theo bảng 3.3, trong giai đoạn 10 năm (2000 - 2010), diện tích rừng tự nhiên lá rộng thường xanh và nửa rụng lá trung bình, nghèo và phục hồi tại khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng có xu hướng giảm, trong đó chủ yếu là sự chuyển đổi sang các trạng thái rừng tự nhiên khác, rừng trồng và diện tích khác. Trong giai đoạn 2000 – 2010, diện tích rừng tự nhiên lá rộng thường xanh và nửa rụng lá giàu có sự tăng nhẹ. Mặc dù có 7.070,7 ha chuyển sang các trạng thái khác (rừng trung bình 3.553,4 ha; rừng nghèo 1.302,9 ha; rừng phục hồi 681,8 ha; rừng trồng và diện tích khác khoảng hơn 1500 ha). Diện tích rừng giàu tăng khoảng 1.600 ha khi có các diện tích rừng tự nhiên và rừng trồng khác chuyển sang, đáng chú ý diện tích lớn nhất (7.383,4 ha) nhận từ rừng tự nhiên trung bình chuyển sang.

Bảng 3.4. Biến động diện tích rừng khu vực cao nguyên Kon Hà
Nùng giai đoạn 2010 – 2022

Đơn vị: ha

Năm	2022								
	LULC	Rừng tự nhiên (TXG)	Rừng tự nhiên (TXB)	Rừng tự nhiên (TXN)	Rừng tự nhiên (TXP)	Rừng trồng (TG)	Mặt nước (MN)	Diện tích khác (DTK)	Tổng
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)		
2010	(1)	36.212,0	984,7	54,3	1,5	0,0	0,1	5,1	37.257,7
	(2)	1.538,5	77.542,5	530,9	9,2	19,9		2.692,3	82.333,3
	(3)	7,3	1.481,5	13.975,8	514,1	7,6	0,2	1.408,9	17.395,4
	(4)	790,1	1.943,8	2.909,4	4.082,1	7,1	0,5	7.397,3	17.130,3
	(5)			3.075,6	956,5	7.505,9	0,0	359,6	11.897,6
	(6)						3.353,7		3.353,7
	(7)	9,7		3.476,4	9.538,3	941,4	1,9	58.293,8	72.261,5
	Tổng	38.557,7	81.952,5	24.022,4	15.101,7	8.482,0	3.356,5	70.152,0	242.000,0

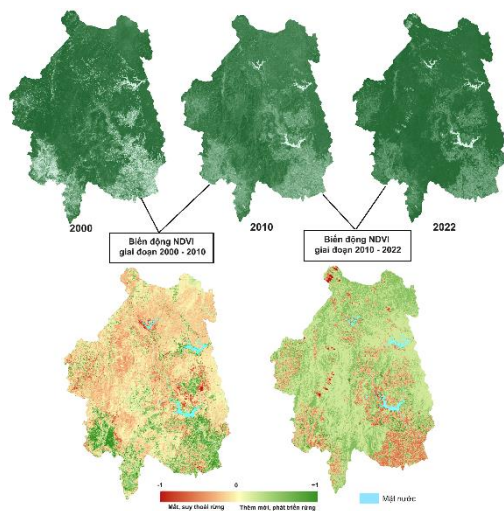
Bảng chu chuyển diện tích 2010 - 2022 cho thấy cơ cấu rừng biến động theo các luồng chuyển đổi có ý nghĩa sinh thái và quản lý. Cụ thể, nhóm rừng tự nhiên trung bình thể hiện tính ổn định cao khi có 77.542,5 ha không biến động, trong khi rừng tự nhiên giàu duy trì phân lõi 36.212,0 ha và được tăng thêm 1.538,5 ha từ rừng trung bình và 790,1 ha từ rừng phục hồi cho thấy khả năng bảo tồn và phục hồi chất lượng rừng giàu. Ngược lại, rừng tự nhiên phục hồi và rừng trồng có xu hướng giảm trong cả giai đoạn. Đối với rừng phục hồi, mặc dù có 4.082,1 ha giữ ổn định vẫn có 7.404,9 chuyển sang các trạng thái khác.



Hình 3.4. Biến động trạng thái rừng khu vực cao nguyên Kon Hà
 Nừng giai đoạn 2010 - 2022

Đánh giá trạng thái rừng thông qua chỉ số NDVI

Dữ liệu NDVI được gán trực tiếp cho các ô tiêu chuẩn tại các mốc 2000, 2010 và 2022 (ảnh vệ tinh Landsat, cùng tháng 4 trong năm) đã phản ánh biến động trạng thái che phủ thực vật và mức độ xanh tán lá của bốn lớp rừng tự nhiên: TXG (giàu), TXB (trung bình), TXN (nghèo), TXP (phục hồi).



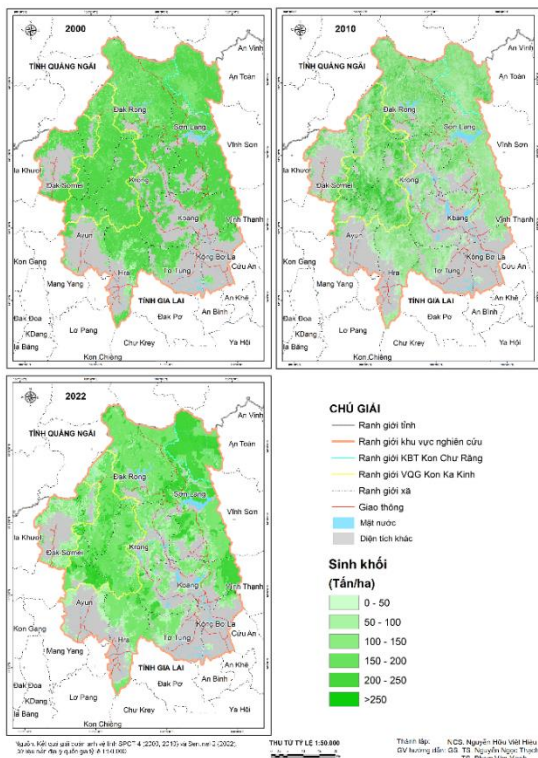
Hình 3.6. Chỉ số NDVI tại cao nguyên Kon Hà Nừng và sự biến động qua các giai đoạn

3.2. Biến động sinh khối rừng tại cao nguyên Kon Hà Nừng qua các giai đoạn 2000 - 2010 và 2010 - 2022

3.2.1. Sinh khối rừng cao nguyên Kon Hà Nừng, tỉnh Gia Lai qua các giai đoạn

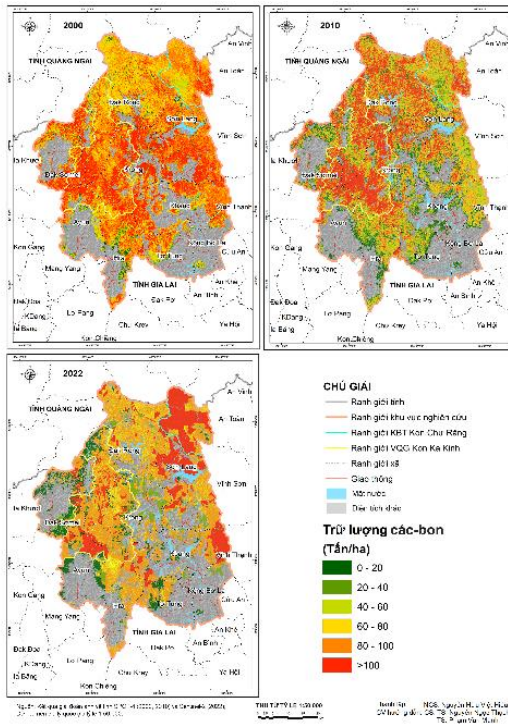
Năm 2000, vùng có sinh khối 100–150 tấn/ha chiếm 36.000 ha (24,4% rừng tự nhiên), trong khi diện tích dưới 50 tấn/ha chỉ 17.909 ha (11,9%). Đến 2010, khu vực 0–50 tấn/ha tăng lên 38.000 ha (25,7%) và 150–200 tấn/ha chỉ còn 11.000 ha (7,8%), trong khi tỷ lệ

>250 tấn/ha là 9,5%, tăng lên 16,4% vào 2022, và vùng <50 tấn/ha giảm xuống khoảng 16 000 ha.



Hình 3.9. Bản đồ sinh khối khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng năm 2000, 2010 và 2022

Sinh khối cao tập trung ở lõi Kon Chư Răng, Kon Ka Kinh và rừng phòng hộ đầu nguồn phía Đông Nam, còn giá trị thấp rải rác phía Nam cao nguyên và tây Kon Ka Kinh. Lớp trữ lượng cacbon 60–80 tấn/ha chiếm trên 41% năm 2010 và 46% năm 2022 (so với 23,7% năm 2000), còn khu vực >100 tấn/ha tăng từ 7,09% lên 15,91%, phản ánh xu hướng phục hồi và gia tăng trữ lượng ở vùng lõi bảo tồn.



Hình 3.10. Bản đồ trữ lượng các-bon khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng các năm 2000, 2010 và 2022

3.2.2. Tính toán và theo dõi biến động lượng phát thải – hấp thụ CO₂ khu vực nghiên cứu

Căn cứ theo cách tính theo đường tham chiếu rừng (FRL): Trong giai đoạn quá khứ từ 2000 - 2022, tổng lượng phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng ở mức 14.494.515 tấn CO₂, tổng lượng hấp thụ là -9.488.867 tấn CO₂; lượng phát thải - hấp thụ ròng tại khu vực nghiên cứu có giá trị dương khoảng 5.005.647 tấn CO₂/22 năm tương đương 227.529 tấn CO₂/năm.

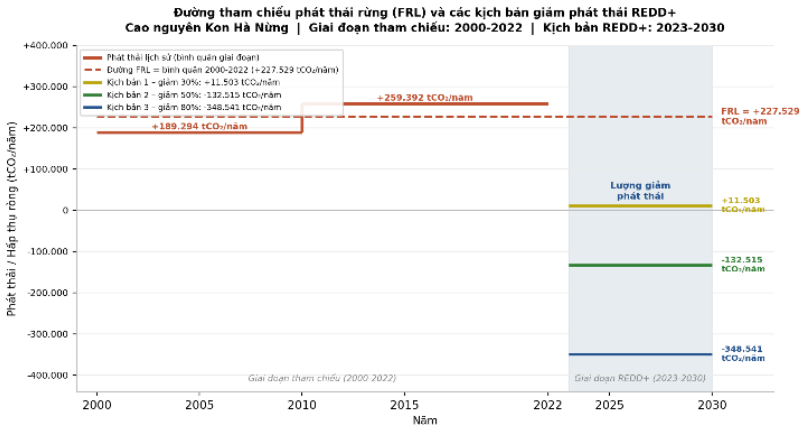
3.3. Xây dựng đường tham chiếu rừng (FRL) cung cấp cơ sở khoa học tham gia chương trình giảm phát thải khí nhà kính thông qua các hoạt động giảm suy thoái và mất rừng

3.3.1. Tỷ lệ các loại hình biến động rừng tự nhiên theo giai đoạn 2000 - 2010 và 2010 - 2022

Từ dữ liệu biến động trạng thái rừng cao nguyên Kon Hà Nừng giai đoạn 2000 - 2022, nghiên cứu xác định được tỷ lệ mất rừng và tỷ lệ suy thoái rừng bình quân theo giai đoạn.

3.3.2. Kịch bản giảm mất rừng, suy thoái rừng

Dựa trên dự báo giai đoạn 2023–2030 so với 2000–2022, cả ba kịch bản REDD+ đều đưa lượng phát thải CO₂ xuống dưới mức đường tham chiếu rừng (FRL). Với giá quy đổi 5 USD/t CO₂ (tỷ giá khoảng 25.000 đồng/USD), kịch bản 1 (giảm 30% phát thải do mất và suy thoái rừng) tiết kiệm 1.728.208 t CO₂, tương đương 8,6 triệu USD (khoảng 216 tỷ đồng); kịch bản 2 (giảm 50%) tiết kiệm 2.880.352 t CO₂, tương đương 14,4 triệu USD (khoảng 360 tỷ đồng); kịch bản 3 (giảm 80%) tiết kiệm 4.608.560 t CO₂, tương đương 23,0 triệu USD (khoảng 576 tỷ đồng).



Hình 3.14. Đường phát thải các kịch bản giảm phát thải trong giai đoạn 2023- 2030

3.4. Đề xuất định hướng sử dụng, bảo vệ và phát triển rừng khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng

Các kịch bản giảm phát thải để đạt Net-Zero 2050 nhấn mạnh vai trò cấp thiết của việc giảm mất rừng và suy thoái rừng trong giai đoạn

2020–2030, vì đây là nguồn phát thải tức thời và biện pháp chi phí thấp, hiệu quả nhanh hơn nhiều giải pháp công nghiệp.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A. Kết luận

1. Nghiên cứu trạng thái và biến động rừng có lịch sử lâu đời với nhiều chương trình giám sát tài nguyên rừng quốc gia. Việc xây dựng bản đồ trạng thái rừng bằng học máy cần có mô hình hoàn chỉnh, ứng dụng dữ liệu ảnh viễn thám miễn phí và đủ độ tin cậy để áp dụng cho toàn quốc.

2. Luận án áp dụng phương pháp phân tích ảnh trước phân loại bằng chỉ số NDVI, kết hợp thông tin từ hệ thống ô tiêu chuẩn. Với dữ liệu quang học đa thời gian SPOT-4 và Sentinel-2 và kỹ thuật GIS, nghiên cứu theo dõi được biến động trạng thái rừng qua hai giai đoạn 2000–2010 và 2010 - 2022.

3. Sử dụng ảnh SPOT độ phân giải cao và nguyên tắc phân loại theo đối tượng (object-based), luận án thành lập bản đồ hiện trạng rừng Kon Hà Nừng năm 2022 với độ chính xác tổng thể 90,44% ($K=0,88$) - cao so với nhiều nghiên cứu quốc tế dùng Landsat-8 và Sentinel-2.

4. Theo dõi biến động sau phân loại với 7 loại hình rừng, kỹ thuật phân tích ma trận cho phép gộp 42 loại hình biến động thành 5 nhóm chính: mất rừng, suy thoái rừng, mở rộng diện tích rừng, tăng cường chất lượng rừng và biến động khác - hỗ trợ quản lý linh hoạt theo không gian và tính chất.

5. Luận án thành lập 3 bản đồ hiện trạng rừng (2000, 2010, 2022) dựa trên ảnh viễn thám đa thời gian kết hợp kiểm chứng thực địa. Giai đoạn 2000-2010, một phần rừng tự nhiên chuyển sang các trạng thái khác; giai đoạn 2010–2022, mất rừng tự nhiên tăng nhẹ cùng sự mở

rộng các diện tích cây trồng kinh tế và sự sụt giảm rừng trồng, đất nông nghiệp.

6. Từ dữ liệu sinh khối thực địa và chỉ số thực vật Sentinel-2, luận án xác định phương trình ước tính sinh khối rừng tự nhiên với $R^2=0,72$ (Lin-Log, 2010) và $R^2=0,76$ (Log-Lin, 2022).

7. Giai đoạn 2000–2022, tổng diện tích rừng tự nhiên giảm khoảng 7,8% trong khi chất lượng rừng tăng trung bình 0,8%. Phát thải ròng đạt khoảng 5.005.647 tấn $CO_2/22$ năm (~227.529 tấn $CO_2/năm$) - rừng đang phát thải nhiều hơn lượng hấp thụ. Luận án đề xuất 3 kịch bản phát thải các-bon giai đoạn 2022–2030, đều cho lợi ích kinh tế cao và đưa phát thải xuống dưới mức tham chiếu.

8. Kết hợp viễn thám và khảo sát thực địa, luận án xây dựng bản đồ phân loại rừng trồng và ước tính tổng giá trị rừng trồng Keo và Bạch đàn đạt 317 tỷ đồng. Chi trả dịch vụ môi trường rừng và giao khoán bảo vệ rừng mang lại nguồn thu đáng kể, góp phần ổn định sinh kế và bảo tồn tài nguyên rừng.

9. Luận án đề xuất các hoạt động đưa vào kế hoạch thực hiện REDD+ nhằm bảo vệ rừng, ngăn chặn mất rừng và suy thoái rừng, duy trì và làm tăng trữ lượng các-bon rừng cao nguyên Kon Hà Nừng.

10. Quy trình tích hợp viễn thám - GIS phục vụ giám sát biến động trạng thái và sinh khối rừng mà luận án xây dựng có thể áp dụng rộng rãi cho nhiều cảnh quan và bể các-bon khác.

B. Kiến nghị

1. Cần tiếp tục xây dựng nhiệm vụ, dự án ưu tiên để nghiên cứu đầy đủ hơn về cấu trúc rừng, động lực, nguyên nhân biến đổi trạng thái rừng Kon Hà Nừng nói riêng, rừng Việt Nam nói chung, trong đó tập trung các nghiên cứu hệ sinh thái rừng tự nhiên. Từ đó, dần hoàn thiện hệ thống mô hình xác định mức phát thải, hấp thụ CO_2 cho các trạng thái rừng tự nhiên.

2. Việc nghiên cứu, xác định biến động trạng thái rừng gắn với sinh khối cho các hệ sinh thái rừng tự nhiên Việt Nam cần thiết áp dụng thêm công nghệ và phương pháp hiện đại, tự động, đo đạc định lượng mức độ hấp thụ và phát thải CO₂ làm cơ sở tham chiếu cho các phương pháp tính toán khác như học máy, học sâu.

3. Xây dựng chi tiết các mô hình ổn định kinh tế dân sinh gắn với bảo vệ và phát triển lâm nghiệp. Khuyến khích sự tham gia của các nhà khoa học quốc tế trong vấn đề quản lý tài nguyên rừng và bảo tồn đa dạng sinh học tại khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng.

4. Phân tích kịch bản giảm phát thải cần nghiên cứu sâu thêm: bao quát đánh giá bất định và phân tích chi phí - khả thi, giúp tăng khả năng chuyển giao kết quả vào chính sách. Kiến nghị thực hiện mô phỏng ngẫu nhiên (Monte Carlo) để ước lượng khoảng tin cậy cho các ước tính các-bon, đồng thời bổ sung phân tích chi phí - lợi ích và khảo sát xã hội nhằm thiết kế các biện pháp giảm mất rừng phù hợp với cộng đồng và khả thi về tài chính trong hướng nghiên cứu tiếp theo.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CỦA TÁC GIẢ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. **Hieu Huu Viet Nguyen**, Thạch Ngọc Nguyen, Manh Van Pham, Tung Cao Nguyen, Hung Anh Le (2025), *Estimating economic value and developing scenarios for carbon emission reduction from biomass fluctuations and forest status in Kon Ha Nung Plateau, Gia Lai province, period 2022 – 2030*, VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol 41 No 1. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5177>.
2. **Hieu Huu Viet Nguyen**, Thạch Ngọc Nguyen, Manh Van Pham, Ngọc Thi Dang, Tung Cao Nguyen, Hung Anh Le, Duy Dinh Ba and Dung Trung Ngo (2024), *Valuation of plantations to stabilize livelihoods for the highlands of Kon Ha Nung, gia lai province based on remote sensing and GIS technology*, Proceedings of The XI International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-XI 2025), 11/2024, Namangan, Uzbekistan, Volume 613. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202561303007>.
3. **Hieu Huu Viet Nguyen**, Thạch Ngọc Nguyen, Manh Van Pham, Tung Cao Nguyen, Hung Anh Le and Nhu Khanh Tran (2024), *Estimate the amount of carbon emissions from deforestation and forest degradation over two decades in Kon Ha Nung plateau, Gia Lai province, Vietnam*, Proceedings of The Geoinformatics for Spatial-Infrastructure Development in Earth & Allied Sciences - GIS - IDEAS 2024 conference, 12/2024, Chiang Rai, Thailand, pp. 79-88.
4. Duy Ba Dinh, Dung Trung Ngo, Hoi Dang Nguyen, **Hieu Huu Viet Nguyen**, Ngọc Thi Dang (2022), *Free satellite image data application for monitoring land use cover changes in the Kon Ha Nung plateau, Vietnam (Q1)*, Published by Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.helivon.2023.e12864>.
5. Hoi Nguyen Dang, Duy Dinh Ba, Dung Ngo Trung and **Hieu Nguyen Huu Viet** (2022), *A Novel Method for Estimating Biomass and carbon Sequestration in Tropical Rainforest Areas Based on Remote Sensing Imagery: A Case Study in the Kon Ha Nung Plateau, Vietnam (Q1)*, Sustainability, 14(24), 16857. <https://doi.org/10.3390/su142416857>.
6. Dung Trung Ngo, Hoi Dang Nguyen, **Hieu Huu Viet Nguyen**, Ngọc Thi Dang, Roman Gorbunov, Nhung Cam Pham (2026), *Protocol for biomass and carbon storage estimation in tropical rainforests via remote sensing imagery (Q1)*, STAR Protocols 7, 104346. Published by Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.xpro.2025.104346>
7. Nguyễn Thị Thu Hằng, Đỗ Diệu Anh, Đặng Đỗ Lâm Phương, Đỗ Thị Nhung, Nguyễn Thị Diễm My, **Nguyễn Hữu Việt Hiệu**, Nguyễn Việt Dương, Phạm Văn Mạnh (2025), *Ứng dụng công nghệ địa không gian và thuật toán học máy lập bản đồ nguy cơ cháy rừng nhiệt đới theo mùa khu vực Tây Nguyên, Việt Nam, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp, 14(4)*. <https://doi.org/10.55250/jo.vnufl.14.4.2025>.