



Original Article

Economic Value and Carbon Emission Reduction Scenarios from Kon Ha Nung Forest Change, Gia Lai Province 2022-2030

Nguyen Huu Viet Hieu^{1,2,*}, Nguyen Ngoc Thach¹,
Pham Van Manh¹, Nguyen Cao Tung², Le Anh Hung²

¹VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

²Remote Sensing and Information Technology Center, Forest Inventory and Planning Institute,
340 Bach Dang, Hoan Kiem, Hanoi, Vietnam

Received 24th June 2024

Revised 4th November 2024; Accepted 27th February 2025

Abstract: This study presents a method for above-ground biomass estimation and a machine learning method to assess changes in forest status for the period 2000 - 2022. From there, the economic value obtained from conserving and developing natural forests will be determined according to scenarios for reducing deforestation and forest degradation up to 2030. The study area was selected in Kon Ha Nung plateau, Gia Lai province, where the forest area is large, the ecosystem is relatively intact, and has high biodiversity. The study uses standard plots measured in 2000, 2010, and 2022 and a linear regression equation to estimate biomass from SPOT-4 images in the form of Lin-Log with $R^2 = 0,72$ and the root-mean-square error RMSE reached 22,87 Mg/ha while the equation applied to Sentinel-2 images in 2022 was Log-Lin with $R^2 = 0,759$ and RMSE reached 19,50 Mg/ha. The research results showed that the forest status of the study area from 2000 to 2022 had large fluctuations within 20 years from 2000 to 2022: The total area of deforestation reached 56.159,9 ha, the area of forest degradation was 17.206,4 ha; of which the area of natural forest increased by 5.603,3 ha, the area of forest quality improvement reached 19.207,3 ha. The total area of deforestation and forest degradation in the Kon Ha Nung plateau was larger than the total area of natural forest increased and forest quality improved. The study estimates the economic value gained from participating in the carbon market with three CO₂ emission reduction scenarios for the period 2022 - 2030 through forest change analysis for the two periods 2000 - 2010 and 2010 - 2022. The research results provide an overview of income sources from ecosystem services in the Kon Ha Nung plateau from forest protection and development activities.

Keywords: CO₂ emissions, deforestation, forest degradation, REDD+, biomass.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyenhuvietthieu_sdh22@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.5177>

Giá trị kinh tế và kịch bản giảm phát thải các-bon từ biến động rừng Kon Hà Nừng, tỉnh Gia Lai 2022-2030

Nguyễn Hữu Việt Hiệu^{1,2,*}, Nguyễn Ngọc Thạch¹,
Phạm Văn Mạnh¹, Nguyễn Cao Tùng², Lê Anh Hùng²

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Trung tâm Viễn thám và Công nghệ thông tin, Viện Điều tra Quy hoạch rừng,
340 Bạch Đằng, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 24 tháng 6 năm 2024

Chỉnh sửa ngày 04 tháng 11 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 27 tháng 02 năm 2025

Tóm tắt: Nghiên cứu trình bày phương pháp ước tính sinh khối trên mặt đất và phương pháp học máy đánh giá biến động hiện trạng rừng giai đoạn 2000 - 2022. Từ đó xác định giá trị kinh tế thu được từ bảo tồn, phát triển rừng tự nhiên theo các kịch bản giảm mất rừng, suy thoái rừng tính đến năm 2030. Khu vực nghiên cứu được chọn tại cao nguyên Kon Hà Nừng, tỉnh Gia Lai nơi có diện tích rừng lớn, hệ sinh thái còn tương đối nguyên vẹn và có tính đa dạng sinh học cao. Nghiên cứu sử dụng ô tiêu chuẩn đo thực tế tại các năm 2000, 2010, 2022 và phương trình hồi quy tuyến tính ước tính sinh khối từ ảnh SPOT-4 có dạng Lin-Log với hệ số $R^2 = 0,72$ và sai số bình phương trung bình RMSE đạt 22,87 Mg/ha trong khi phương trình áp dụng cho ảnh Sentinel-2 tại năm 2022 có dạng Log-Lin hệ số $R^2 = 0,759$ và RMSE đạt 19,50 Mg/ha. Kết quả cho thấy hiện trạng rừng khu vực nghiên cứu từ 2000 - 2022 có biến động lớn trong vòng 20 năm từ năm 2000 đến 2022: tổng diện tích mất rừng khoảng 56.159,9 ha, diện tích suy thoái rừng 17.206,4 ha; trong đó diện tích rừng tự nhiên tăng 5.603,3 ha, diện tích tăng cường chất lượng rừng đạt 19.207,3 ha. Tổng diện tích mất rừng và suy thoái rừng cao nguyên Kon Hà Nừng lớn hơn tổng diện tích rừng tự nhiên tăng và tăng cường chất lượng rừng. Nghiên cứu ước tính giá trị kinh tế thu được khi tham gia thị trường các-bon với 3 kịch bản giảm phát thải CO₂ giai đoạn 2022 - 2030 thông qua phân tích biến động rừng cho 2 giai đoạn 2000 - 2010 và giai đoạn 2010 - 2022. Kết quả nghiên cứu cung cấp góc nhìn tổng quan về các nguồn thu nhập từ dịch vụ sinh thái tại cao nguyên Kon Hà Nừng thông qua hoạt động bảo vệ và phát triển rừng.

Từ khóa: Phát thải CO₂, Mất rừng, Suy thoái rừng, REDD+, Sinh khối.

1. Mở đầu

Rừng đóng vai trò quan trọng trong việc giảm phát thải các-bon và ứng phó với biến đổi khí hậu. Nghiên cứu biến động sinh khối rừng giúp con người hiểu và đánh giá các yếu tố ảnh

hưởng đến khả năng hấp thụ các-bon của rừng, việc thay đổi sinh khối và tốc độ phục hồi. Có được thông tin chính xác về biến đổi sinh khối, sẽ giúp phát triển các biện pháp quản lý rừng nhằm tăng cường hấp thụ các-bon và giảm phát thải khí nhà kính, góp phần kiểm soát biến đổi

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyenuuviethieu_sdh22@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5177>

khí hậu và bảo vệ môi trường. Nghiên cứu biến động sinh khối cung cấp thông tin giúp các đơn vị quản lý lĩnh vực lâm nghiệp đánh giá hiệu quả các biện pháp quản lý rừng, tái tạo và phát triển cộng đồng nhằm đảm bảo sự toàn vẹn hệ sinh thái và sự phục hồi của rừng.

Ngoài ra, đánh giá biến động sinh khối rừng cung cấp cho các nhà quản lý thông tin có độ tin cậy về xu thế biến động rừng và xây dựng mục tiêu giảm phát thải khí nhà kính, nghiên cứu định hướng không gian bảo vệ và phát triển rừng tiến tới phát triển lâm nghiệp bền vững. Phát triển lâm nghiệp theo hướng hiện đại, hiệu quả, cạnh tranh cao, liên kết từ phát triển, bảo vệ rừng đến chế biến và thương mại lâm sản. Đồng thời, nâng cao thu nhập cho người dân, bảo vệ môi trường và đa dạng sinh học, thích ứng với biến đổi khí hậu, giảm thiểu thiên tai và phát thải khí nhà kính.

Giám sát sự thay đổi của thảm thực vật trong hệ sinh thái tự nhiên là chìa khóa để hiểu được tính phức tạp của các quá trình sinh thái, bao gồm sự tương tác giữa các loài và phản ứng với điều kiện môi trường khi chúng thay đổi theo thời gian và không gian [1]. Sự chú ý đặc biệt tập trung vào các khu rừng nhiệt đới do tầm quan trọng sinh thái rừng nhiệt đới được đặc trưng bởi tính không đồng nhất về môi trường, tính đa dạng sinh học cao, trữ lượng và động lực các-bon có ý nghĩa toàn cầu [2]. Với sự can thiệp ngày càng tăng của con người vào cảnh quan thiên nhiên và biến đổi khí hậu toàn cầu, việc hiểu cách rừng phản ứng với những thay đổi khí hậu ngày càng trở nên quan trọng. Kết quả nghiên cứu biến động hiện trạng rừng cung cấp thông tin đánh giá được xu hướng và nguyên nhân biến động từ đó xây dựng phương án quản lý rừng hiệu quả hơn [3]. Trạng thái cân bằng động trong biến động diện tích rừng, thường được mô tả trong các nghiên cứu giám sát thảm thực vật, đó là kết quả của những biến động mang tính chu kỳ [4]. Những biến động này được đặc trưng bởi các giai đoạn tăng mật độ, sinh khối rừng và ở mức độ thấp hơn là giảm số lượng cá thể, sinh khối. Quan trọng hơn, tất cả các đặc điểm mật độ cây và sinh khối có vai trò duy trì cấu trúc rừng ổn định [5]. Các nghiên cứu về động lực cộng đồng

và dân số chỉ ra rằng cả các thay đổi bên trong cấu trúc rừng và tác động từ môi trường bên ngoài đều là chất xúc tác quan trọng của sự thay đổi thảm thực vật. Biến động trong rừng có thể do tự nhiên hoặc do con người. Các yếu tố tự nhiên bao gồm việc hình thành và tái tạo các khoảng trống, lượng mưa theo mùa và hiện tượng hạn hán. Trong khi đó, các hoạt động của con người như cháy rừng và chặt phá rừng cũng gây ảnh hưởng đáng kể [6]. Biến đổi khí hậu toàn cầu tác động mạnh mẽ đến rừng, có thể làm tăng tỷ lệ cây chết, điều này có thể dẫn đến các vấn đề khác theo sau. Chẳng hạn như sự phát triển mạnh mẽ của các loài cây có tốc độ tăng trưởng nhanh và vòng đời ngắn sẽ làm giảm tuổi thọ chung của cây rừng, dẫn đến mất đi trữ lượng các-bon. Vì vậy, việc gia tăng tỷ lệ cây chết đang trở thành một trong những mối đe dọa lớn nhất mà các khu rừng nhiệt đới phải đối mặt trong bối cảnh biến đổi khí hậu [7].

Trong bối cảnh hiện tại của Việt Nam, việc triển khai các hoạt động giảm phát thải khí nhà kính từ mất rừng và suy thoái rừng (REDD+) là nhu cầu thiết yếu, nhằm thúc đẩy hoạt động quản lý, bảo vệ và phát triển rừng một cách bền vững. Các dự án lâm nghiệp và phát triển sinh kế cho cộng đồng phụ thuộc vào rừng mà Việt Nam đang thực hiện sẽ tạo nền tảng vững chắc cho các chương trình REDD+ trong nước [8]. Việc hướng tới giảm phát thải khí nhà kính thông qua nỗ lực hạn chế mất rừng, suy thoái rừng, quản lý bền vững tài nguyên rừng và bảo tồn, tăng cường trữ lượng các-bon rừng là điều hết sức cần thiết. Nghiên cứu đã xác định lượng phát thải và hấp thụ ròng CO₂ tại cao nguyên Kon Hà Nừng trong giai đoạn 2000 – 2022, đưa ra thông tin về mức độ biến động sinh khối tạo cơ sở đánh giá các biện pháp bảo vệ rừng đã thực hiện trong giai đoạn quá khứ. Trên cơ sở đó, các kịch bản giảm phát thải CO₂ từ tài nguyên rừng khu vực nghiên cứu giai đoạn 2022 – 2030 thông qua giảm diện tích mất rừng và suy thoái rừng được đề xuất. Kết quả nghiên cứu đã góp phần cung cấp thêm một phương pháp giúp xác định biến động sinh khối cũng như ước tính mức hấp thụ các-bon từ các dữ liệu viễn thám và hệ thống dữ liệu ô tiêu chuẩn lâm nghiệp Việt Nam đang sở hữu. Dữ

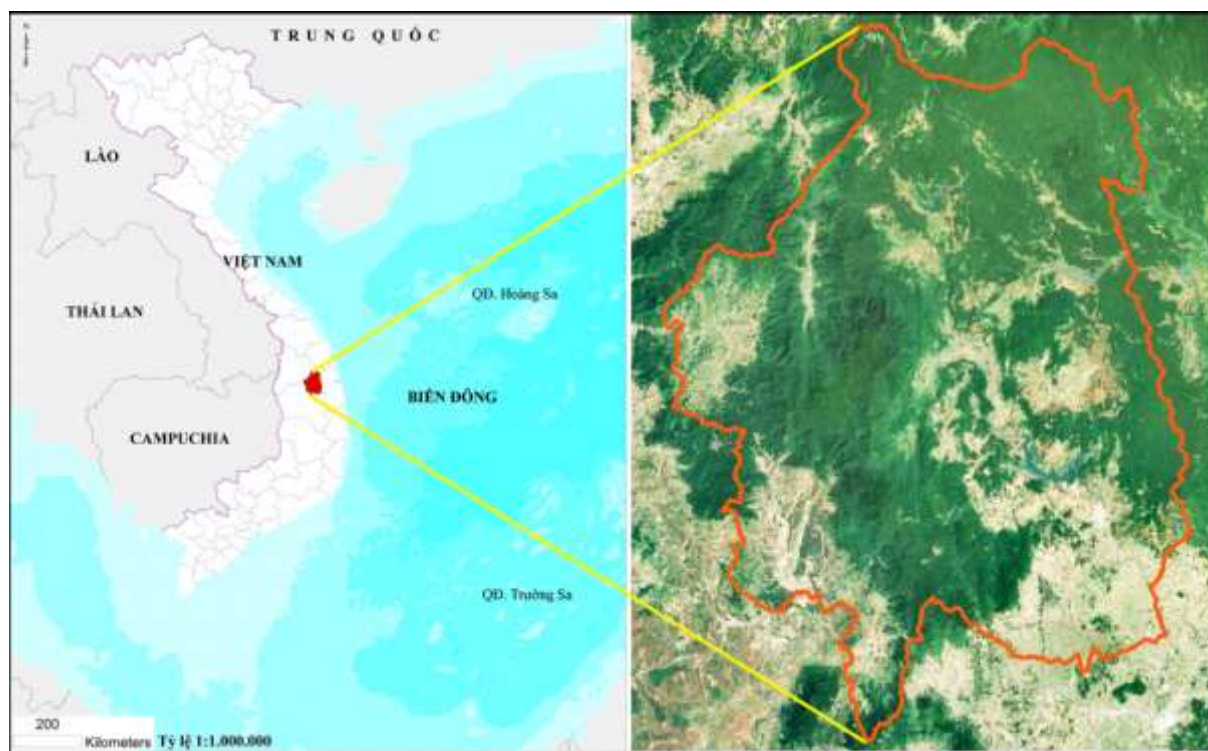
liệu ô tiêu chuẩn trong nghiên cứu kế thừa từ “Chương trình điều tra, đánh giá và theo dõi diễn biến tài nguyên rừng toàn quốc” do Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn chủ trì, chu kỳ 5 năm điều tra một lần, được thực hiện từ năm 1991. Thông qua đánh giá biến động sinh khối gắn với biến động hiện trạng rừng tự nhiên, ước tính giá trị kinh tế có thể thu được khi tham gia thị trường các-bon. Nghiên cứu sử dụng phương trình hồi quy tuyến tính cùng nguồn dữ liệu mẫu ô đo đếm trữ lượng rừng được đo đếm trực tiếp bởi các chuyên gia lâm nghiệp có kinh nghiệm, kiểm tra nghiệm thu qua nhiều cấp tạo ra giá trị về độ tin cậy dữ liệu khi đưa vào sử dụng rộng rãi.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực nghiên cứu

Khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng là vùng miền núi phía Đông Trường Sơn, nằm ở phía Đông Bắc tỉnh Gia Lai, cách Thành phố Pleiku theo quốc lộ 19 và quốc lộ Trường Sơn Đông khoảng 100 km, tổng diện tích tự nhiên: 2.429,33 km² (Hình 1). Ranh giới của khu vực:

- + Phía Bắc giáp huyện Kon Plông (Tỉnh Kon Tum).
- + Phía Đông giáp tỉnh Quảng Ngãi và Bình Định.
- + Phía Nam giáp thị xã An Khê và huyện Đăk Pơ.
- + Phía Tây giáp huyện Chư Păh.



Hình 1. Bản đồ vị trí cao nguyên Kon Hà Nừng.

Khu dự trữ sinh quyển thế giới cao nguyên Kon Hà Nừng cơ bản bảo tồn nguyên vẹn hệ sinh thái đặc trưng là rừng kín nhiệt đới, á nhiệt đới với cây thường xanh lá rộng, cây lá kim, rừng thường xanh lá kim, thảm cây bụi, trảng cỏ,... có

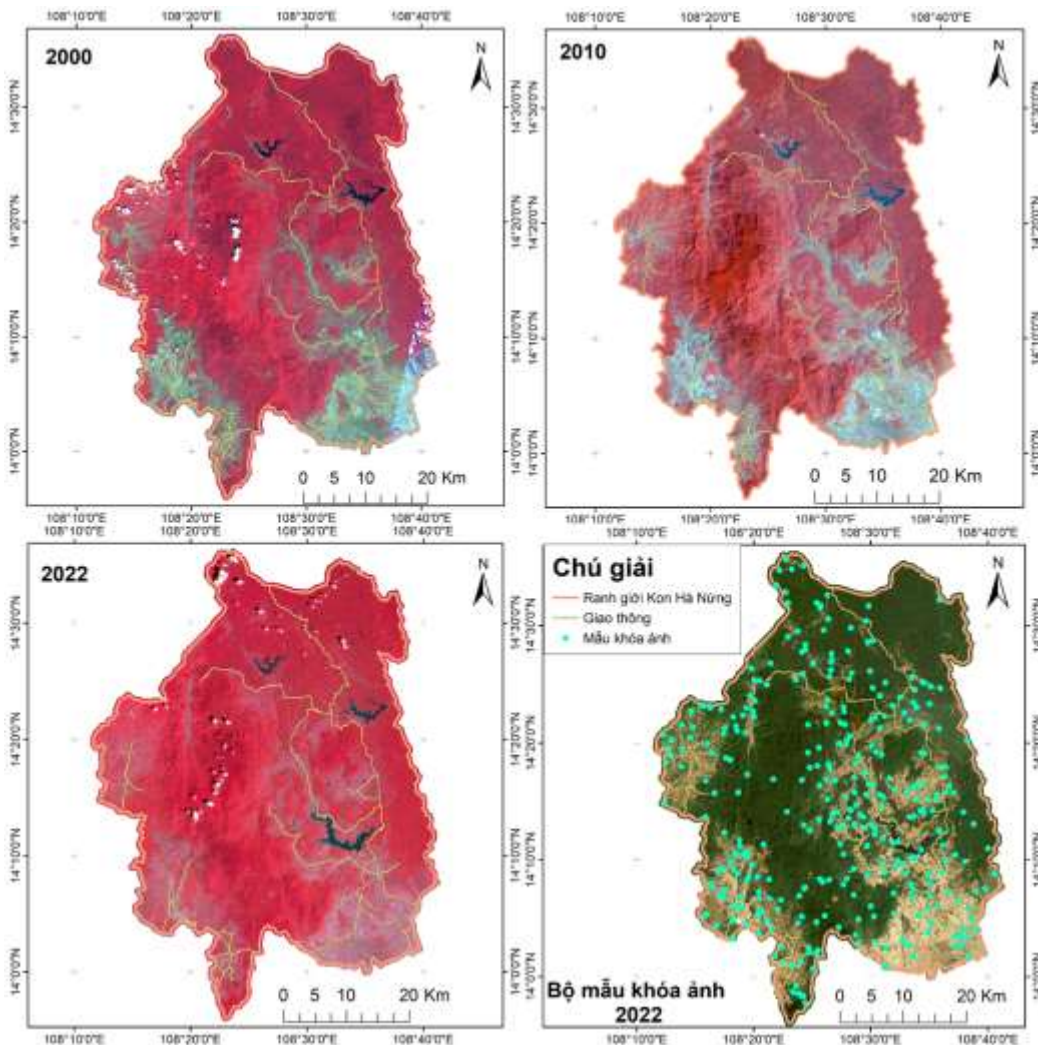
tính đa dạng sinh học cao. Trong đó rừng lá rộng thường xanh chiếm ưu thế. Thêm nữa, Kon Hà Nừng có khí hậu nhiệt đới ẩm chịu ảnh hưởng của vùng khí hậu Tây Nguyên. Nhiệt độ trung bình 22 °C, lượng mưa dao động từ 1.500 mm

đến 2.800 mm. Khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng có mùa khô không kéo dài như nhiều khu vực khác tại Tây Nguyên, địa hình phức tạp do đó không xuất hiện rừng khộp hay còn gọi là rừng thưa cây lá rộng rụng lá vào mùa khô [9].

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu ảnh vệ tinh SPOT-4 năm 2000, 2010 và Sentinel-2 năm 2022 được sử dụng trong nghiên cứu để thành lập bản đồ biến động hiện trạng rừng khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng, tỉnh Gia Lai giai đoạn 2000 - 2010 và 2010 - 2022 (Hình 2). Dữ liệu ảnh viễn thám được lựa

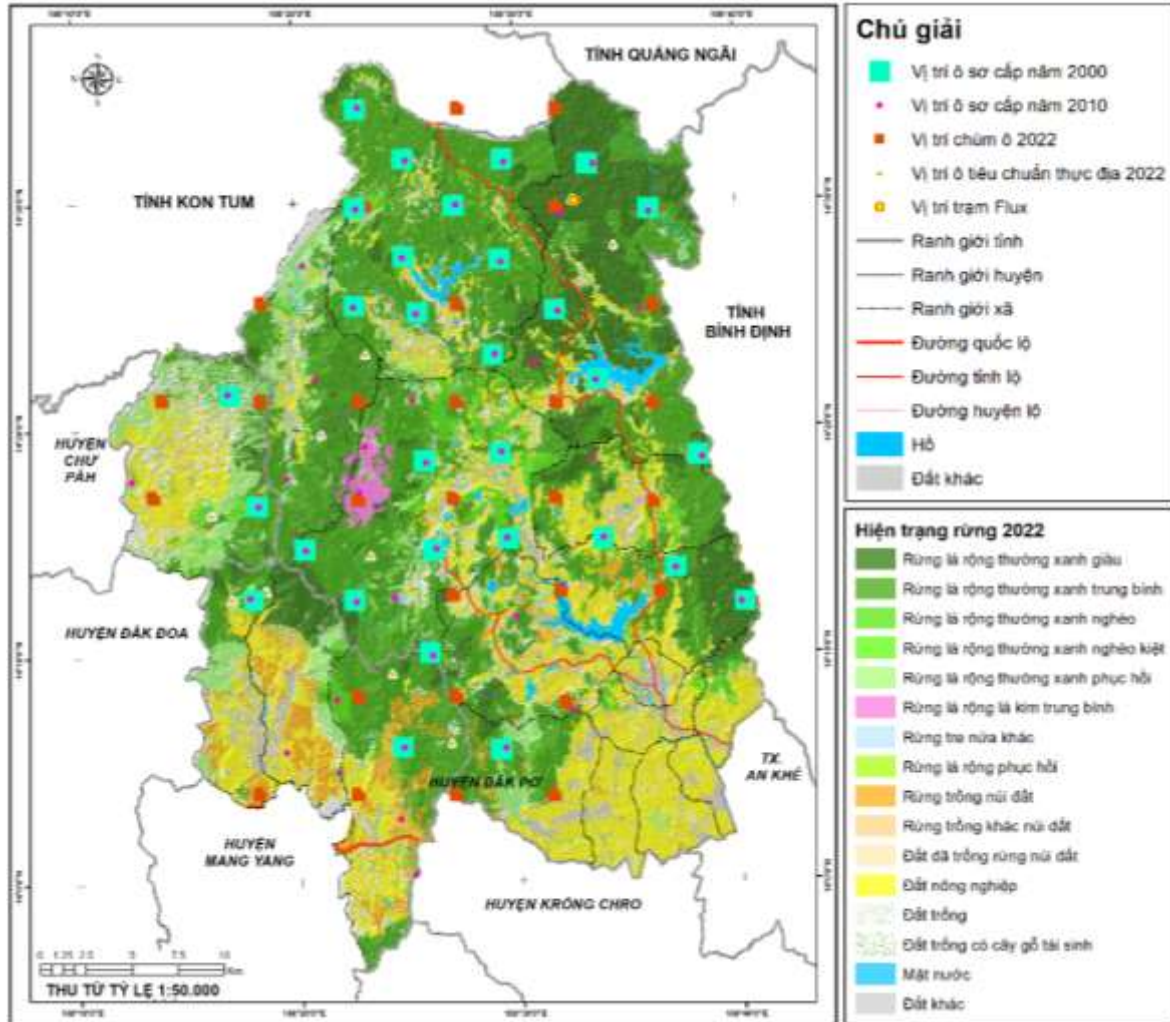
chọn ở những thời điểm tương đồng nhau và trong thời kỳ mùa khô (tháng 2) để đảm bảo hạn chế những ảnh hưởng xấu bởi mây và các điều kiện thời tiết. Vệ tinh Sentinel-2 đến 2015 được đưa vào quỹ đạo do đó thời điểm 2000 và 2010 sử dụng ảnh SPOT-4 có độ phân giải kênh đa phổ 20 m và kênh toàn sắc 10 m. Đối với ảnh SPOT-4, Sentinel 2 được thu thập cho khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng trong vòng 01 năm tính từ thời điểm tiến hành xây dựng bản đồ hiện trạng rừng. Ví dụ với năm 2000 sẽ bắt đầu thu thập từ 01/01/2000 đến ngày 31/12/2000. Các ảnh độ che phủ mây dưới 20% sẽ được thu thập, đưa vào xử lý.



Hình 2. Ảnh vệ tinh đa thời gian và vị trí bộ mẫu khóa ảnh.

khoảng cách giữa tâm của 2 ô mẫu liền kề nhau là 150 m. Các chỉ tiêu đo đếm trong ô tiêu chuẩn thuộc hệ thống ô sơ cấp và chòm ô được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm: Đường kính các

cây gỗ tại vị trí chiều cao ngang ngực (1,3 m), tên cây gỗ, phẩm chất cây, chiều cao vút ngọn và dưới cành 03 cây gần tâm ô nhất.



Hình 4. Bản đồ vị trí ô sơ cấp và chòm ô sử dụng trong nghiên cứu.

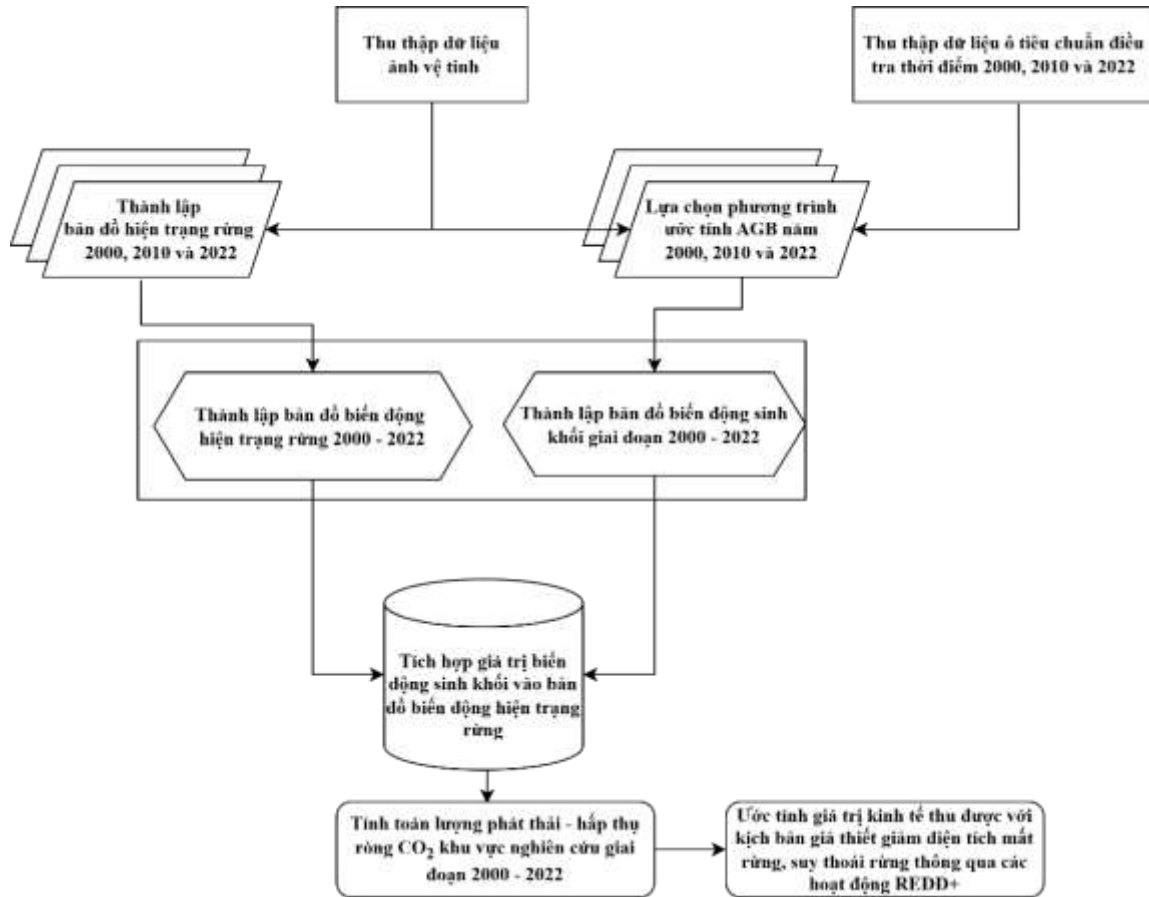
2.3. Sơ đồ phương pháp nghiên cứu

Tích hợp giá trị sinh khối trên mặt đất và biến động hiện trạng rừng với sự hỗ trợ của hệ thống thông tin địa lý (GIS) cho phép tạo ra góc nhìn tổng quan về phân bố không gian AGB và trữ lượng các-bon trong các hệ sinh thái rừng khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng. Hơn nữa, việc lựa chọn mô hình hồi quy ước tính sinh khối từ ảnh viễn thám miễn phí và dữ liệu ô tiêu chuẩn

sẵn có mở ra hướng đi theo hướng tiết kiệm chi phí, tận dụng dữ liệu sẵn có trong việc xác định giá trị kinh tế có thể thu được khi thực hiện triển khai các hoạt động REDD+ tại địa phương. Chi phí được tính toán từ kịch bản giảm phát thải trở thành thông tin tham khảo cho các địa phương khi phân bổ kinh phí hàng năm cho các dự án trồng mới, cải tạo chất lượng rừng, hạn chế sử dụng tiền từ ngân sách quốc gia.

Với mục tiêu như vậy sơ đồ phương pháp xác định biến động hiện trạng, sinh khối rừng và ước

tính giá trị kinh tế từ giảm phát thải CO₂ đã được xây dựng theo sơ đồ tại Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ phương pháp nghiên cứu.

Sơ đồ phương pháp gồm hai phần chính: xây dựng dữ liệu đầu vào bao gồm dữ liệu bản đồ biến động hiện trạng rừng và xây dựng bản đồ sinh khối các năm 2000, 2010 và 2022 từ ảnh SPOT-4 và Sentinel-2 căn cứ trên các ô tiêu chuẩn điều tra mặt đất.

Bản đồ biến động hiện trạng rừng được phân chia thành 4 nhóm biến động chính: Mất rừng, suy thoái rừng, mở rộng diện tích rừng và tăng cường chất lượng rừng. Bản đồ biến động đã được phân loại biến động sẽ sử dụng tích hợp với bản đồ biến động sinh khối nhằm mục đích đánh giá biến động theo loại hình biến động hiện trạng rừng từ đó xác định lượng phát thải - hấp thụ rừng CO₂ khu vực nghiên cứu giai đoạn 2000 - 2022.

2.3.1. Giải đoán ảnh xây dựng bản đồ biến động hiện trạng rừng

Sử dụng hệ thống phân loại trạng thái rừng và đất lâm nghiệp theo quy định tại Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT ngày 16/11/2018 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn quy định về điều tra, kiểm kê và theo dõi diễn biến rừng. Các trạng thái phân loại bao gồm 3 nhóm: rừng tự nhiên, rừng trồng và đất chưa có rừng. Đối với rừng tự nhiên lá rộng thường xanh phân theo 4 cấp trữ lượng: Rừng giàu, rừng trung bình, rừng nghèo và rừng phục hồi. Ảnh vệ tinh sẽ là dữ liệu đầu vào giải đoán và xây dựng bản đồ hiện trạng rừng. Phương pháp giải đoán ảnh theo hai bước chính: phân mảnh ảnh và phân loại.

i) Phân mảnh ảnh

Nghiên cứu sử dụng thuật toán phân mảnh Multiresolution segmentation. Baatz đã đưa ra và sử dụng thuật toán phân mảnh Multiresolution, là kỹ thuật hợp nhất để nhóm các vùng có giá trị quang phổ theo từng điểm ảnh tương tự và các điểm lân cận thành các đối tượng bằng cách xem xét các tiêu chí đồng nhất của các điểm ảnh hoặc các đối tượng hình ảnh hiện có. Tác giả đã chỉ ra rằng phân mảnh tạo ra các đối tượng bằng cách nhóm các đặc tính quang phổ tương tự trên ảnh [6, 10, 11]. Thuật toán phân mảnh Multiresolution là một kỹ thuật hợp nhất vùng từ dưới lên bắt đầu với các đối tượng 1 pixel với mục đích chia hình ảnh thành các phần có ý nghĩa, có mối tương quan chặt chẽ với các đối tượng hoặc các khu vực trong thế giới thực chứa trong ảnh. Phân mảnh ảnh được sử dụng để xác định vị trí các đối tượng và ranh giới giữa các đối tượng [11]. Nếu độ không đồng nhất giữa các đối tượng vượt quá ngưỡng được xác định bởi tham số tỷ lệ, quá trình đánh giá mức độ phù hợp của các pixel trong một phân mảnh sẽ dừng lại [12]. Sự không đồng nhất về quang phổ hoặc màu sắc được mô tả theo công thức:

$$H = 1 - \frac{S}{S_{\max}} \quad (1)$$

Trong đó H là độ không đồng nhất giữa các đối tượng, S là tổng độ tương đồng giữa các pixel trong một đối tượng, S_{\max} là mức độ tương đồng tối đa có thể đạt được.

Cụ thể hơn, độ tương đồng S được tính theo công thức [13]:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} \cdot d(p_i, p_j) \quad (2)$$

Trong đó $d(p_i, p_j)$ là hàm khoảng cách giữa các pixel từ i đến j, W_{ij} là trọng số áp dụng cho các pixel.

Phần mềm eCognition được sử dụng để phân mảnh và phân loại ảnh thành lập bản đồ hiện trạng rừng tại khu vực nghiên cứu. Những thông số chính sử dụng chạy phân mảnh ảnh hưởng đối tượng (Object-based) bao gồm: Scale parameter, Shape, Compactnes. Các thông số này thay đổi theo loại ảnh sử dụng, tỷ lệ bản đồ thành quả, mức độ chi tiết của hệ thống phân loại hiện trạng

rừng. Trong đó Scale Parameter là tham số quy mô, xác định kích thước của các đối tượng mà bạn muốn phân mảnh trong hình ảnh. Quy mô này ảnh hưởng đến mức độ chi tiết của các đối tượng được phân mảnh; nếu chỉ số này cao, các đối tượng sẽ lớn hơn và số lượng phân mảnh sẽ ít lại. Ngược lại, nếu giá trị nhỏ, số lượng phân mảnh sẽ tăng lên, tạo ra nhiều đối tượng nhỏ hơn. Shape là tham số hình dạng điều chỉnh mức độ ảnh hưởng của hình dạng đối với việc phân mảnh. Nếu tham số hình dạng cao, các đối tượng sẽ được phân tích theo hình dạng của chúng, dẫn đến các đối tượng hình dạng không đều, vì hình dạng sẽ được xem xét nhiều hơn. Giá trị thấp hơn sẽ tạo ra các đối tượng có hình dạng gần giống nhau, thường là hình chữ nhật hoặc hình vuông. Compactness hay còn gọi tham số tính chặt chẽ quyết định mức độ chặt chẽ của các đối tượng được phân mảnh. Nếu giá trị này cao, các đối tượng sẽ được phân mảnh theo cách làm cho chúng gần gũi hơn về mặt hình học, giúp tạo ra các đối tượng có hình dạng gọn gàng và gần nhau. Ngược lại, nếu tham số này thấp, các đối tượng sẽ có thể trở nên phức tạp và nở rộng hơn. Nguyên tắc chung để xác định các thông số Scale parameter, Shape, Compactness như sau: Giữ nguyên giá trị của hai biến, thay đổi giá trị của một biến để tìm giá trị phù hợp cho biến đó. Thay đổi giá trị của một biến khác cho đến khi tìm được giá trị phù hợp. Cuối cùng là thay đổi giá trị của biến còn lại.

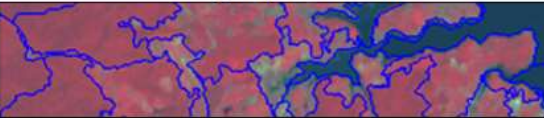
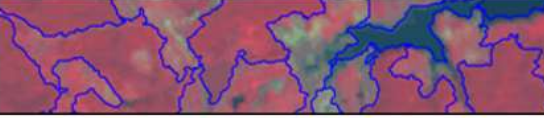

Kết quả thử nghiệm nhiều lần cho thấy tham số tối ưu với scale parameter: 100; shape: 0,3 và compactness: 0,5 phù hợp với ảnh SPOT-4, Sentinel-2 để xây dựng bản đồ hiện trạng rừng ở tỷ lệ 1:50.000 với lô rừng tối thiểu 0,3 ha. Tính phù hợp được đánh giá trực quan qua bản đồ kết quả phân mảnh khi chạy với bộ thông số trên, ranh giới phân định các lô rừng không bị chồng lấn giữa các trạng thái trên ảnh vệ tinh và ít tạo ra các lô rừng nhỏ gây tổn hao tài nguyên phần cứng máy tính khi chạy chồng xếp, phân tích số liệu từ bản đồ.

ii) Phân loại theo phương pháp rừng ngẫu nhiên (Random Forest)

Theo Genuer, phương pháp phân loại sau khi phân mảnh ảnh thực hiện bởi phần mềm

eCognition thông qua phương pháp rừng ngẫu nhiên (Random forest - RF) là một kỹ thuật được phát triển và công bố năm 2020. Phương pháp phân loại rừng ngẫu nhiên sử dụng thuật toán toán học máy để phân loại, hồi quy và các nhiệm

vụ khác, hoạt động bằng cách xây dựng nhiều cây quyết định trong thời gian đào tạo và đưa ra các lớp phương thức phân loại hoặc dự đoán trung bình (hồi quy) của từng cây [14].

Tên tham số	Giá trị	Kết quả phân mảnh
Tham số quy mô	100	
Tham số hình dạng	0,25	
Tham số tính chặt chẽ	0,45	
Tham số quy mô	80	
Tham số hình dạng	0,25	
Tham số tính chặt chẽ	0,45	
Tham số quy mô	30	
Tham số hình dạng	0,25	
Tham số tính chặt chẽ	0,45	

Hình 6. Ví dụ tìm giá trị tối ưu cho tham số phân mảnh đối với ảnh SPOT-4 năm 2010.

2.3.2. Mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất

Phương pháp hồi quy tuyến tính là một cách tiếp cận được sử dụng để ước tính sinh khối cây từ các ô đo đếm trữ lượng trên mặt đất và dữ liệu ảnh viễn thám. Trong quá trình này, ô đo đếm trữ lượng mặt đất tại các khu vực được chọn ngẫu nhiên trong rừng để xác định mật độ và trữ lượng chủ yếu của cây.

- Xác định sinh khối tại điểm ô tiêu chuẩn

Nghiên cứu sử dụng phương trình của nhóm tác giả Bảo Huy năm 2016 khi nghiên cứu xây dựng phương trình thực nghiệm xác định sinh khối cho khu vực Tây Nguyên [15].

$$AGB = 304,1668(D^2H^{0.7})^{0,95102} \quad (3)$$

Trong đó AGB là trữ lượng sinh khối trên mặt đất, D là đường kính cây đo tại 1,3 m và H là chiều cao cây được đo đếm trong ô tiêu chuẩn.

- Xác định phương trình ước tính sinh khối trên mặt đất cho các kiểu rừng và kiểm chứng

Dựa trên bản đồ hiện trạng rừng được thành lập từ tư liệu ảnh viễn thám cùng với dữ liệu sinh khối 80 ô tiêu chuẩn điều tra rừng năm 2010 và 120 ô tiêu chuẩn điều tra rừng năm 2022, tiến hành lựa chọn phương trình ước tính sinh khối trên mặt đất cho khu vực nghiên cứu. Tiếp theo,

thực hiện kiểm chứng, đánh giá độ chính xác các phương trình. Dữ liệu kiểm chứng bao gồm 19 ô tiêu chuẩn năm 2010 và 44 ô tiêu chuẩn năm 2022 đã được tách riêng và không dùng trong ước tính và xây dựng bản đồ sinh khối.

Trên cơ sở sinh khối được xác định tại các ô tiêu chuẩn và các chỉ số thực vật được tính toán từ ảnh viễn thám quy về vị trí ô tiêu chuẩn, việc xây dựng các mô hình ước tính sinh khối cho toàn khu vực nghiên cứu có thể biểu diễn ở dạng tổng quát dưới dạng hàm $AGB=f(VI, LR)$. Trong đó AGB, VI, LR tương ứng là trữ lượng sinh khối trên mặt đất, chỉ số thực vật và kiểu loại rừng tại từng điểm ô tiêu chuẩn. Phương trình hồi quy tuyến tính bao gồm các giá trị chỉ số thực vật VI, hiện trạng phân loại trữ lượng rừng là biến độc lập và AGB là biến phụ thuộc do đó phương trình tuyến tính ban đầu có dạng: $y = ax + b$. Thực tế khảo sát số liệu sinh khối các ô tiêu chuẩn, giá trị AGB có quy mô bậc đại lượng 4 trong khi giá trị VI, LR quy mô bậc 0 hoặc 1. Chỉ số thực vật VI được sử dụng là NDVI và trọng số gắn với các loại rừng LR được quy đổi theo cấp trữ lượng, cụ thể như sau: Rừng giàu gán giá trị 4, rừng trung bình gán giá trị 3, rừng nghèo

gán giá trị 2, và rừng phục hồi gán giá trị 1. Do vậy để đảm bảo nguyên tắc thống kê, tránh sai số trong quá trình ước lượng, tính toán, các dạng thức hàm logarit được ưu tiên sử dụng để làm giảm quy mô bậc của biến nhân tố và yếu tố được xét đến. Với cách tiếp cận này, nghiên cứu này đã thực nghiệm khảo sát 4 mô hình cho kết quả như Bảng 1, 2.

Kiểm chứng đánh giá độ chính xác mô hình thông qua hệ số xác định R^2 và sai số bình phương trung bình (RMSE - Root mean square Error).

Hệ số xác định R^2 được tính theo công thức:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum e^2}{\sum y^2} \quad (4)$$

Trong đó, e là sai số dự đoán (giữa giá trị dự đoán và giá trị thực tế); y là hiệu giữa giá trị thực tế và giá trị trung bình của biến phụ thuộc.

Nếu $R = 1$, mối liên hệ của x và y được xác định; có nghĩa là cho bất cứ giá trị nào của x, chúng ta có thể xác định được giá trị của y. Nếu

$R = 0$, hai biến x và y hoàn toàn độc lập, không có liên hệ với nhau. Giá trị R^2 được phân loại như sau: $0,1 \leq R^2 < 0,3$ cho biết mối tương quan yếu, $0,3 \leq R^2 < 0,5$ cho biết mối tương quan trung bình, $0,5 \leq R^2$ cho biết mối tương quan mạnh [16].

Kết hợp sử dụng sai số RMSE đánh giá chất lượng và số lượng của trữ lượng sinh khối trên mặt đất (tức là AGB thu được từ phân tích hồi quy tuyến tính) bằng cách so sánh chúng với trữ lượng sinh khối đo được ngoài thực địa. Giá trị RMSE càng thấp thì độ chính xác càng cao. Sai số RMSE giữa giá trị mô hình và giá trị đo thực tế tại ô tiêu chuẩn cũng được nghiên cứu sử dụng. Sai số này được tính toán theo công thức sau:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (5)$$

Trong đó y là hiệu giữa giá trị thực tế và giá trị trung bình của biến phụ thuộc; n là số lượng mẫu; y_i là giá trị thực tế và \hat{y}_i là giá trị dự đoán.

Bảng 1. Kết quả xây dựng các mô hình ước tính sinh khối rừng khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng cho dữ liệu ảnh SPOT-4 (2010)

STT	Mô hình	R^2	RMSE (Mg/ha)
Log – Log	$\text{Log}_{10}(\text{AGB})=0,43*\text{log}_{10}(\text{NDVI})+0,17*\text{LR}+2,41$ (6)	0,53	20,38
Log – Lin	$\text{Log}_{10}(\text{AGB})=0,40 * \text{NDVI}+0,17* \text{LR} - 2,07$ (7)	0,52	20,66
Lin – Log	$\text{AGB}=454,59*\text{log}_{10}(\text{NDVI})+25,746* \text{LR} +14,738$ (8)	0,72	22,87
Lin - Lin	$\text{AGB}=360,05*\text{NDVI}+25,888* \text{LR} -17,793$ (9)	0,71	23,11

Bảng 2. Kết quả xây dựng các mô hình ước tính sinh khối rừng khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng cho dữ liệu ảnh Sentinel-2 (2022)

STT	Mô hình	R^2	RMSE (Mg/ha)
Log – Log	$\text{Log}_{10}(\text{AGB})=0,78*\text{log}_{10}(\text{NDVI})+0,22*\text{LR}+2,17$ (10)	0,732	19,51
Log – Lin	$\text{Log}_{10}(\text{AGB})=0,44 * \text{NDVI}+0,22* \text{LR} +1,74$ (11)	0,759	19,50
Lin – Log	$\text{AGB}=2.241,06*\text{log}_{10}(\text{NDVI})+53,999* \text{LR} - 92,107$ (12)	0,727	20,64
Lin - Lin	$\text{AGB}=1.267,49*\text{NDVI}+54,011* \text{LR} - 215,469$ (13)	0,728	20,62

Kết quả nhóm nghiên cứu sử dụng công thức (8) chạy mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất khu vực nghiên cứu năm 2000, 2010 dựa trên ảnh SPOT-4 và công thức (11) chạy mô hình ước tính sinh khối trên mặt đất khu vực nghiên cứu năm 2022 sử dụng ảnh Sentinel-2.

Từ số liệu điều tra trong hệ thống ô mẫu, các mô hình sinh khối được sử dụng để ước tính sinh

khối, từ đó tính ra trữ lượng các-bon và CO_2 tương đương cho từng ô mẫu, sau đó ước tính cho lâm phần. Trong nghiên cứu này, trữ lượng các-bon và CO_2 tương đương cây rừng hấp thụ dự kiến được tính toán thông qua hệ số chuyển đổi sau [17]:

$$\text{Trữ lượng các-bon: } C = 0,47 \times \text{AGB} \quad (14)$$

$$\text{CO}_2 \text{ tương đương} = 3,67 \times C \quad (15)$$

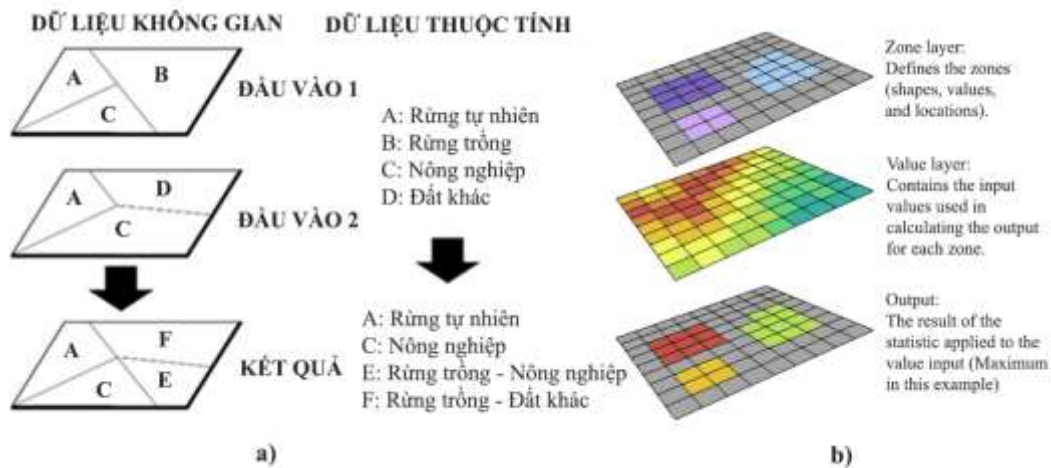
2.3.3. Phương pháp thành lập bản đồ biến động hiện trạng và sinh khối rừng

Thành lập bản đồ biến động hiện trạng rừng cho hai giai đoạn 2000 - 2010 và 2010 - 2022 tại khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng thông qua phương pháp chồng xếp. Sử dụng bản đồ hiện trạng rừng được thành lập cho từng năm 2000, 2010 và 2022, thực hiện chồng xếp hai lớp bản đồ theo giai đoạn tương ứng với thuật toán Intersect trên phần mềm ArcGIS. Phương pháp chồng xếp được mô tả như trong Hình 7.

Sử dụng các mã số để thể hiện sự biến động tương ứng như mất rừng, suy thoái rừng, mở

rộng diện tích rừng, tăng cường chất lượng rừng và không biến động.

Đối với bản đồ sinh khối chuyển sang bản đồ trữ lượng các-bon, CO₂ tương đương thông qua hệ số chuyển đổi và thực hiện phép trừ raster với thứ tự bản đồ năm sau trừ bản đồ năm trước. Bước tiếp theo đưa thông tin giá trị biến động trữ lượng các-bon giai đoạn 2000 - 2010 và 2010 - 2022 vào từng lô rừng trong bản đồ biến động hiện trạng rừng giai đoạn tương ứng. Sử dụng tính năng thống kê khu vực (Zonal Statistics) trong phần mềm Qgis gán giá trị trữ lượng các-bon từ bản đồ raster sang các lô rừng biến động dạng vector.



Hình 7. Mô tả thành lập bản đồ biến động hiện trạng rừng (a) và tính năng thống kê khu vực trong Qgis(b).

2.3.4. Phương pháp xây dựng kịch bản phát thải khu vực nghiên cứu

Xây dựng kịch bản theo các bước sau:

Bước 1: phân tích bảng ma trận biến động rừng cho hai giai đoạn 2000 - 2010 và 2010 - 2022.

Bước 2: xác định hệ số phát thải và hấp thụ CO₂ của cao nguyên Kon Hà Nừng cho giai đoạn 2000 - 2022, dựa trên hệ số phát thải tham chiếu trong Báo cáo FREL/FRL quốc gia 2015.

Bước 3: tính toán lượng phát thải và hấp thụ CO₂ khu vực nghiên cứu trong từng giai đoạn.

Bước 4: xây dựng kịch bản phát thải và hấp thụ CO₂ cho giai đoạn 2022 - 2030.

Hiện tại, Chính phủ Việt Nam chưa thiết lập quy trình chính thức để định hình mức phát thải

tham chiếu. Một số đề xuất đã được đưa ra cho mức phát thải và cấp chứng chỉ, nhưng chưa thống nhất phương án. Mỗi quốc gia thực hiện REDD+ cần phát triển các phương pháp phù hợp với điều kiện riêng.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Biến động sinh khối rừng theo phân loại biến động hiện trạng rừng

Kết quả thống kê biến động sinh khối theo các khu vực được phân loại hình biến động rừng tự nhiên bao gồm: Mất rừng, suy thoái rừng, mở rộng diện tích rừng, tăng cường chất lượng rừng.

Cụ thể kết quả như Bảng 3, 4.

Tổng kết giai đoạn 2000 - 2022, diện tích mất rừng tại khu vực nghiên cứu đạt mức 56.159,9 ha, tổng diện tích suy thoái rừng 17.206,4 ha, tổng diện tích rừng tự nhiên tăng 5.603,3 ha, diện tích rừng tự nhiên tăng cường chất lượng rừng 19.207,3. Như vậy, tổng diện tích mất rừng và

suy thoái rừng cao nguyên Kon Hà Nừng lớn hơn tổng diện tích rừng tự nhiên phục hồi và tăng cường chất lượng rừng.

Từ số liệu biến động rừng tự nhiên, số liệu tổng hợp về lượng phát thải – hấp thụ CO₂ cao nguyên Kon Hà Nừng giai đoạn 2000 – 2022 được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 3. Biến động rừng tự nhiên

TT	Hạng mục	Diện tích biến động giai đoạn 2000 - 2010 (Ha)	Diện tích biến động giai đoạn 2010 - 2022 (Ha)	Tổng giai đoạn 2000 - 2022 (Ha)	Bình quân năm 2000 - 2022 (Ha)
I	Mất rừng	28.560,1	27.599,8	56.159,9	2.552,7
1	TXG	1.587,9	10.522,0	12.109,9	550,5
2	TXB	14.468,7	13.038,6	27.507,3	1.250,3
3	TXN	5.645,4	3.596,5	9.241,9	420,1
4	TXP	6.858,1	442,7	7.300,8	331,9
II	Suy thoái rừng	15.024,2	2.182,3	17.206,4	782,1
1	TXG-TXB	8.469,0	375,5	8.844,5	402,0
2	TXG-TXN	172,9	0,3	173,2	7,9
3	TXG-TXP	419,2	2,9	422,1	19,2
4	TXB-TXN	1.781,0	4,3	1.785,4	81,2
5	TXB-TXP	2.894,8	1.796,6	4.691,5	213,2
6	TXN-TXP	1.287,3	2,6	1.289,8	58,6
III	Mở rộng diện tích rừng	5.407,6	195,7	5.603,3	254,7
1	TXG	253,5	9,8	263,2	12,0
2	TXB	2.817,1	112,7	2.929,7	133,2
3	TXN	803,8	19,5	823,3	37,4
4	TXP	1.533,2	53,8	1.587,0	72,1
IV	Tăng cường chất lượng rừng	19.141,2	66,2	19.207,3	873,1
1	TXB-TXG	7.401,1	6,8	7.407,9	336,7
2	TXN-TXG	651,9	0,2	652,1	29,6
3	TXN-TXB	4.302,6	3,3	4.305,8	195,7
4	TXP-TXG	796,8	0,6	797,4	36,2
5	TXP-TXB	5.373,9	12,5	5.386,5	244,8
6	TXP-TXN	614,9	42,7	657,6	29,9

Ghi chú: TXG - Rừng giàu; TXB - Rừng trung bình; TXN - Rừng nghèo; TXP - Rừng phục hồi.

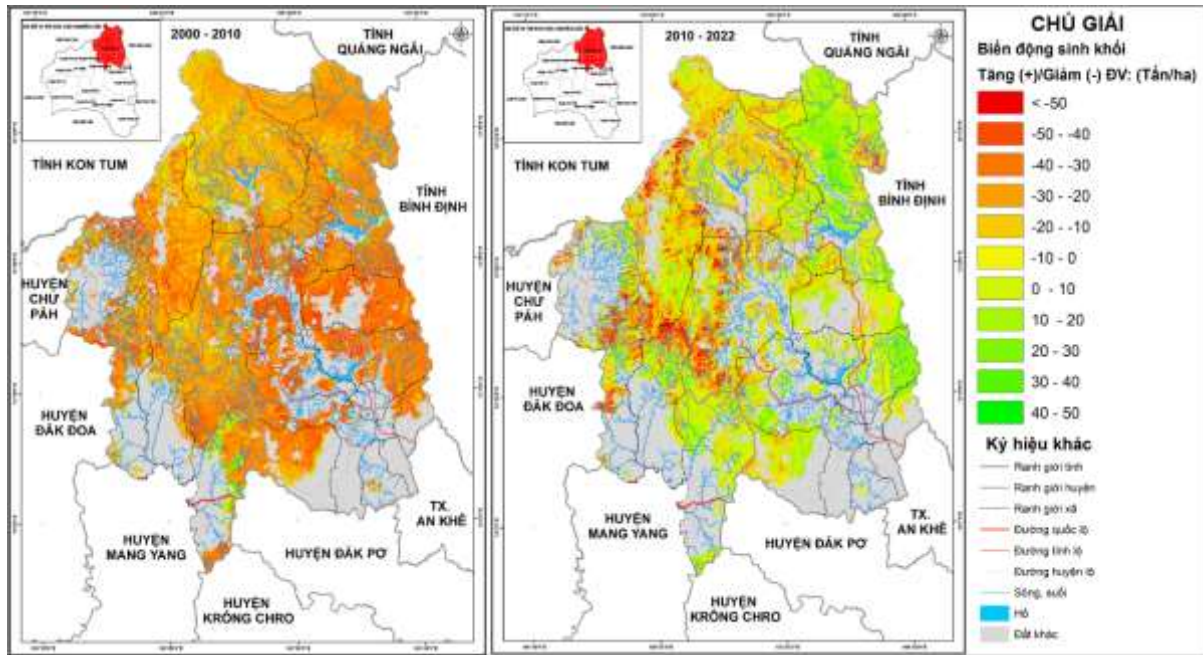
Bảng 4. Lượng phát thải – hấp thụ CO₂ cao nguyên Kon Hà Nừng giai đoạn 2000 – 2022 (Đơn vị: Tấn)

Hạng mục	CO ₂ hấp thụ/phát thải giai đoạn 2000 - 2010	CO ₂ hấp thụ/phát thải giai đoạn 2010 - 2022	Bình quân năm 2000 - 2022
Mất rừng	4.916.380	7.842.813	579.963
Suy thoái rừng	1.304.778	430.544	78.878
Mở rộng diện tích rừng	-1.106.484	-700.650	-82.142
Tăng cường chất lượng rừng	-3.221.733	-4.460.000	-349.170
Ròng	1.892.941	3.112.707	227.529

Ghi chú: dấu (-) hấp thụ, dấu (+) phát thải.

Căn cứ theo cách tính theo đường tham chiếu RL của FCPF: 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. Điều này cho thấy trong giai đoạn nghiên cứu tài nguyên rừng Kon Hà Nừng đang tạo ra sự phát thải CO₂ lớn hơn lượng rừng có thể hấp thụ được. Vị trí biến động sinh khối theo các giai đoạn được thể hiện trên bản đồ biến động sinh khối (Hình 8).



Hình 8. Bản đồ biến động sinh khối giai đoạn 2000 – 2010 và 2010 – 2022.

Căn cứ kết quả phỏng vấn tại Chi cục kiểm lâm Gia lai, Ban quản lý Vườn quốc gia Kon Ka Kinh và Khu dự trữ thiên nhiên Kon Chư Răng, có thể nhận định sơ bộ nguyên nhân dẫn đến mất rừng và suy thoái rừng ở cao nguyên Kon Hà Nừng đều chịu sự chi phối của các yếu tố kinh tế - xã hội. Biến động hiện trạng rừng tại cao nguyên Kon Hà Nừng có mối quan hệ chặt chẽ với sự phát triển kinh tế - xã hội và điều kiện tự nhiên. Sự phát triển kinh tế - xã hội mang lại nhiều lợi ích như nâng cao đời sống người dân, phát triển hạ tầng, nhưng cũng tạo áp lực lớn lên tài nguyên rừng. Phát triển nông nghiệp: Nhu cầu mở rộng diện tích canh tác để trồng các loại cây có giá trị kinh tế cao dẫn đến việc chuyển đổi mục đích sử dụng đất rừng. Di cư và dân số: Gia tăng dân số và di cư tự do làm tăng nhu cầu về đất ở và đất sản xuất, dẫn đến xâm lấn rừng. Lợi

nhuận kinh tế trước mắt: người dân phá rừng để trồng cây nông sản có giá trị cao hoặc buôn bán đất, ít quan tâm đến hậu quả dài hạn về môi trường. Trước năm 2013, việc khai thác gỗ từ rừng tự nhiên vẫn được nhà nước cấp phép. Tuy nhiên, việc thực hiện các kỹ thuật khai thác theo quy trình còn hạn chế, dẫn đến ảnh hưởng rất lớn đến tính đa dạng sinh học của khu rừng. Khai thác không bền vững gây ra suy thoái rừng, làm mất đi các loài cây quý hiếm, phá vỡ cấu trúc và chức năng của hệ sinh thái. Hậu quả là rừng mất khả năng cung cấp các dịch vụ môi trường quan trọng như điều tiết nước, bảo vệ đất đai và lưu trữ các-bon. Quản lý và chính sách: thiếu kinh phí và chính sách hợp lý trong việc bảo vệ và phát triển rừng, quản lý rừng chưa hiệu quả, dẫn đến suy thoái rừng. Điều kiện tự nhiên như địa hình, khí hậu cũng ảnh hưởng đến khả năng phục

hồi rừng và hiệu quả của các biện pháp bảo vệ. Khu vực Kon Hà Nừng có địa hình phức tạp, khí hậu khắc nghiệt, làm cho việc quản lý và bảo vệ rừng gặp nhiều khó khăn hơn.

Trước những khó khăn hiện tại, khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng cần có các giải pháp phù hợp để cân bằng giữa bảo tồn rừng và phát triển sinh kế cho cộng đồng địa phương. Đề xuất các giải pháp khả thi cho mục tiêu này, cần xác định rõ mức độ các yếu tố kinh tế - xã hội ảnh hưởng đến mất rừng và suy thoái rừng, từ đó xây

dựng chính sách phù hợp và triển khai hiệu quả trong thực tế.

3.2. Kịch bản phát thải CO₂ tại cao nguyên Kon Hà Nừng đến năm 2030

Từ dữ liệu biến động hiện trạng 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 giai đoạn như trong Bảng 5.

Bảng 5. Tỷ lệ biến động rừng theo diện tích

Nội dung	2000 - 2010	2010 - 2022	Bình quân 2000 - 2022
Tổng diện tích tự nhiên khu vực nghiên cứu	242.000	242.000	242.000
Mất rừng	28.560,1	11.599,8	25.879,85
- Tỷ lệ mất rừng hàng năm (ha)	2.856,0	1.160,0	2.008,0
- Tỷ lệ mất rừng hàng năm (%)	1,9	2,3	2,1
Suy thoái rừng	15.024,2	2.182,3	8.603,2
- Tỷ lệ suy thoái rừng hàng năm (ha)	1.502,4	218,2	860,3
- Tỷ lệ suy thoái rừng hàng năm (%)	1,0	0,2	0,6
Mở rộng diện tích rừng	9.407,6	17.243,7	13.325,6
- Tỷ lệ mở rộng diện tích rừng bình quân/năm (ha)	940,8	1.724,4	1.332,6
- Tỷ lệ mở rộng diện tích rừng bình quân/năm (%)	3,6	0,2	1,9
Tăng cường chất lượng rừng	19.141,2	8.688,1	13.914,7
- Tỷ lệ tăng cường chất lượng rừng bình quân/năm (ha)	1.914,1	868,8	1.825,9
- Tỷ lệ tăng cường chất lượng rừng bình quân/năm (%)	12,8	0,1	6,4

Từ dữ liệu bảng trên, nghiên cứu đã xác định diện tích rừng tự nhiên trong giai đoạn 2022 - 2030 theo ba kịch bản đề xuất, nhằm giảm tỷ lệ mất rừng so với giai đoạn 2000 - 2022. Ba kịch bản được xây dựng dựa trên phân tích các yếu tố

kinh tế - xã hội, môi trường và chính sách quản lý rừng, với mục tiêu đề xuất các biện pháp hiệu quả để bảo vệ và phát triển rừng bền vững. Cụ thể như sau:

Bảng 6. Diện tích rừng tự nhiên đến 2030 theo kịch bản giảm tỷ lệ mất rừng

TT	Trạng thái	Diện tích rừng tự nhiên năm 2022 (ha)	Tỷ lệ diện tích rừng tự nhiên bị mất giai đoạn 2000 - 2022 (%/năm)	Diện tích rừng tự nhiên đến 2030 theo kịch bản giảm tỷ lệ mất rừng so với giai đoạn 2000 - 2022 (ha)		
				30%	50%	80%
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Rừng giàu	23.228,1	2,1	20.496,5	21.277,0	22.447,7
2	Rừng trung bình	75.623,8		66.730,4	69.271,4	73.082,9
3	Rừng nghèo	6.078,7		5.363,8	5.568,1	5.874,4
4	Rừng phục hồi	16.912,9		14.923,9	15.492,2	16.344,6
	Tổng	121.843,5		107.514,7	111.608,7	117.749,6

Ghi chú: (5) hoặc (6) hoặc (7) = (3)-[(3)*(4)*(100% - 30% hoặc 50% hoặc 80%)*8 năm].

Các kịch bản trên được xây dựng theo phương pháp tiếp cận mở, nghĩa là chúng hoàn toàn phụ thuộc vào năng lực và khả năng thực hiện hiệu quả các hoạt động của dự án REDD+ tại địa phương. Với quan điểm này, nghiên cứu đã thiết lập các kịch bản với các tham số linh hoạt và điều chỉnh, cho phép các nhà hoạch định chính sách dựa trên tình hình thực tế để xác định mục tiêu cần phấn đấu. Phương pháp tiếp cận mở không chỉ tạo điều kiện thích ứng với biến đổi về kinh tế, xã hội và môi trường, mà còn khuyến khích sự tham gia chủ động của cộng đồng địa phương trong quá trình thực hiện dự án REDD+. Việc xây dựng các kịch bản dựa trên sự hiểu biết sâu sắc về khả năng thực tiễn và nguồn lực sẵn

có, từ đó đảm bảo tính khả thi và hiệu quả khi triển khai các hoạt động REDD+. Các kịch bản đề xuất cung cấp một khung tham chiếu linh hoạt, giúp các nhà ra quyết định xác định mục tiêu cụ thể và có thể đo lường, đồng thời tạo điều kiện cho việc giám sát và đánh giá kết quả một cách chính xác. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh cần tối ưu hóa việc giảm phát thải và tăng cường hấp thụ CO₂, phù hợp với các cam kết quốc gia và quốc tế về biến đổi khí hậu.

Tương ứng với ba kịch bản được đề xuất, nghiên cứu đã xác định được lượng phát thải và hấp thụ CO₂ giai đoạn 2022 - 2030 tại Kon Hà Nừng, như trình bày trong Bảng 7.

Bảng 7. Lượng CO₂ hấp thụ/phát thải theo các kịch bản

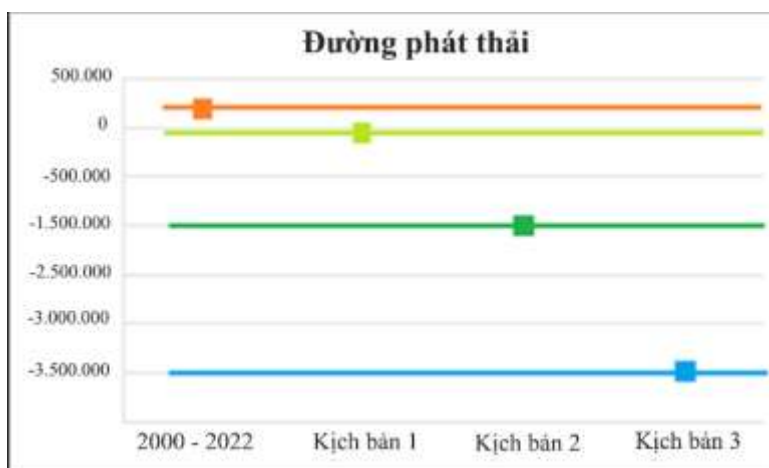
TT	Kịch bản	Lượng CO ₂ phát thải 2022 - 2030	Lượng CO ₂ hấp thụ 2022 - 2030	Ròng 2022 - 2030	Ròng 2000 - 2022	So sánh với ròng 2000 - 2022
1	Kịch bản 1 (30%)	12.449.408	-12.708.910	-259.502	227.529	-31.973
2	Kịch bản 2 (50%)	11.461.578	-13.092.882	-1.631.304	227.529	-1.403.775
3	Kịch bản 3 (80%)	9.979.834	-13.518.786	-3.538.952	227.529	-3.311.423

Ghi chú: dấu (-) hấp thụ, dấu (+) phát thải.

Những kết quả này không chỉ phản ánh tiềm năng giảm thiểu biến đổi khí hậu của khu vực mà còn cung cấp cơ sở khoa học vững chắc cho việc hoạch định chính sách và chiến lược phát triển bền vững. Việc hiểu rõ lượng phát thải và hấp thụ CO₂ theo từng kịch bản giúp địa phương có thể

xây dựng kế hoạch hành động cụ thể, tối ưu hóa nguồn lực và đạt được các mục tiêu môi trường cũng như kinh tế - xã hội một cách hiệu quả.

Kết quả ròng giai đoạn 2022 - 2030 của mỗi kịch bản được minh họa trong Hình 9.



Hình 9. Đường phát thải các kịch bản giảm phát thải trong giai đoạn 2022- 2030.

Với các kết quả tính toán lượng phát thải nêu trên, giá trị ròng giai đoạn 2022 - 2030 khi triển khai các hoạt động triển khai thực hiện REDD+ theo cả 3 kịch bản so với ròng giai đoạn 2000 - 2022 đều xác định lượng phát thải CO₂ (Đường phát thải - theo kịch bản) dưới mức đường phát thải cơ sở. Áp dụng mức giá tạm tính cho mỗi tấn chỉ CO₂ được quy định tại Quyết định số 5399/QĐ-BNN-TCLN ngày 25/12/2015 là 5 đô la mỹ/tấn CO₂, việc xem xét lựa chọn một trong ba kịch bản được đánh giá như sau:

- Kịch bản 1: có thể nhận thấy trong trường hợp thực hiện các biện pháp đem lại hiệu quả giảm được 30% lượng phát thải từ mất và suy thoái rừng, thì lượng CO₂ ròng là -259.502 tấn, mang lại giá trị 1,3 triệu USD (33 tỷ đồng).

- Kịch bản 2: giảm 50% lượng phát thải từ mất rừng và suy thoái rừng sẽ giúp lượng CO₂ ròng còn -1.631.304 tấn, tương đương 8,2 triệu USD (196 tỷ đồng).

- Kịch bản 3: giảm tới 80% lượng phát thải sẽ giúp lượng CO₂ ròng ở mức -3.538.952 tấn, tương đương 17,6 triệu USD (425 tỷ đồng).

Như vậy, dựa trên lượng hấp thụ và phát thải CO₂ trong giai đoạn 2000 - 2022, nghiên cứu đã đề xuất ba kịch bản giúp giảm lượng phát thải xuống dưới mức tham chiếu và có khả năng đạt được lợi ích kinh tế từ việc giảm mất rừng và suy thoái rừng. Các kịch bản này được xây dựng linh hoạt, phụ thuộc vào năng lực và hiệu quả thực hiện các hoạt động REDD+ tại địa phương. Do đó, các tổ chức quản lý nhà nước có thể căn cứ theo tình hình thực tế để xác định mục tiêu cần phấn đấu trong thời gian tới.

4. Thảo luận

Nghiên cứu định lượng về sinh khối rừng ở các khu vực quy mô lớn có ý nghĩa quan trọng trong việc khẳng định vai trò của thảm thực vật rừng đối với chu trình các-bon toàn cầu, cũng như vai trò của hệ sinh thái rừng trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Các phương pháp truyền thống dựa vào đo đạc thực địa cho kết quả chính xác cao, nhưng lại chỉ phù hợp với những khu vực

nhỏ, khó thực hiện trên quy mô rộng lớn. Sự kết hợp giữa viễn thám chủ động và thụ động trong ước tính sinh khối rừng mang lại giải pháp hữu ích để đánh giá trữ lượng các-bon và vai trò của hệ sinh thái rừng trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Nghiên cứu đã so sánh phương pháp ước tính sinh khối hệ sinh thái rừng khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng dựa trên 4 phương trình hồi quy tuyến tính cơ bản. Kết quả xác định được phương trình tối ưu cho các năm 2010 (phương trình Lin - Log với R² = 0,72) và năm 2022 (phương trình Log - Lin, R²=0,759), tương đương với ứng dụng ảnh Landsat-8 trong nghiên cứu tại rừng Zagros (R²=0,73) [18], hay như trong nghiên cứu của Fonseca khi sử dụng Advanced Land Observing Satellite (ALOS) có giá trị R² = 0,71 [19]. Sử dụng phương trình hồi quy tuyến tính cơ bản cho phép xác định tính tương quan giữa dữ liệu ảnh viễn thám và sinh khối thực từ các ô tiêu chuẩn điều tra rừng, tăng cường độ chính xác đối với kết quả ước tính sinh khối mà nhiều nghiên cứu đã sử dụng. Ảnh viễn thám Sentinel-2 (10 m x 10 m) phù hợp cho nghiên cứu sinh khối ở các khu vực có quy mô lớn, đem lại độ chính xác cao. Kết quả sử dụng ảnh Sentinel-2 trong nghiên cứu cho hệ số tương quan của cả 2 năm 2010 và 2022 lần lượt là 0,72 và 0,759, cao hơn so với dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat-8 (30 m x 30 m) khi chỉ đạt 0,59 trước hiệu chỉnh và 0,67 sau hiệu chỉnh [20] hay ứng dụng ảnh Landsat năm 2011 tại Khu bảo tồn Yaoluoping ở tỉnh An Huy, Trung Quốc, R² chỉ đạt 0,61 đối với rừng lá kim và 0,63 đối với rừng lá rộng [21], hay như kết quả sử dụng ảnh Landsat đa thời gian trong giai đoạn từ 1984 đến 2016 tại Canada với R² đạt 0,70 [22]. Ngoài ra, để nâng cao giá trị hệ số R², có thể kết hợp ảnh vệ tinh và dữ liệu radar trong nghiên cứu sinh khối rừng hay kết hợp sử dụng dữ liệu bay chụp từ thiết bị bay không người lái (UAV) [23].

Theo kết quả kịch bản giảm phát thải thông qua giảm diện tích mất rừng và suy thoái rừng, trong 3 kịch bản giảm mất rừng, suy thoái rừng nghiên cứu nhận định giảm 30% diện tích mất rừng, suy thoái rừng tính từ năm 2022 đến 2030 có khả năng dễ thực hiện nhất, kịch bản 2 giảm 50% khó thực hiện và kịch bản 3 giảm 80%

không khả thi. Do đó nhóm tác giả khuyến nghị lựa chọn kịch bản 1 tính toán giá trị thu về từ bán tín chỉ các-bon kết hợp với các nguồn kinh phí dịch vụ môi trường rừng khác tại khu vực nghiên cứu thiết lập cơ sở ước tính thu nhập cho diện tích có rừng tại Kon Hà Nừng.

Theo Quyết định số 75/2015/NĐ-CP ngày 09 tháng 09 năm 2015 của Thủ tướng Chính phủ Việt Nam về cơ chế, chính sách bảo vệ và phát triển rừng, gắn với chính sách giảm nghèo nhanh, bền vững và hỗ trợ đồng bào dân tộc thiểu số giai đoạn 2015 - 2020. Theo đó, các hộ gia đình kinh tế khó khăn, miền núi, đồng bào dân tộc thiểu số khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng được ưu tiên thực hiện các công tác liên quan đến quản lý và bảo vệ rừng, nhận giao khoán rừng, với số tiền hỗ trợ là 400.000 đ/ha/năm. Theo số liệu khảo sát của nhóm nghiên cứu năm 2022 tại khu vực VQG Kon Ka Kinh (20 hộ được phỏng vấn) và KBTTN Kon Chư Răng (25 hộ được phỏng vấn), giá trị kinh tế từ giao khoán bảo vệ rừng giao động trong khoảng từ 12.000.000đ/năm đến 23.000.000 đ/năm. Theo Quyết định số 123 /QĐ-UBND ngày 26 tháng 01 năm 2022 UBND tỉnh Gia Lai về việc phê duyệt kế hoạch thu, chi tiền dịch vụ môi trường rừng lưu vực thủy điện, nước sạch, nước công nghiệp năm 2022:

- Kế hoạch thu năm 2022: 110.000.372 nghìn đồng, trong đó:

+ Thu điều phối từ Quỹ Trung ương: 78.544.000 nghìn đồng;

+ Thu nội tỉnh: 31.456.372 nghìn đồng.

Đối tượng đưa vào xây dựng kế hoạch chi năm 2022, gồm: 43 chủ rừng là tổ chức, 28 chủ rừng là cộng đồng dân cư, 112 UBND cấp xã (giảm 03 chủ rừng là tổ chức, tăng 06 cộng đồng dân cư và 02 UBND cấp xã so với kế hoạch năm 2021) với tổng diện tích rừng cung ứng 472.451,26 ha.

+ Kinh phí 87% chi trả cho các bên cung ứng: 93.689.430 nghìn đồng;

Như vậy trung bình 1 ha có rừng nằm trong lưu vực thủy điện, nước sạch, nước công nghiệp được chi trả 198.000 đồng.

Căn cứ bảng khung giá rừng áp dụng cho rừng trồng, nghiên cứu đã xác định tổng giá trị 3.692,4 ha rừng trồng trong khu vực nghiên cứu đạt khoảng 317 tỷ đồng. Trong đó huyện Mang Yang với tổng diện tích 2.192,7 ha đạt tổng giá trị rừng 199 tỷ; huyện Kbang với tổng diện tích 1.499,7 ha tương ứng giá trị rừng 118 tỷ. Như vậy, trung bình thu nhập bình quân một năm trồng Keo đạt 17.160.000 đồng và thu nhập bình quân một năm trồng Bạch đàn đạt 14.300.000 đồng. Từ kết quả ước tính giá trị có thể thu về từ bán tín chỉ các-bon, các dịch vụ môi trường rừng tại khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng, kết quả định giá rừng trồng đánh giá tổng hợp thu nhập từ rừng dự kiến tại khu vực nghiên cứu khi có sự tham gia chương trình giảm phát thải như sau:

Bảng 8. Tổng hợp đơn giá dịch vụ môi trường rừng cao nguyên Kon Hà Nừng

TT	Kịch bản giảm 30% mất rừng, suy thoái rừng đến 2030	Thu nhập khai thác gỗ rừng trồng (Đồng/ha)	Đơn giá chi trả DVMTR (Đồng/ha)	Đơn giá khoán bảo vệ rừng (Đồng/ha)	Đơn giá hoạt động REED+ (Đồng/ha)	Tổng đơn giá áp dụng (Đồng/ha)
1	Rừng tự nhiên	0	198.305	400.000	307.158	905.463
2	Rừng trồng	17.160.000	178.474	0	0	17.338.474

Ngoài ra, người dân được hỗ trợ trồng rừng bổ sung với kinh phí 1.600.000 đ/ha/năm trong 3 năm đầu và 600.000 đ/ha/năm cho 3 năm tiếp theo. Hỗ trợ 5.000.000 đ đến 10.000.000 đ/ha để

mua cây giống, phân bón và các chi phí khác cho trồng rừng. Được hỗ trợ gạo với mức 15 kg/khẩu/tháng hoặc bằng tiền tương ứng nhưng không quá 7 năm. Bên cạnh đó, còn một số chính

sách hỗ trợ vay vốn khác nhằm thúc đẩy kinh tế đối với các hộ gia đình khó khăn, người đồng bào dân tộc thiểu số.

Trong khi đó, chi phí nhận được từ dịch vụ môi trường rừng tại khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng cho mỗi ha rừng là 198.000 đồng. Như vậy, trung bình giá trị nhận được từ các hoạt động giao khoán bảo vệ rừng và chi trả dịch vụ môi trường rừng cho mỗi ha đất rừng dao động từ 22.200.000 đ/năm đến 25.200.000 đ/năm. Theo Quyết định số 716/QĐ-UBND của tỉnh Gia Lai đã phê duyệt Phương án Quản lý rừng bền vững giai đoạn 2021-2030 của Ban quản lý Khu bảo tồn thiên nhiên Kon Chư Răng, hàng năm tham gia cung ứng dịch vụ môi trường rừng với tổng diện tích đất có rừng là 15.270,02 ha, với đơn giá bình quân dự kiến khoảng 182.068 đồng/ha; thì hàng năm tổng tiền thu được của Khu bảo tồn khoảng trên 2,78 tỷ đồng.

5. Kết luận

Trong nghiên cứu ước tính sinh khối rừng, các phương pháp tiếp cận truyền thống dựa trên đo đạc thực địa có độ chính xác cao, tuy nhiên chúng chỉ phù hợp với những nơi nhỏ và khó thực hiện ở những khu vực rộng lớn. Kết quả nghiên cứu cho thấy ước tính sinh khối dựa trên dữ liệu ảnh viễn thám và ô tiêu chuẩn đo đếm các chỉ tiêu cây rừng tại hiện trường có thể là hướng đi phù hợp khi triển khai tính sinh khối cho diện tích trung bình và lớn. Xác định sinh khối của thảm thực vật rừng có vai trò quan trọng trong chu trình các-bon toàn cầu, là nguồn lưu trữ các-bon, hấp thụ CO₂, góp phần vào thích ứng với biến đổi khí hậu. Nghiên cứu đã dựa trên ảnh vệ tinh SPOT-4, Sentinel-2 các năm 2010 và 2022 kết hợp với cơ sở dữ liệu các ô tiêu chuẩn điều tra rừng đa thời gian xác lập được mô hình ước tính giá trị sinh khối trên mặt đất thảm thực vật rừng tự nhiên tại khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng với hệ số R²=0,72 cho mô hình Lin – Log năm 2010 và R²=0,759 cho mô hình Log – Lin năm 2022. Kết quả xác định lượng phát thải - hấp thụ ròng của khu vực cao nguyên Kon Hà Nừng

giai đoạn 2000 - 2022 có giá trị dương khoảng 5.005.647 tấn CO₂/22 năm tương đương 227.529 tấn CO₂/năm. Điều này cho thấy rừng cao nguyên Kon Hà Nừng đang tạo ra sự phát thải CO₂ lớn hơn lượng rừng có thể hấp thụ được. Từ đó xây dựng được 3 kịch bản phát thải các-bon cao nguyên Kon Hà Nừng giai đoạn 2022 - 2030. Lợi ích ròng của cả 3 kịch bản đều cho giá trị kinh tế khá cao. Kịch bản xây dựng dự kiến đều làm giảm lượng phát thải xuống dưới mức tham chiếu và có khả năng đạt được nhiều lợi ích kinh tế các hoạt động REDD+ tại địa phương.

Ngoài ra, giá trị dịch vụ hệ sinh thái rừng không chỉ đem lại về mặt kinh tế trực tiếp cho người dân bản địa [24], mà còn đem lại nhiều giá trị lợi ích khác bao gồm an ninh lương thực và sinh kế, ngăn ngừa xói mòn đất và lở đất [25]. Để bảo tồn và giữ vững giá trị của tài nguyên rừng, cần xây dựng được các khung chính sách hợp lý góp phần ổn định sinh kế cho người dân khu vực miền núi. Khung chính sách lâm nghiệp sẽ đặt ra các điều kiện chung về pháp lý, hành chính, khuyến khích, truyền thông và các điều kiện khác cho quản lý rừng [26]. Vì vậy, dựa trên kết quả của nghiên cứu và đánh giá tính hiệu quả từ các chính sách lâm nghiệp địa phương có thể giúp các nhà quản lý xây dựng được một "Khung quản lý rừng bền vững" cung cấp một cách tiếp cận toàn diện để lập kế hoạch quản lý rừng và bảo tồn tài nguyên rừng hiệu quả.

Tài liệu tham khảo

- [1] D. J. Earn, P. Rohani, Complex Dynamics in Ecology, Trends in Ecology & Evolution, Vol. 14, No. 2, 1999, pp. 43-44, [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01521-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01521-3).
- [2] Y. Pan, R. A. Birdsey, O. L. Phillips, R. B. Jackson, The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests, Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, Vol. 44, 2013, pp. 593-622, <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135914>.
- [3] N. D. Hoi, D. B. Duy, N. T. Dung, N. H. V. Hieu, 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, *Sustainability*, Vol. 14, No. 24, 2022, pp. e16857, <https://doi.org/10.3390/su142416857>.
- [4] J. S. Wright, J. S. Plant, Plant Diversity in Tropical Forests: A Review of Mechanisms of Species Coexistence, *Oecologia*, Vol. 130, pp. 1-14, 2002, <https://doi.org/10.1007/s004420100809>.
- [5] C. D. Allen, A. K. Macalady, H. Chenchouni, A Global Overview of Drought and Heat-induced Tree Mortality Reveals Emerging Climate Change Risks for Forests, *Forest Ecology And Management*, Vol. 259, No. 4, 2010, pp. 660-684, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001>.
- [6] M. Baatz, C. Hoffmann, G. Willhauck, Progressing from Object-based to Object-oriented Image Analysis, Spatial Concepts for Knowledge-driven Remote Sensing Applications, Vol. 540, No. 3, 2008, pp. 29-42, https://doi.org/10.1007/978-3-540-77058-9_2.
- [7] M. O. Johnson, D. Galbraith, M. Gloor, Variation in Stem Mortality Rates Determines Patterns of Above-ground Biomass in A Mazonian Forests: Implications for Dynamic Global Vegetation Models, *Global Change Biology*, Vol. 22, No. 12, 2016, pp. 3996-4013, <https://doi.org/10.1111/gcb.13315>.
- [8] L.N. Khang , Research on Scientific and Practical Basis to Propose Solutions for Implementing the REDD+ Program in Dien Bien Province, PhD Dissertation in Vietnam National University of Forestry (VNUF), 2015, pp. 3-11 (in Vietnamese).
- [9] N. D. Hoi, Features of Anthropogenic Landscape Kon Ka Kinh National Park and Its Vicinity, *Proceedings of T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station – Nature Reserve of the Ras*, 2017, pp. 3-18.
- [10] R. L. Jalbuena, R. V. Peralta, A. M. Tamondong, Object-based Image Analysis for Mangroves Extraction Using Lidar Datasets and Orthophoto, *ACRS Proceedings: Asian Association on Remote Sensing*, Manila, Philippines, 2015, pp. 1711-1734.
- [11] T. Kavzoglu, M. Yildiz, Parameter-based Performance Analysis of Object-based Image Analysis Using Aerial and Quikbird-2 Images, *ISPRS Annals of Photogrammetry: Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, Vol. 2, No. 7, 2014, pp. 31-37, <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-7-31-2014>.
- [12] J. S. Griffith, Object-oriented Method to Classify the Land Use and Land Cover in San Antonio Using Ecognition Object-oriented Image Analysis, *Proceedings Remote Sensing Image Process and Analysis Es-6973*, 2006, pp. 1-10.
- [13] S. Karakış, A.M. Marangoz, G. Büyüksalih, Analysis of Segmentation Parameters in Ecognition Software Using High Resolution Quikbird Ms Imagery, *ISPRS Proceedings of Workshop on Topographic Mapping from Space*, 2006, pp. 14-16.
- [14] R. Genuer, J. M. Poggi, *Random Forests, Random Forests with R*, Vol. 978, 2020, pp. 33-55, https://doi.org/10.1007/978-3-030-56485-8_3.
- [15] B. Huy, K. Kralicek, K. P. Poudel, V. T. Phuong, P. V. Khoa, N. D. Hung, H. Temesgen, Allometric Equations for Estimating Tree Aboveground Biomass in Evergreen Broadleaf Forests of Viet Nam, *Forest Ecology and Management*, Vol. 382, 2016, pp. 193-205, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.021>.
- [16] A. Field, *Discovering Statistics Using SPSS*, Sage Publications Ltd, London, 2009, pp. 46-52.
- [17] IPCC, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Published by the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006, pp. 3-21.
- [18] L. Gao, G. Chai, X. Zhang, Above-Ground Biomass Estimation of Plantation with Different Tree Species Using Airborne LiDAR and Hyperspectral Data, *Remote Sensing*, Vol. 14, No. 11, 2022, pp. e2568, <https://doi.org/10.3390/rs14112568>.
- [19] D. Grebner, P. Bettinger, J. Siry, K. Boston, *Forest Policies and External Pressures*, 2022, pp. 365-386, <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819002-9.00015-8>.
- [20] G. Matasci, T. Hermosilla, M. Wulder, J. White, N. Coops, G. Hobart, D. Bolton, P. Tompalski, C. Bater, Three Decades of Forest Structural Dynamics Over Canada's Forested Ecosystems Using Landsat Time-series and Lidar Plots, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 216, 2018, pp. 697-714, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.024>.
- [21] N. T. T. Huong, N. T. P. Mai, D. T. Huong, L.T. Hue Ly, Forest - Related Culture and Contribution to Sustainable Development in the Northern Mountain Region in Vietnam, *Forest and Society*, Vol. 5, No. 1, 2021, pp. 32-47, <https://doi.org/10.24259/fs.v5i1.9834>.

- [22] E. Perry, K. Sheffield, D. Crawford, S. Akpa, A. Clancy, R. Clark, Spatial and Temporal Biomass and Growth for Grain Crops Using NDVI Time Series, *Remote Sensing*, Vol. 14, No. 13, 2022, pp. e3071, <https://doi.org/10.3390/rs14133071>.
- [23] A. Safari, H. Sohrabi, S. Powell, Comparison of Satellite-based Estimates of Aboveground Biomass in Coppice Oak Forests Using Parametric, Semiparametric, and Nonparametric Modeling Methods, *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 12, No. 4, 2018, pp. e046026, <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.046026>.
- [24] J. V. Muñoz, J. A. A. Sánchez, M. Schoenemann, B. L. Felices, An Analysis of The Worldwide Research on the Socio-Cultural Valuation of Forest Ecosystem Services, *Sustainability*, Vol. 14, No. 4, 2022, pp. e2089, <https://doi.org/10.3390/su14042089>.
- [25] V. Sati, Forest Ecosystem Services and Their Valuation in Mizoram, The Eastern Extension of the Himalaya, Vol. 4, No. 2, 2023, pp. 44-49, <http://doi.org/10.26480/efcc.02.2023.44.49>.
- [26] S. Linser, B. Wolfslehner, National Implementation of the Forest Europe Indicators for Sustainable Forest Management, *Forests*, Vol. 13, No. 2, 2022, pp. 191, <https://doi.org/10.3390/f13020191>.