

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

Nguyễn Thị Thu Hằng¹, Đỗ Diệu Anh¹, Đặng Đỗ Lâm Phương¹, Đỗ Thị Nhung¹,
Nguyễn Thị Diễm My², Nguyễn Hữu Việt Hiệu¹, Nguyễn Việt Dương³, Phạm Văn Mạnh^{1*}

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

²Viện Việt Nam học và Khoa học phát triển, Đại học Quốc gia Hà Nội

³Ban Quản lý Vườn quốc gia Bến En, tỉnh Thanh Hóa

Application of geospatial techniques and machine learning algorithms to the mapping of seasonal tropical forest fire risk in the Central Highlands, Vietnam

Nguyen Thi Thu Hang¹, Do Dieu Anh¹, Dang Do Lam Phuong¹, Do Thi Nhung¹,
Nguyen Thi Diem My², Nguyen Huu Viet Hieu¹, Nguyen Viet Duong³, Pham Van Manh^{1*}

¹University of Science, Vietnam National University Hanoi

²VNU Institute of Vietnamese Studies and Development Science, Vietnam National University, Hanoi

³The Management Board of Ben En National Park, Thanh Hoa province

*Corresponding author: manh10101984@gmail.com

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.4.2025.107-118>

TÓM TẮT

Cháy rừng nhiệt đới theo mùa (FFT) đang trở thành mối đe dọa lớn đối với tài nguyên rừng, dẫn đến những hậu quả nặng nề về kinh tế và môi trường. Xây dựng bản đồ nguy cơ cháy rừng nhiệt đới đóng vai trò trong việc dự báo sớm khả năng cháy nhằm hạn chế ảnh hưởng đến sự suy giảm đa dạng sinh học và biến đổi khí hậu. Nghiên cứu đã tiến hành thành lập bản đồ phân bố không gian của FFTs và phân định các vùng dễ xảy ra cháy rừng ở khu vực Tây Nguyên, Việt Nam. Dựa trên bốn nhóm yếu tố ảnh hưởng đến FFTs, nghiên cứu lựa chọn 10 chỉ số từ dữ liệu địa hình, khí tượng-thủy văn, vật liệu cháy và dữ liệu kinh tế-xã hội. Thuật toán máy vectơ hỗ trợ (SVM) với hàm cơ sở xuyên tâm được sử dụng để phân loại các đối tượng lớp phủ và sử dụng đất (LULC). Phương pháp phân tích thứ bậc mờ (fuzzy AHP) được áp dụng nhằm thành lập bản đồ nguy cơ cháy rừng nhiệt đới tại Tây Nguyên. Kết quả phân loại dựa trên đối tượng cho thấy thuật toán SVM đạt được độ chính xác tổng thể tối ưu là 89% và hệ số Kappa là 0,88. Khu vực có nguy cơ rất cao và cao chiếm 40,57% tổng diện tích toàn vùng, trong đó 79% (N = 822) các điểm cháy được ghi nhận trong năm 2024 nằm trong các vùng này. Nhìn chung, phương pháp tổng hợp này có thể là một công cụ hiệu quả để lập kế hoạch, xây dựng chiến lược phòng chống và giảm thiểu nguy cơ cháy rừng tại các khu vực đã xác định.

ABSTRACT

Seasonal tropical forest fires (FFT) are becoming a major threat to forest resources, leading to severe economic and environmental consequences. Developing fire risk maps is essential for early prediction of fire occurrence, helping to mitigate biodiversity loss and climate change impacts.. This study developed a spatial distribution map of FFTs and delineated areas prone to forest fires in the Central Highlands of Vietnam. Based on four main groups of factors affecting FFTs, the study selected 10 indicators from topographic, hydro-meteorological, flammable materials and socio-economic data. Support vector machine (SVM) algorithm with radial basis function is used for land use and land cover (LULC) classification. The fuzzy Analytical Hierarchical Process ((fuzzy AHP) was used to build a map of tropical forest fires risk in the Central

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 28/02/2025

Ngày phản biện: 31/03/2025

Ngày quyết định đăng: 29/04/2025

Từ khóa:

Cháy rừng, công nghệ
địa không gian, Fuzzy AHP,
Tây Nguyên, thuật toán
học máy.

Keywords:

Central Highlands, forest fires,
Fuzzy AHP, geospatial techniques,
machine learning algorithms.

Highlands. Object-based classification results indicate that the SVM algorithm achieves an optimum overall accuracy of 89% and a Kappa coefficient of 0.88. Very high and high tropical forest fire risk area of 40.57% of the total area of the, within which 79% (N = 822) of recorded fire points in 2024 were located in these areas. Overall, this integrated methodology can be a potentially effective tool for planning and developing strategies to implement preventive fire control measures in the identified zones.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rừng là nguồn tài nguyên thiên nhiên quan trọng, đóng vai trò thiết yếu trong việc duy trì hệ sinh thái và cung cấp nguyên liệu cho con người [1]. Cháy rừng, dù bắt nguồn từ tự nhiên hay hoạt động nhân tác, được xem như một trong những tai biến thiên nhiên chính gây suy giảm nghiêm trọng hệ sinh thái rừng. Những thiệt hại từ thảm họa cháy rừng gây ra ngày càng trở nên rõ rệt hơn ở nhiều khu vực do sự nóng lên toàn cầu và hiện tượng cực đoan trong những năm gần đây. Các loài động, thực vật trong khu vực rừng cháy không chỉ mất môi trường sống mà còn đối mặt với nguy cơ bị tước đi sự sống. Đặc biệt, những loài không thể di chuyển nhanh hoặc thiếu nơi trú ẩn phải chịu nguy cơ tử vong cao, gây tổn thất nghiêm trọng ở cấp độ quần thể [2]. Vì vậy, quản lý hệ sinh thái rừng và xây dựng bản đồ nguy cơ cháy rừng là yếu tố cốt lõi trong việc bảo tồn và phục hồi đa dạng sinh học. Tuy nhiên, các phương pháp truyền thống phát hiện cháy rừng còn nhiều hạn chế, như khó tiếp cận khu vực dễ cháy, địa hình phức tạp, thiếu dữ liệu thời gian thực và gặp thách thức về hậu cần trong công tác dập lửa [3].

Ứng dụng công nghệ địa không gian đã trở thành tiêu chuẩn trong theo dõi cháy rừng, được áp dụng rộng rãi bởi nhiều nghiên cứu và cơ quan kiểm lâm. Dữ liệu ảnh vệ tinh đóng vai trò quan trọng trong việc phát hiện và đánh giá nguy cơ cháy rừng [4], trong bối cảnh các sự kiện môi trường rừng có cấu trúc phức tạp và các ưu tiên mâu thuẫn, phương pháp quyết định đa tiêu chí (MCDM) đã được phát triển, giúp cung cấp các giải pháp tùy chỉnh theo nhu cầu và cách tiếp cận của người dùng. Trong những năm gần đây, việc kết hợp MCDM với công nghệ địa không gian đã đạt hiệu quả đáng

kể trong việc lựa chọn tiêu chí, đánh giá tầm quan trọng của dữ liệu, phát hiện sớm và ngăn ngừa các đám cháy lớn, đặc biệt vào mùa khô [5]. Quy trình phân cấp thứ bậc mờ (fuzzy AHP) ngày càng nổi bật nhờ khả năng sử dụng lý thuyết tập mờ để mô hình hóa sự không chắc chắn, từ đó tăng độ chính xác và độ tin cậy trong phân tích. Phương pháp này cải thiện xử lý các yếu tố khó đo lường như biến động khí hậu, địa hình, và tác động con người, giúp tạo bản đồ nguy cơ cháy rừng có độ tin cậy cao hơn.

Tây Nguyên có khoảng 2,57 triệu ha rừng, bao gồm 2,2 triệu ha rừng tự nhiên và phần còn lại là rừng trồng, với độ che phủ bình quân 45,94% [6]. Theo các dự báo, tình hình thời tiết tại đây diễn biến phức tạp với nhiệt độ tăng 1,0-1,5°C, nắng nóng và khô hạn kéo dài, gây thiếu nước nghiêm trọng. Nhiều loại rừng như rừng kín thường xanh, rừng hỗn giao, rừng tre nứa và rừng trồng có nguy cơ cháy cao. Từ tháng 2 đến tháng 4/2024, Tây Nguyên đã xảy ra nhiều vụ cháy lớn, thiệt hại khoảng 50 ha rừng, làm ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng đến đời sống người dân [7]. Khai thác và chặt phá rừng tiếp tục diễn ra phức tạp, làm giảm cả diện tích và chất lượng rừng, đặc biệt là rừng tự nhiên. Nghiên cứu hiện tại đặt mục tiêu: (i) Xử lý dữ liệu ảnh vệ tinh đa phổ để phân loại vật liệu cháy; (ii) Xác định các yếu tố khiến rừng dễ cháy; và (iii) Xác định các khu vực dễ cháy tại Tây Nguyên, từ đó xây dựng chiến lược quản lý và bảo tồn hệ sinh thái rừng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

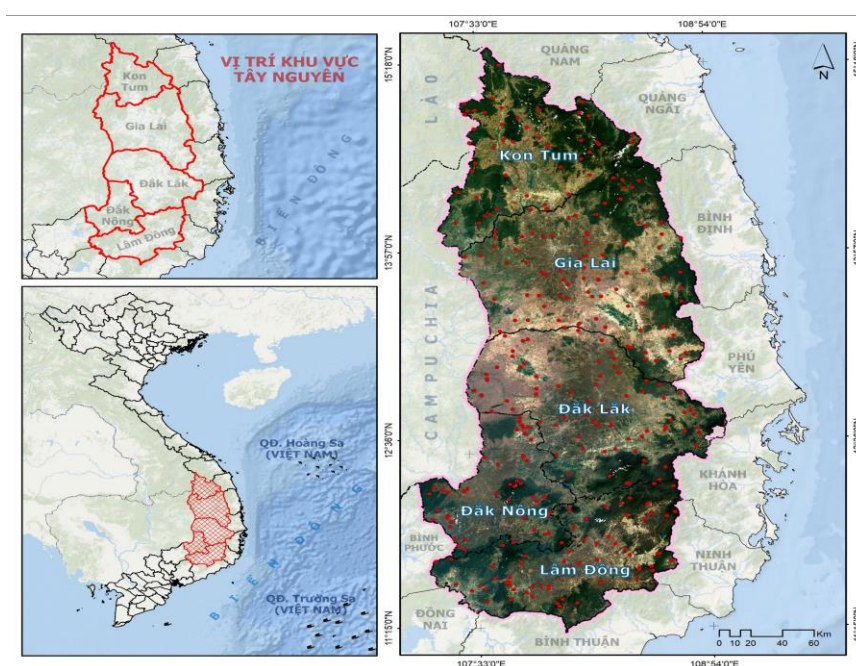
2.1. Khu vực nghiên cứu và đặc điểm phân bố không gian rừng

Tây Nguyên, vùng cao nguyên rộng lớn nằm ở phía Tây miền Nam Trung Bộ, trải dài trên địa bàn năm tỉnh với diện tích 54.548 km², đóng vai trò trọng yếu trong hệ sinh thái, kinh tế và văn

hóa khu vực. Đây là một trong những khu vực có diện tích rừng lớn nhất Việt Nam, đồng thời sở hữu tiềm năng kinh tế và sinh thái đặc biệt, góp phần vào sự phát triển bền vững của cả nước. Tây Nguyên giáp với Quảng Nam ở phía bắc, các tỉnh ven biển miền Trung ở phía Đông, Đồng Nai và Bình Phước ở phía nam, và các tỉnh Attapeu (Lào), Ratanakiri và Monduliri (Campuchia) ở phía tây (Hình 1).

Hệ sinh thái rừng Tây Nguyên rất đa dạng, phân bố từ độ cao từ 500 đến 1.500 m, với các khu vực như Kon Tum, Gia Lai, và Lâm Đồng nổi bật bởi rừng nguyên sinh và rừng thường xanh.

Đất Lắc và Đất Nong lại phổ biến với rừng khộp, nơi cây lá rộng rụng lá theo mùa. Các hệ sinh thái chủ yếu gồm rừng kín thường xanh, rừng lá kim, rừng hỗn giao, rừng nửa rụng lá, rừng tre nứa và rừng trồng [8, 9]. Nguy cơ cháy rừng tại Tây Nguyên tăng cao vào mùa khô do độ ẩm thấp và sự tích tụ thực vật dễ cháy như lá khô, cành cây, cùng sự hiện diện của các loài cây chứa nhựa dễ cháy như thông và bạch đàn. Vì vậy, việc quản lý và bảo vệ hệ sinh thái rừng ở đây là yếu tố then chốt để giảm thiểu nguy cơ cháy, bảo vệ môi trường và duy trì sự phát triển bền vững.



Hình 1. Vị trí của khu vực Tây Nguyên trên lãnh thổ Việt Nam và các điểm cháy năm 2024

2.2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu ảnh vệ tinh: Ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI và Landsat 9 OLI-2, bao gồm các kênh phổ Red, Green, Blue, NIR, với độ phân giải không gian 30m, được sử dụng để phân loại vật liệu cháy khu vực Tây Nguyên. Các cảnh ảnh có độ che phủ mây dưới 3%, được tải miễn phí từ bộ sưu tập Landsat Collection-2 Level-1 tại (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) và bao phủ toàn bộ khu vực nghiên cứu. Ảnh Landsat-8/9 OLI thu nhận vào tháng 2/2024 đã được hiệu chỉnh bức xạ và khí quyển thông qua quy trình xử lý ATCOR bằng phần mềm Catalyst Professional (<https://catalyst.earth/>). Quy

trình xử lý bao gồm: (i) Hiệu chỉnh đỉnh phản xạ ở tầng khí quyển; (ii) Loại bỏ mây mù trên ảnh; (iii) Chuyển đổi giá trị bức xạ về giá trị phản xạ bề mặt; và (iv) Chuẩn hóa dữ liệu theo phương pháp Mean-Standard Deviation (M-S) để đồng nhất giá trị phổ phản xạ [10, 11]. Cuối cùng, tất cả dữ liệu được chuẩn hóa hình học theo hệ tọa độ VN2000 múi 48, đảm bảo độ chính xác cao trong phân tích.

Cơ sở dữ liệu GIS và khảo sát thực địa: Dữ liệu địa hình, lượng mưa trung bình, chỉ số khô hạn, tốc độ gió, mật độ dân số, đường giao thông được thu thập từ nguồn chính phủ và phi chính phủ. Dữ liệu thực địa đóng vai trò quan

trọng trong nghiên cứu tài nguyên thiên nhiên, môi trường, giúp bổ sung, hiệu chỉnh dữ liệu và kiểm nghiệm thông tin thu thập từ ảnh vệ tinh. Trong nghiên cứu này, tổng cộng 1.055 điểm lấy mẫu kiểm chứng đã được thu thập dọc theo tuyến khảo sát (Lâm Đồng – Đắk Nông – Đắk Lắk – Gia Lai – Kon Tum). Các vùng mẫu được thiết lập theo tiêu chí đại diện cho các loại hình lớp phủ/sử dụng đất (LULC), phân bố ngẫu nhiên, ưu tiên khu vực ít bị tác động, đồng thời phù hợp với thời gian thu thập dữ liệu viễn thám để đảm bảo tính chính xác.

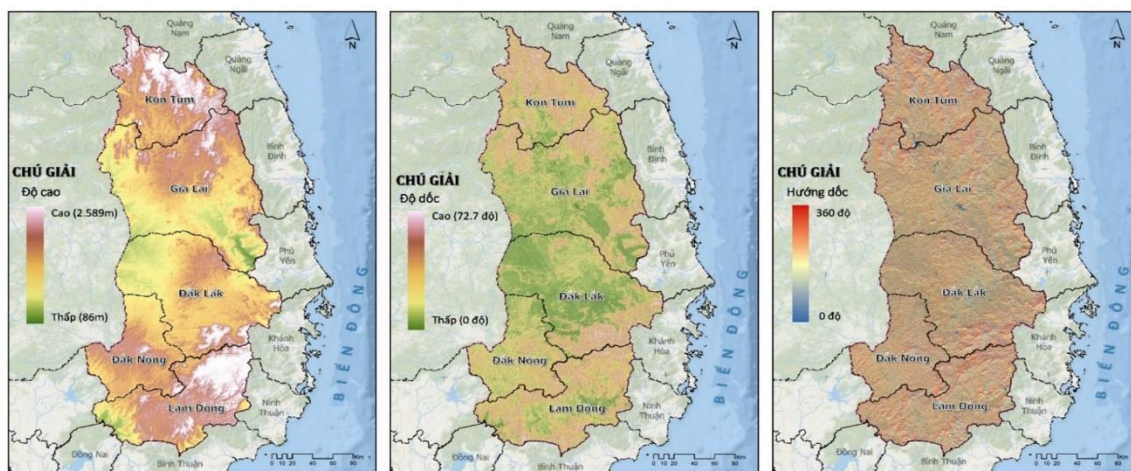
2.3. Phân loại lớp phủ và sử dụng đất sử dụng thuật toán máy vector hỗ trợ

Phân tích ảnh vệ tinh dựa trên đối tượng địa lý (GEOBIA) đã được sử dụng để phân loại lớp phủ và sử dụng đất (LULC) tại Tây Nguyên. Khác với phương pháp pixel truyền thống, GEOBIA áp dụng các tham số tỷ lệ (scale: 50), hình dạng (shape: 0,85) và độ chặt (compactness: 0,65) để phân đoạn ảnh trên các kênh phổ như Xanh lam (Blue), Xanh lục (Green), Đỏ (Red) và Cận hồng ngoại (Near Infrared). Quá trình phân loại

LULC thực hiện qua phần mềm Catalyst Professional, với dữ liệu 1.055 mẫu: 739 mẫu (70%) dùng để huấn luyện và 316 mẫu (30%) để kiểm tra độ chính xác. LULC được phân loại thành 7 nhóm chính gồm mặt nước, khu dân cư, rừng tự nhiên, rừng trồng, nông nghiệp, cây công nghiệp và trồng cỏ - cây bụi. Thuật toán máy vector hỗ trợ (SVM) với hàm cơ sở xuyên tâm được áp dụng để thực hiện phân loại. Cuối cùng, kết quả được tinh chỉnh thông qua kiểm tra thủ công. Độ chính xác tổng thể (Overall accuracy) và hệ số Kappa (Kappa coefficient) được sử dụng để đánh giá hiệu quả phân loại, đảm bảo kết quả có độ tin cậy cao.

2.4. Lựa chọn các chỉ số nguy cơ cháy rừng

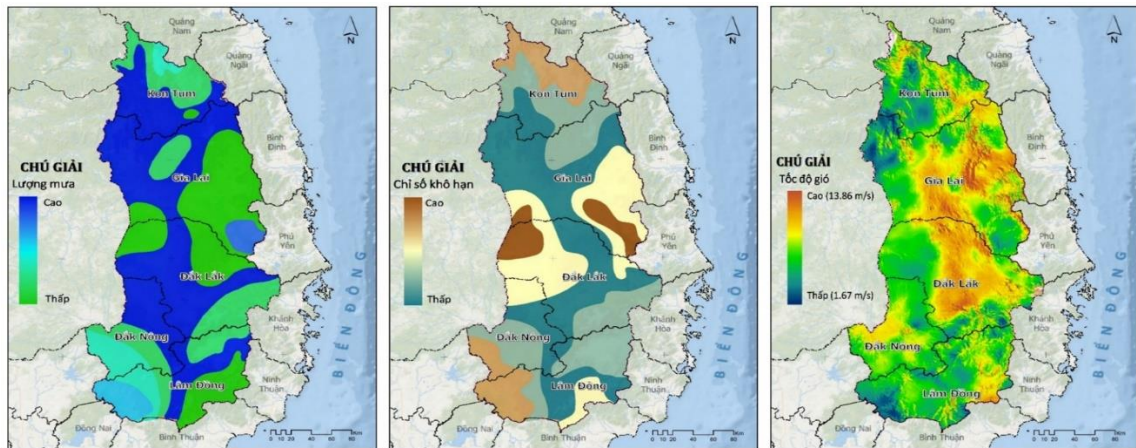
Nguy cơ cháy rừng chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, có thể chia thành bốn nhóm chính: (1) địa hình; (2) khí tượng - thủy văn; (3) vật liệu cháy; (4) kinh tế-xã hội. Tất cả những yếu tố này đều được phân tích kỹ lưỡng trong nghiên cứu để hiểu rõ hơn về nguy cơ cháy rừng tại Tây Nguyên.



Hình 2. Các chỉ số nguy cơ cháy của nhóm yếu tố địa hình (T)

- **Yếu tố địa hình (T):** Địa hình là yếu tố quan trọng trong đánh giá nguy cơ cháy rừng, bao gồm các chỉ số chính: độ cao, độ dốc và hướng dốc [12]. *Độ cao (T1, đơn vị: m)*, ảnh hưởng đến vi khí hậu và độ ẩm của thảm thực vật, với các khu vực cao thường có độ ẩm cao hơn và nguy cơ cháy thấp hơn, trong khi vùng thấp dễ xảy ra cháy do khí hậu nóng; *Độ dốc (T2, đơn vị: °)*, càng lớn thì tốc độ lan truyền

cháy càng nhanh, vì lửa thường lan theo hướng dốc lên, trong khi địa hình bằng phẳng có nguy cơ cháy thấp hơn; *Hướng dốc (T3, đơn vị: °)*, quyết định lượng bức xạ mặt trời mà khu vực nhận được, ảnh hưởng đến nhiệt độ và độ ẩm đất. Các hướng dốc quay về phía mặt trời (Nam, Tây Nam) thường khô hơn, làm tăng nguy cơ cháy so với hướng Bắc hoặc Đông Bắc, nơi ít bị ánh nắng trực tiếp chiếu vào (Hình 2).



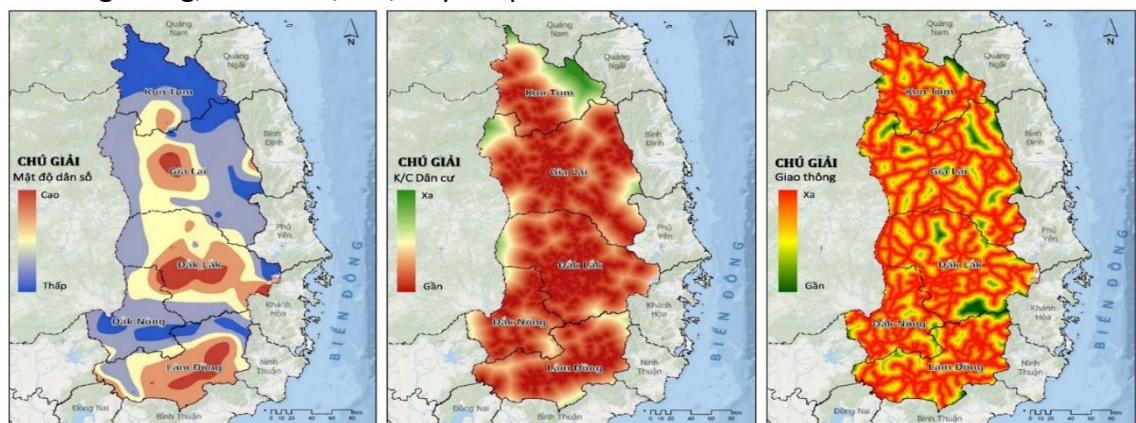
Hình 3. Các chỉ số nguy cơ cháy của nhóm yếu tố khí tượng - thủy văn (M)

• **Yếu tố khí tượng - thủy văn (M):** Mức độ nghiêm trọng của cháy rừng phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó khí tượng đóng vai trò then chốt [13]. *Lượng mưa trung bình (M1, đơn vị: mm)*, ảnh hưởng đến độ ẩm của thực vật và đất; lượng mưa cao giúp giảm nguy cơ cháy, trong khi lượng mưa thấp làm tăng nguy cơ cháy rừng; *Chỉ số khô hạn (M2, đơn vị: mm)*, phản ánh tình trạng thiếu nước của khu vực, với các vùng có chỉ số khô hạn cao thường dễ xảy ra cháy do thảm thực vật mất nước; *Tốc độ gió (M3, đơn vị: m/s)*, góp phần làm tăng tốc độ lan truyền đám cháy; gió mạnh có thể tạo thêm điểm cháy mới, khiến nguy cơ cháy rừng cao hơn, đặc biệt trong mùa khô (Hình 3).

• **Yếu tố vật liệu cháy (F):** Khả năng bắt lửa và lan truyền cháy của các loại thảm thực vật khác nhau phụ thuộc vào các loại hình lớp phủ/sử dụng đất (LULC) [14]. Rừng tự nhiên với thảm thực vật dày đặc tạo ra lượng lớn vật liệu cháy và điều kiện thuận lợi cho lửa lan rộng do sự tích tụ của lá khô, cành cây và chất mùn trên mặt đất. Rừng trồng, dù có mật độ cây thấp

hơn, vẫn có nguy cơ cháy cao nếu không được quản lý tốt, đặc biệt trong mùa khô. Ngược lại, đất nông nghiệp với cây trồng ngắn ngày hoặc ít thực vật lâu năm thường có nguy cơ cháy thấp hơn. Tuy nhiên, các hoạt động như đốt phụ phẩm nông nghiệp vẫn tiềm ẩn nguy cơ gây cháy.

• **Yếu tố kinh tế - xã hội (S):** Con người và cơ sở hạ tầng đóng vai trò quan trọng trong nguy cơ cháy rừng [15]. *Mật độ dân số (S1, đơn vị: người/km²)*, cao gây áp lực lớn từ các hoạt động như đốt nương, đốt rác, hay sơ suất khi sử dụng lửa, làm tăng nguy cơ cháy rừng; *Khoảng cách đến khu dân cư (S2, đơn vị: km)*, ảnh hưởng đáng kể, với rừng gần khu dân cư dễ bị tác động từ các hoạt động của con người, tăng khả năng xảy ra cháy. *Khoảng cách từ đường giao thông (S3, đơn vị: km)*, cũng là yếu tố nguy cơ, do tia lửa từ phương tiện, rò rỉ nhiên liệu, hay thói quen vứt tàn thuốc bừa bãi. Những khu vực gần đường giao thông chính thường có nguy cơ cháy cao hơn vì tần suất hoạt động của con người lớn hơn (Hình 4).



Hình 4. Các chỉ số nguy cơ cháy của nhóm yếu tố kinh tế - xã hội (S)

2.5. Lập bản đồ nguy cơ cháy rừng tiềm ẩn bằng quy trình phân tích thứ bậc mờ

Quy trình fuzzy AHP được sử dụng để xác định trọng số của các nhóm yếu tố: địa hình (T), khí tượng - thủy văn (M), vật liệu cháy (F), và kinh tế - xã hội (S), cùng các tiêu chí. Các tiêu chí được so sánh cặp đôi với thang điểm từ 1 đến 9, dựa trên kiến thức chuyên gia qua bảng hỏi. Tính nhất quán được kiểm tra bằng chỉ số CI và tỷ lệ CR, chỉ khi $CR \leq 0,10$ thì phương pháp

fuzzy AHP được thực hiện. Fuzzy AHP phản ánh sự không chắc chắn của dữ liệu và tích hợp lý thuyết mờ để xác định mức độ quan trọng, khắc phục giới hạn phương án thay thế và đảm bảo phân tích hiệu quả [16]. Chỉ số nguy cơ cháy rừng nhiệt đới tiềm ẩn (OFFI) được tính dựa trên tổng bốn nhóm yếu tố (T, M, F, S) theo Phương trình 1. Phương pháp này có thể điều chỉnh để áp dụng ở các khu vực khác, cả trong và ngoài nước.

$$OFFI = W_T \times \sum_{i=1}^3 (L_{Ti} \times W_{Ti}) + W_M \times \sum_{j=1}^3 (L_{Mj} \times W_{Mj}) + (L_F \times W_F) + W_S \times \sum_{h=1}^3 (L_{Sh} \times W_{Sh}) \quad (1)$$

Trong đó:

W_T, W_M, W_F, W_S là trọng số của bốn nhóm yếu tố;

$W_{Ti}, W_{Mj}, W_F, W_{Sh}$ là trọng số của các tiêu chí trong mỗi nhóm (T, M, F, S);

L_{Ti}, L_{Mj}, L_{Sh} là các tiêu chí.

Các tiêu chí của các nhóm yếu tố được phân loại thành năm mức độ nguy cơ cháy rừng tiềm ẩn theo thuật toán "natural break" và điều chỉnh bởi chuyên gia môi trường và tài nguyên rừng. Nguy cơ cháy rừng được chia thành 5 cấp độ: (i) Rất thấp, (ii) Thấp, (iii) Trung bình, (iv) Cao và (v) Rất cao.

Bảng 1. Mức độ nguy cơ của các chỉ số tác động đến cháy rừng

Nhóm chỉ số của yếu tố địa hình (T)					
	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
(T1)	> 2.000	1.500 - 2.000	1.000 - 1.500	500 - 1.000	< 500
(T2)	< 10	10 - 15	15 - 20	20 - 00	> 30
(T3)	Bắc (0°, 360°)	Đông Bắc (45°), Tây Bắc (315°)	Đông (90°), Tây (270°)	Đông Nam (135°), Tây Nam (225°)	Nam (180°)
Nhóm chỉ số của yếu tố khí tượng - thủy văn (M)					
	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
(M1)	< 1.000	1.000 - 1.500	1.500 - 2.500	2.500 - 4.500	> 4.500
(M2)	> 1.500	1.000 - 1.500	500 - 1.000	250 - 500	< 250
(M3)	< 1,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,5	2,5 - 3,5	> 3,5
Nhóm chỉ số của yếu tố vật liệu cháy (F)					
	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
Mặt nước		Nông nghiệp, dân cư	Cây bụi, cây công nghiệp	Rừng trồng	Rừng tự nhiên
Nhóm chỉ số của yếu tố kinh tế - xã hội (S)					
	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
(S1)	< 40.000	40.000 - 70.000	70.000 - 100.000	100.000 - 150.000	< 150.000
(S2)	> 3,0	2,0 - 3,0	1,0 - 2,0	0,5 - 1,0	< 0,5
(S3)	> 10	6,0 - 10	3,5 - 6,0	1,5 - 3,5	< 1,5

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

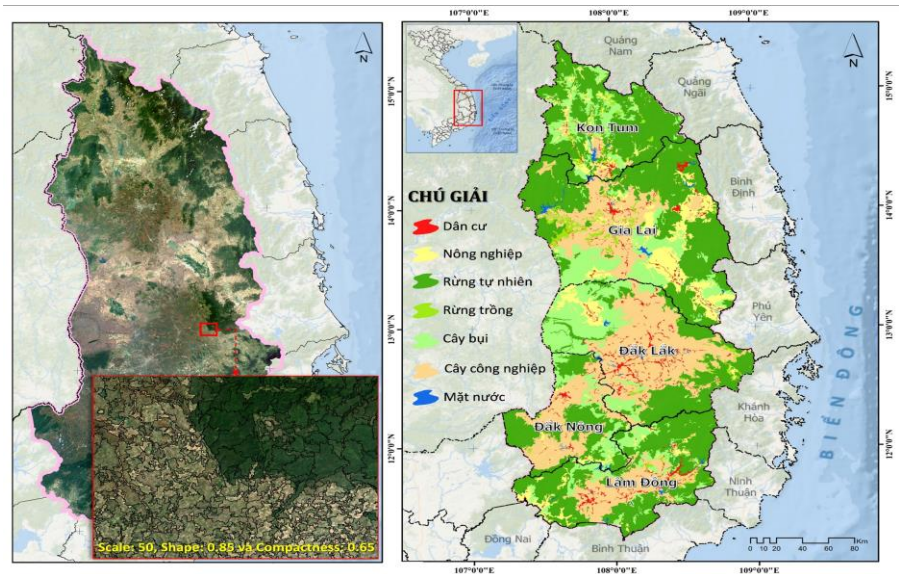
3.1. Phân tích kết quả phân loại và trọng số các tiêu chí tại khu vực Tây Nguyên

Trong nghiên cứu này, phần mềm Catalyst Professional được sử dụng để phân đoạn hình ảnh với các tham số tối ưu sau khi thử nghiệm nhiều lần: Scale là 50, Shape là 0,85 và

Compactness là 0,65. Các tham số này được đánh giá là phù hợp với dữ liệu, cho phép chiết tách các đối tượng LULC trong khu vực bao gồm mặt nước, dân cư, rừng tự nhiên, rừng trồng, nông nghiệp, cây công nghiệp và trồng cỏ-cây bụi (Hình 5). Quá trình phân loại được thực hiện bằng thuật toán SVM. Các khu vực nhỏ lẻ

bị nhầm lẫn đã được chỉnh sửa thủ công để đảm bảo kết quả đạt chất lượng cao nhất. Kết quả cuối cùng cho thấy độ chính xác tổng thể

(OA) đạt 89% và hệ số Kappa là 0,88, đáp ứng yêu cầu để thực hiện các công đoạn nghiên cứu tiếp theo [17].



Hình 5. Bản đồ phân bố không gian các loại hình LULC khu vực Tây Nguyên

Tây Nguyên là khu vực có diện tích rừng lớn thứ hai cả nước, với khoảng 2,5 triệu ha rừng tự nhiên và 0,5 triệu ha rừng trồng, chiếm 17,5% tổng diện tích rừng toàn quốc. Rừng tại đây không chỉ gắn liền với đời sống của người dân địa phương mà còn đóng vai trò quan trọng đối với môi trường sinh thái và đa dạng sinh

học. Dù đã có nhiều nỗ lực bảo vệ và phát triển, Tây Nguyên vẫn đối mặt với tình trạng suy giảm diện tích và chất lượng rừng, cùng những khó khăn trong việc phát triển bền vững. Trọng số của các nhóm yếu tố và tiêu chí được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Trọng số của các tiêu chí trong phương pháp fuzzy AHP

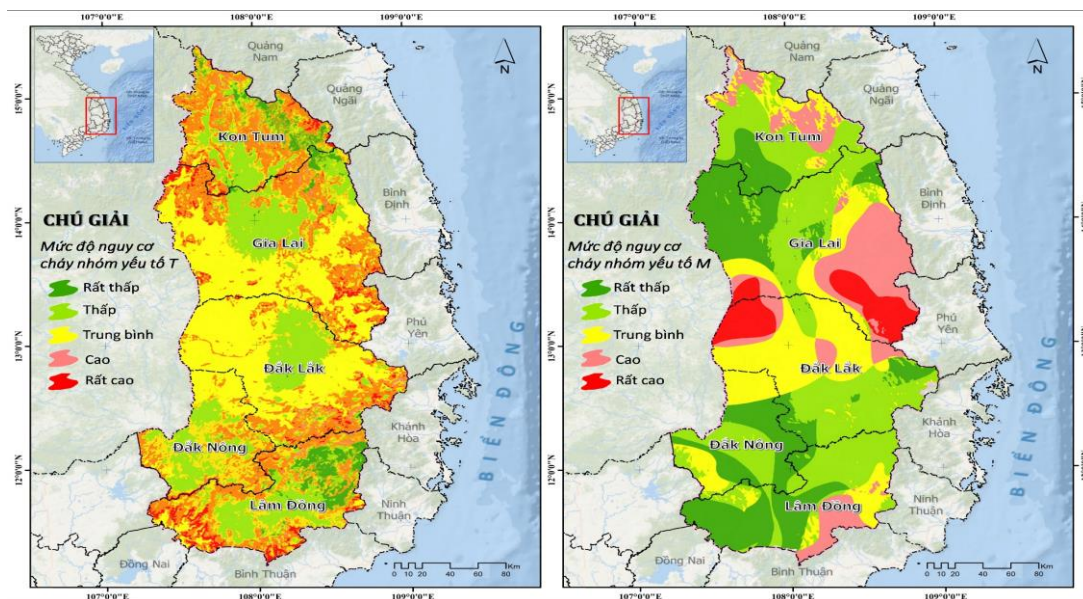
Nhóm yếu tố	Trọng số chính	Tiêu chí	Trọng số phụ	Xếp hạng
Địa hình (T)	0,136	T1 (Độ cao)	0,458	5
		T2 (Độ dốc)	0,416	6
		T3 (Hướng dốc)	0,126	9
Khí tượng - thủy văn (M)	0,493	M1 (Lượng mưa trung bình)	0,547	2
		M2 (Chỉ số khô hạn)	0,345	3
		M3 (Tốc độ gió)	0,109	7
Vật liệu cháy (F)	0,271	F1 (Lớp phủ và sử dụng đất)	1,000	1
Kinh tế - xã hội (S)	0,101	S1 (Mật độ dân số)	0,185	8
		S2 (Khoảng cách đến khu dân cư)	0,659	4
		S3 (Khoảng cách đến giao thông)	0,156	10

Nghiên cứu cho thấy các yếu tố địa hình (T) với trọng số 0,136 tác động đáng kể đến nguy cơ cháy rừng, đặc biệt ở khu vực địa hình cao và dốc, nơi dễ tích tụ điều kiện khô hanh. Yếu tố khí tượng - thủy văn (M) có trọng số cao nhất

0,493, đóng vai trò chủ chốt. Vật liệu cháy (F) với trọng số 0,271 là yếu tố then chốt, nhấn mạnh sự ảnh hưởng của thảm thực vật và cách sử dụng đất đối với khả năng bắt lửa và lan truyền cháy. Yếu tố kinh tế - xã hội (S) có trọng

số thấp nhất 0,101, nhưng khoảng cách đến khu dân cư (S2) và hoạt động con người vẫn

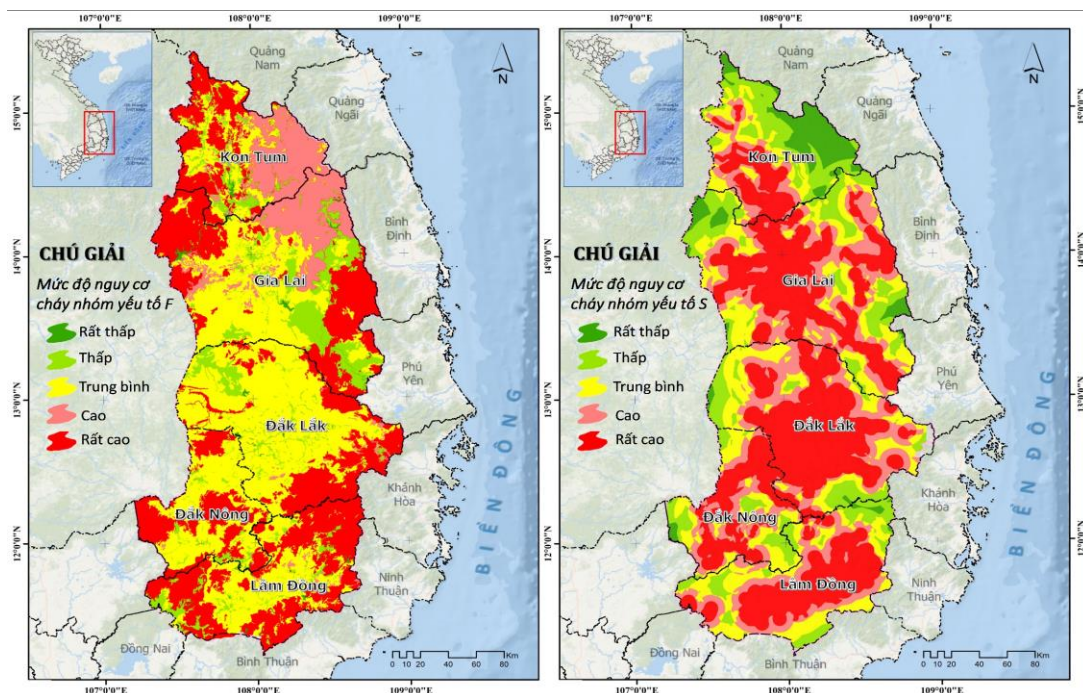
ảnh hưởng trực tiếp, đứng thứ tư về mức độ tác động trong nghiên cứu.



Hình 6. Phân bố không gian mức độ nguy cơ cháy của nhóm T (bên trái) và nhóm M (bên phải)

Phân tích cho thấy độ cao là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến nguy cơ cháy rừng, thường tập trung tại khu vực có độ cao từ 100 đến 900 m vào mùa khô, theo dữ liệu tháng 2 tại Tây Nguyên. Nguy cơ cháy rừng theo yếu tố địa hình (T) được phân bố như trong Hình 6 (bên trái): nguy cơ rất thấp và thấp (màu xanh lá cây) chủ yếu tập trung ở trung tâm tỉnh Gia Lai, Đắk Lắk và một phần Đắk Nông; nguy cơ

trung bình (màu vàng) xuất hiện rộng tại Gia Lai và Đắk Lắk; nguy cơ cao và rất cao (màu đỏ, đỏ đậm) tập trung ở Kon Tum, Tây Bắc và Đông Nam Gia Lai, Đông Nam Đắk Lắk, và Tây Nam Lâm Đồng, ở độ cao 300 - 400 m. Về nhóm yếu tố khí tượng-thủy văn (M), mức độ nguy cơ cao và rất cao được phân bố tại Tây Bắc tỉnh Đắk Lắk và Đông, Đông Nam tỉnh Gia Lai, như được thể hiện trong Hình 6 (bên phải).



Hình 7. Phân bố không gian mức độ nguy cơ cháy của nhóm F (bên trái) và nhóm S (bên phải)

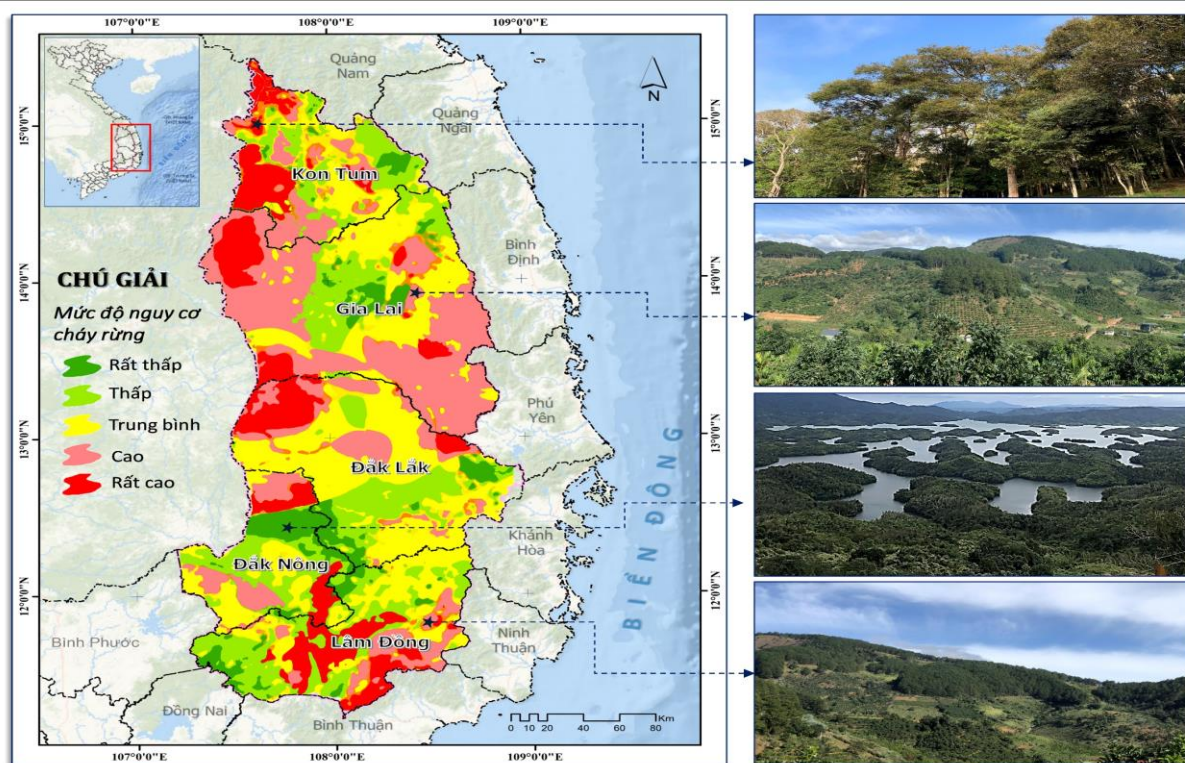
Hình 7 (bên trái) cho thấy nguy cơ cháy rừng theo nhóm vật liệu cháy (F) phân bố không đều: mức rất thấp và thấp (màu xanh lá) tập trung rải rác tại trung tâm Kon Tum, phía Đông Gia Lai, cùng một phần nhỏ ở Đăk Lăk và Lâm Đồng. Mức trung bình (màu vàng) xuất hiện chủ yếu tại Gia Lai, Đăk Lăk, trung tâm Lâm Đồng và phía Nam Đăk Nông. Nguy cơ cao và rất cao (màu đỏ) tập trung ở Kon Tum, khu vực giáp ranh Kon Tum – Gia Lai và Đăk Lăk – Lâm Đồng, đặc biệt ở Kon Tum, nơi nguy cơ cháy rừng cao nhất trên toàn Tây Nguyên. Hình 7 (bên phải) thể hiện nguy cơ cháy theo nhóm kinh tế - xã hội (S), với sự ảnh hưởng từ các yếu tố như khu dân cư và đường giao thông. Nguy cơ trung bình tập trung gần khu dân cư và giao thông, trong khi nguy cơ cao và rất cao (màu đỏ) chủ yếu ở trung tâm các tỉnh, do tác động mạnh mẽ từ hoạt động con người. Phía Đông Bắc Kon Tum và dọc ranh giới Gia Lai, Đăk Lăk, Đăk Nông, Lâm Đồng, nguy cơ cháy tăng dần khi khoảng cách đến khu dân cư lớn hơn, có thể do kiểm soát kém và sự tích tụ vật liệu dễ cháy.

Kết quả phân tích chỉ ra rằng tỉnh Kon Tum có nguy cơ cháy cao và rất cao, tập trung vào

nhóm yếu tố địa hình (T) và vật liệu cháy (F). Tỉnh Gia Lai bị tác động chủ yếu bởi yếu tố khí tượng-thủy văn (M) và kinh tế - xã hội (S). Đăk Lăk có nguy cơ cháy cao nhất, khi cả bốn nhóm yếu tố đều thể hiện rủi ro, đặc biệt là vật liệu cháy (F) và kinh tế-xã hội (S). Trong khi đó, Đăk Nông và Lâm Đồng thường ghi nhận nguy cơ cháy thấp và rất thấp ở nhiều nhóm yếu tố. Đăk Lăk và Gia Lai là hai tỉnh dễ xảy ra cháy nhất, còn Kon Tum, Lâm Đồng và Đăk Nông có mức nguy cơ cháy biến đổi theo từng yếu tố phân tích.

3.2. Đánh giá nguy cơ cháy rừng và ưu tiên bảo tồn hệ sinh thái rừng nhiệt đới tại Tây Nguyên

Dựa trên phương pháp fuzzy AHP và các chỉ số đánh giá thu được, Hình 8 minh họa nguy cơ cháy rừng nhiệt đới tại Tây Nguyên. Thuật toán “Natural Break” được sử dụng để phân biệt các khu vực nguy cơ, với khả năng tự động xác định điểm ngắt tự nhiên trong dữ liệu, đảm bảo phân loại chính xác. Kết quả chia nguy cơ thành 5 mức độ: rất cao ($3,80 \div 5,01$), cao ($3,29 \div 3,80$), trung bình ($2,83 \div 3,29$), thấp ($2,34 \div 2,83$), và rất thấp ($1,10 \div 2,34$), phản ánh sự phân bố không đồng đều các yếu tố gây cháy trong khu vực.



Hình 8. Phân bố không gian mức độ nguy cơ cháy rừng nhiệt đới (bên trái) và ảnh chụp hệ sinh thái rừng khu vực Tây Nguyên (bên phải)

Các khu vực được xác định có nguy cơ cháy rừng nhiệt đới cao và rất cao chiếm khoảng 40,57% tổng diện tích, tập trung ở phía Tây và Tây Nam tỉnh Kon Tum, phía Tây và Đông Nam tỉnh Gia Lai, phía Tây Bắc tỉnh Đắk Lắk, phía Đông Nam tỉnh Lâm Đồng và phía Bắc tỉnh Đắk Nông. Đây là những khu vực cần được quan tâm đặc biệt do mức độ nguy cơ cháy cao nhất. Bảng 3 thể hiện mức độ nguy cơ cháy tại các hệ sinh thái rừng khu vực Tây Nguyên, có thể thấy

rằng, nguy cơ cháy rừng rất cao và cao tập trung chủ yếu ở hệ sinh thái (rừng kín thường xanh, rừng lá kim và rừng nửa rụng lá). Đây là những khu vực cần được quan tâm đặc biệt trong việc phòng chống cháy rừng, đòi hỏi các biện pháp khẩn cấp và hiệu quả để bảo vệ các khu rừng này khỏi nguy cơ cháy. Tại Tây Nguyên, các hệ sinh thái rừng có mức độ nguy cơ cháy khác nhau tùy thuộc vào đặc điểm thảm thực vật và điều kiện môi trường.

Bảng 3. Mức độ nguy cơ cháy tại các hệ sinh thái rừng khu vực Tây Nguyên

		Hệ sinh thái rừng chủ yếu ở Tây Nguyên (đơn vị: ha)					
		Rừng kín thường xanh	Rừng lá kim	Rừng nửa rụng lá	Rừng hỗn giao	Rừng tre nứa	Rừng trồng
Nguy cơ cháy	Rất thấp	27.848	11.705	12.715	10.846	10.325	83.604
	Thấp	354.295	49.339	125.393	70.666	10.698	133.628
	Trung bình	404.341	120.862	157.649	105.413	10.584	111.046
	Cao	260.768	69.922	134.922	71.122	57.355	83.968
	Rất cao	206.396	36.537	173.506	56.723	40.070	77.754

Phân tích dữ liệu năm 2024 ghi nhận 1.043 điểm cháy tại Tây Nguyên, trong đó gần 79% nằm ở các khu vực dự báo nguy cơ cao và rất cao, với tỷ lệ cụ thể: mức cao chiếm 47,65% và rất cao chiếm 31,16%. Các khu vực nguy cơ rất thấp, thấp, và trung bình chiếm lần lượt 4,12%, 5,08%, và 11,98%. Kết quả này cho thấy bản đồ nguy cơ cháy rừng có độ chính xác cao, nhấn

mạnh tầm quan trọng của việc giám sát và quản lý rừng hiệu quả. Để giảm nguy cơ và hạn chế thiệt hại từ cháy rừng, cần đầu tư vào hệ thống cảnh báo sớm, phân bổ nguồn lực phòng cháy hợp lý, và nâng cao nhận thức cộng đồng tại các khu vực nguy cơ cao. Đây là những biện pháp thiết yếu để bảo vệ rừng và môi trường bền vững.

Bảng 4. Xác thực với dữ liệu điểm cháy rừng từ Cục Kiểm lâm năm 2024.

Mô tả	Số lượng điểm cháy thực tế tại khu vực Tây Nguyên (N = 1.043)					
	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao	Tổng
Số điểm cháy	43	53	125	497	325	1.043
Tỉ lệ phần trăm (%)	4,12	5,08	11,98	47,65	31,16	100

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã sử dụng công nghệ địa không gian và thuật toán học máy để lập bản đồ nguy cơ cháy rừng nhiệt đới theo mùa tại Tây Nguyên, tập trung vào tác động của bốn nhóm yếu tố: địa hình, khí tượng - thủy văn, vật liệu cháy và kinh tế - xã hội. Các yếu tố như thời tiết

khô hạn, lượng mưa thấp, nhiệt độ cao, gần khu dân cư và hạ tầng giao thông được xác định góp phần tăng nguy cơ cháy rừng. Thảm thực vật và hệ sinh thái rừng tại Tây Nguyên đóng vai trò quan trọng trong việc xác định nguy cơ và hành vi cháy rừng. Việc kết hợp MCDM với công nghệ địa không gian giúp xây dựng bản đồ

nguy cơ cháy rừng có độ tin cậy cao, hỗ trợ hiệu quả quản lý tài nguyên rừng. Nghiên cứu xác định 40,57% diện tích Tây Nguyên nằm trong khu vực nguy cơ cao và rất cao, chủ yếu ở Tây và Tây Nam Kon Tum, Tây và Đông Nam Gia Lai, Tây Bắc Đắk Lắk, Đông Nam Lâm Đồng, và Bắc Đắk Nông. Kiểm chứng với dữ liệu cháy rừng năm 2024 cho thấy 79% điểm cháy nằm trong khu vực được dự báo nguy cơ cao và rất cao, khẳng định hiệu quả của mô hình nghiên cứu. Nghiên cứu không chỉ định hướng chiến lược phòng cháy mà còn mở ra cơ hội nghiên cứu dài hạn về biến động khí hậu và sử dụng đất. Các biện pháp cần thiết bao gồm theo dõi, cảnh báo sớm, sử dụng công nghệ địa không gian, và phối hợp giữa cơ quan quản lý, cộng đồng địa phương, cùng tổ chức quốc tế nhằm bảo vệ rừng và đa dạng sinh học bền vững.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi nhiệm vụ khoa học QG.24.06 của Đại học Quốc gia Hà Nội. Các tác giả xin cảm ơn Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) đã cung cấp quyền truy cập mở dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. United Nations Department of Economic and Social Affairs (2023). The Sustainable Development Goals Report: Special Edition. in The Sustainable Development Goals Report. United Nations. Doi: 10.18356/9789210024914.

[2]. Ganteaume A., Barbero R., M. Jappiot M. & Maillé E. (2021). Understanding future changes to fires in southern Europe and their impacts on the wildland-urban interface. *Journal of Safety Science and Resilience*. 2(1): 20-29. Doi: 10.1016/j.jnlssr.2021.01.001.

[3]. Uthappa A. R., Das B., Raizada A., Kumar P., Jha P. & Prasad P. V. V. (2025). Forest fire susceptibility mapping using multi-criteria decision making and machine learning models in the Western Ghats of India. *Journal of Environmental Management*. 379. Doi: 10.1016/j.jenvman.2025.124777.

[4]. Meriamé Mohajane, Romulus Costache, Firoozeh Karimi, Quoc Bao Pham, Ali Essahlaoui, Hoang

Nguyen, Giovanni Laneve & Fatiha Oudija (2021). Application of remote sensing and machine learning algorithms for forest fire mapping in a Mediterranean area. *Ecological Indicators*. 129. Doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107869.

[5]. Oishi Bhattacharya, Suman Sinha, Varun Narayan Mishra, Maya Kumari, Fahdah Falah Ben Hasher, Jonmenjoy Barman & Mohamed Zhran (2025). Harnessing geospatial tools to map the forest fire: Risk zonation in Pauri Garhwal, Uttarakhand. *Results in Engineering*. 25. Doi: 10.1016/j.rineng.2024.103694.

[6]. PanNature (2024). Giữ màu xanh cho đại ngàn Tây Nguyên. Available: <https://nature.org.vn/vn/2023/04/giu-mau-xanh-cho-dai-ngan-tay-nguyen/>.

[7]. Chi Cục kiểm lâm vùng VI (2024). Các tỉnh Tây Nguyên tiếp tục đối mặt với nguy cơ cháy rừng rất cao. Available: <https://kiemlamvung4.org.vn/2024/03/21/cac-tinh-tay-nguyen-tiep-tuc-doi-mat-voi-nguy-co-chay-rung-rat-cao/>

[8]. Phùng Văn Khoa, Nguyễn Quốc Hiệu, Nguyễn Thị Thanh An, Phí Đăng Sơn & Phạm Văn Duẩn (2019). Sử dụng chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (NDVI) để xác định nhanh một số trạng thái rừng ở khu vực Tây Nguyên, Việt Nam. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. 5: 081–089.

[9]. Trần Quang Bảo, Lã Nguyên Khang, Lê Sỹ Doanh, Nguyễn Văn Thị, Phạm Văn Duẩn, Nguyễn Thị Mai Dương, Bùi Thị Minh Nguyệt & Nguyễn Trọng Cường (2023). Thực trạng và nguyên nhân suy giảm diện tích rừng khộp ở Tây Nguyên. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Lâm nghiệp*. 4: 065–077.

Doi: 10.55250/jo.vnuf.2022.4.065-077

[10]. Thi Nhung D., Do Lam Phuong D., Thi Diem My N., Quang Thanh B., Ngoc Hai P. & Van Manh P. (2024). Assessing Carbon Stocks in A Tropical Forest Ecosystem of High Conservation Value: A Case Study in Bac Kan Province, Vietnam. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*. Doi: 10.25073/2588-1094/vnuees.5069.

[11]. Van-Manh Pham, Son Van Nghiem, Cu Van Pham, Mai Phuong Thi Luu & Quang-Thanh Bui (2021). Urbanization impact on landscape patterns in cultural heritage preservation sites: a case study of the complex of Huế Monuments, Vietnam. *Landscape Ecology*. 36 (4): 1235–1260. Doi: 10.1007/s10980-020-01189-0.

[12]. Fatih Sivrikaya, Alkan Günlü, Ömer Küçük & Okan Ürker (2024). Forest fire risk mapping with Landsat

8 OLI images: Evaluation of the potential use of vegetation indices. *Ecological Informatics*. Doi: 10.1016/j.ecoinf.2024.102461.

[13]. Zahra Parvar, Sepideh Saeidi & Seyedhamed Mirkarimi (2024). Integrating meteorological and geospatial data for forest fire risk assessment. *Journal of Environmental Management*. 358. Doi: 10.1016/j.jenvman.2024.120925.

[14]. Hatef Dastour & Quazi K. Hassan (2024). A multidimensional machine learning framework for LST reconstruction and climate variable analysis in forest fire occurrence. *Ecological Informatics*. Doi: 10.1016/j.ecoinf.2024.102849.

[15]. Nicole Lambrou, Crystal Kolden, Anastasia Loukaitou-Sideris, Erica Anjum & Charisma Acey (2023).

Social drivers of vulnerability to wildfire disasters: A review of the literature. *Landscape and Urban Planning*. 237. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2023.104797.

[16]. Diem-My Thi Nguyen, Thi-Nhung Do, Son Van Nghiem, Jiwnath Ghimire, Kinh-Bac Dang, Van-Trong Giang, Kim-Chi Vu & Van-Manh Pham (2024). Flood inundation assessment of UNESCO World Heritage Sites using remote sensing and spatial metrics in Hoi An City, Vietnam. *Ecological Informatics*. Doi: 10.1016/j.ecoinf.2023.102427.

[17]. Van-Manh Pham, Son Van Nghiem, Quang-Thanh Bui, Tam Minh Pham & Cu Van Pham (2019). Quantitative assessment of urbanization and impacts in the complex of Huế Monuments, Vietnam. *Applied Geography*. 112. Doi: 10.1016/j.apgeog.2019.102096.