

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC TÂY NGUYÊN**

CAO THỊ HOÀI

**PHÂN TÍCH VÀ DỰ BÁO THAY ĐỔI THẨM PHỦ RỪNG DƯỚI TÁC ĐỘNG
CỦA CÁC NHÂN TỐ TỰ NHIÊN – KINH TẾ - XÃ HỘI TỈNH ĐẮK NÔNG**

**Chuyên ngành: Lâm sinh
Mã số: 9 62 02 05**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ LÂM NGHIỆP

Đắk Lắk, năm 2025

Công trình hoàn thành tại: Trường Đại học Tây Nguyên

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Nguyễn Thị Thanh Hương

Phản biện 1: PGS.TS. Bùi Thế Đồi – Trường ĐH Lâm Nghiệp Việt Nam

Phản biện 2: GS.TS. Võ Quang Minh – Trường ĐH Cần Thơ

Phản biện 3: PGS.TS. Nguyễn Văn Lợi – Trường ĐH Nông Lâm Huế

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp trường họp tại

Vào hồi giờ phút, ngày tháng năm 2025

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện: Thư viện Quốc gia Việt Nam; Thư viện trường
ĐH Tây Nguyên

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	4
1. Sự cần thiết của luận án.....	4
2. Mục tiêu nghiên cứu.....	4
2.1. Mục tiêu tổng quát	4
2.2. Mục tiêu cụ thể.....	4
3. Những đóng góp mới của đề tài	4
4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn.....	4
4.1. Ý nghĩa khoa học	4
4.2. Ý nghĩa thực tiễn.....	4
5. Kết cấu luận án.....	4
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU.....	4
1.1. Cơ sở lý luận về biến động thảm phủ rừng	4
1.2. Ứng dụng viễn thám và GIS trong giám sát biến động lớp phủ.....	5
1.3. Phân tích điểm nóng và mô hình hóa không gian – thời gian	5
1.4. Phân tích tác động của các nhân tố TN-KT-XH bằng mô hình phương trình cấu trúc	5
1.5. Mô hình dự báo FCC.....	5
1.6. Khoảng trống nghiên cứu và lý do chọn đề tài.....	5
CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	6
2.1. Đối tượng nghiên cứu.....	6
2.2. Dữ liệu nghiên cứu	6
2.3. Nội dung và phương pháp nghiên cứu	6
2.3.1. Nội dung nghiên cứu	6
2.3.2. Phương pháp nghiên cứu.....	6
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN	8
3.1. Phân tích LULCC giai đoạn 2010-2023	8
3.1.1. Thu thập và tiền xử lý ảnh Landsat	8
3.1.2. Đánh giá hiệu quả phân loại sử dụng thuật toán RF với các tổ hợp biến đầu vào.....	8
3.1.3. Phân loại Landsat 2010-2022 bằng RF và đánh giá độ chính	8
3.1.4. Xây dựng bản đồ LULC các năm cho cả giai đoạn.....	9
3.1.5. Phân tích LULCC trong giai đoạn 2010 – 2023.....	13
3.2. Xác định điểm nóng FCC.....	15
3.2.1. Phân tích tương quan không gian và xác định điểm nóng.....	15
3.2.2. Bản đồ điểm nóng FCC.....	16
3.3. Phân tích mối quan hệ giữa các nhóm biến động lớp phủ rừng với đặc điểm TN-KT-XH	18
3.3.1. Thống kê dữ liệu các nhân tố TN-KT-XH tác động	18
3.3.2. Phân tích tác động của các nhân tố TN – KT – XH đến FCC.....	20
3.4. Dự báo thay đổi LULC đến năm 2035 dưới tác động của các nhân tố TN – KT – XH.....	22
3.4.1. Bản đồ đa nhân tố ảnh hưởng.....	22
3.4.2. Đánh giá độ chính xác mô hình dự đoán.....	23
3.4.3. Dự báo LULCC đến năm 2035	24
3.4.3.1. Kết quả dự báo LULCC đến năm 2035.....	24
3.4.3.2. Thành lập bản đồ dự báo LULC năm 2035.....	24
3.4.3.3. Thành lập bản đồ dự báo điểm nóng LULC năm 2035.....	26
3.5. Đề xuất một số giải pháp quản lý bảo vệ rừng	29
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	29
Kết luận	29
Kiến nghị.....	29
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ	30

MỞ ĐẦU

1. Sự cần thiết của luận án

Tỉnh Đắk Nông là khu vực có diện tích rừng lớn nhưng đang đối mặt với tình trạng suy giảm nhanh do tác động của các yếu tố tự nhiên, kinh tế và xã hội (TN-KT-XH). Các hoạt động như chuyển đổi mục đích sử dụng đất, khai thác tài nguyên, mở rộng nông nghiệp và hạ tầng đang tạo áp lực lớn lên tài nguyên rừng.

Trong bối cảnh đó, việc ứng dụng công nghệ viễn thám (RS), hệ thống thông tin địa lý (GIS) và các mô hình phân tích – dự báo không gian là hướng tiếp cận hiện đại giúp đánh giá chính xác hiện trạng và xu hướng thay đổi thảm phủ rừng.

Luận án được thực hiện nhằm phân tích quá trình biến động lớp phủ sử dụng đất (land use land cover change – LULCC) tại Đắk Nông giai đoạn 2010–2023, xác định các điểm nóng thay đổi thảm phủ rừng (forest cover change - FCC), đánh giá tác động của các nhân tố TN-KT-XH lên FCC, đồng thời sử dụng các nhân tố tác động để dự báo xu hướng thay đổi rừng đến năm 2035, từ đó góp phần đề xuất giải pháp quản lý rừng hiệu quả và bền vững tài nguyên rừng.

2. Mục tiêu nghiên cứu

2.1. Mục tiêu tổng quát

Tiếp cận tổng hợp trong đánh giá LULCC dưới tác động của các nhân tố TN-KT-XH, từ đó dự báo LULC trong tương lai dưới tác động của đa nhân tố, làm cơ sở khoa học và thực tiễn đề xuất các giải pháp quản lý bảo vệ rừng tại khu vực nghiên cứu.

2.2. Mục tiêu cụ thể

- Phân tích LULCC giai đoạn 2010 – 2023 sử dụng ảnh vệ tinh đa thời gian;
- Phân tích tương quan không gian xác định được các điểm nóng FCC tại khu vực nghiên cứu;
- Phân tích và xác định được các nhân tố TN-KT-XH tác động FCC tại khu vực nghiên cứu;
- Dự báo xu hướng LULC đến năm 2035 dưới tác động của các nhân tố đã được xác định.
- Đề xuất các giải pháp quản lý tài nguyên rừng trên cơ sở các kết quả nghiên cứu đã đạt được.

3. Những đóng góp mới của đề tài

(1) Tích hợp giữa RS–GIS, học máy, mô hình SEM và CA_M tạo nên một hệ phương pháp liên ngành – đa chiều, phù hợp với yêu cầu mô hình hóa FCC tại Việt Nam;

(2) Luận án là một trong số ít công trình tại Việt Nam áp dụng tiếp cận hệ thống và tích hợp trong phân tích LULCC dưới tác động của các yếu tố TN – KT – XH một cách định lượng;

(3) Phân loại ảnh vệ tinh Landsat đa thời gian bằng thuật toán học máy RF, sử dụng tổ hợp các chỉ số phổ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Chỉ số khác biệt chuẩn hóa thực vật), BSI (Bare Soil Index – Chỉ số đất trống), NDWI (Normalized Difference Water Index – Chỉ số khác biệt chuẩn hóa nước) và dữ liệu mô hình số độ cao (Digital Elevation Model - DEM) để nâng cao độ chính xác phân loại và phân tích điểm nóng (Hotspot) bằng các chỉ số tương quan không gian như Getis-Ord Gi* để xác định vùng có xu hướng mất rừng cao.

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

4.1. Ý nghĩa khoa học

Luận án phát triển cách tiếp cận tích hợp RS đa thời gian, GIS, SEM và học máy (RF, CA–Markov) để phân tích – dự báo biến động thảm phủ rừng dưới tác động TN–KT–XH. Phương pháp này giúp định lượng tác động, làm rõ quan hệ nhân quả, nâng cao độ chính xác phân loại và mở rộng ứng dụng SEM trong nghiên cứu tài nguyên thiên nhiên tại Việt Nam.

4.2. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho quản lý và quy hoạch sử dụng đất; xác định các yếu tố tác động đến biến động rừng, điểm nóng mất rừng và xu hướng đến năm 2035. Dữ liệu đầu ra phục vụ trực tiếp cho quy hoạch, bảo tồn, và thích ứng BĐKH tại Đắk Nông.

5. Kết cấu luận án

Ngoài phần mở đầu, kết luận và kiến nghị, luận án được kết cấu thành 3 chương, cụ thể:

Chương 1. Tổng quan vấn đề nghiên cứu

Chương 2. Đối tượng, nội dung và phương pháp nghiên cứu

Chương 3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Cơ sở lý luận về biến động thảm phủ rừng

Thảm phủ rừng (forest cover - FC) không chỉ đóng vai trò then chốt trong bảo vệ hệ sinh thái, điều hòa khí hậu và duy trì đa dạng sinh học, mà còn là nền tảng sinh kế của cộng đồng địa phương tại nhiều

khu vực, trong đó có Việt Nam. Tuy nhiên, quá trình công nghiệp hóa, đô thị hóa, mở rộng sản xuất nông nghiệp và khai thác tài nguyên thiên nhiên đã và đang làm thay đổi nhanh chóng cấu trúc FCC. FCC bao gồm mất rừng, chuyển đổi mục đích sử dụng đất, suy thoái rừng, hoặc phục hồi nhờ các chương trình trồng rừng.

Cơ sở lý luận về biến động rừng nhấn mạnh đến mối quan hệ tương tác giữa con người và môi trường tự nhiên, trong đó các yếu tố như dân số, kinh tế, hạ tầng và biến đổi khí hậu là những động lực chính thúc đẩy quá trình thay đổi lớp phủ rừng. Việc phân tích bản chất, mức độ và xu hướng của biến động này giúp xây dựng chiến lược quản lý rừng hiệu quả và bền vững.

1.2. Ứng dụng viễn thám và GIS trong giám sát biến động lớp phủ

Trong những thập kỷ gần đây, công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã trở thành công cụ chủ lực trong theo dõi và phân tích sự thay đổi lớp phủ sử dụng đất. Các loại ảnh vệ tinh như Landsat, Sentinel... cung cấp chuỗi dữ liệu dài hạn với độ phân giải phù hợp để phát hiện các biến động rừng ở cấp địa phương, khu vực và quốc gia.

Phương pháp phân loại sử dụng chỉ số NDVI, BSI, NDWI kết hợp với dữ liệu độ cao địa hình (DEM) giúp tăng độ chính xác trong nhận dạng lớp phủ. Các thuật toán học máy như RF hay SVM ngày càng được áp dụng rộng rãi nhờ khả năng xử lý tốt dữ liệu có nhiễu và phân biệt hiệu quả các lớp rừng. Ngoài ra, việc so sánh ảnh đa thời gian cho phép xác định mức độ thay đổi rừng theo chuỗi năm, phục vụ các mục tiêu giám sát, kiểm kê và cảnh báo.

1.3. Phân tích điểm nóng và mô hình hóa không gian – thời gian

Phân tích điểm nóng (hotspot analysis) là công cụ quan trọng nhằm xác định các khu vực có mức độ thay đổi lớp phủ rừng cao bất thường, thường gắn liền với các hoạt động chuyển đổi sử dụng đất, cháy rừng hoặc khai thác trái phép. Các chỉ số thống kê không gian như Moran's I, Getis-Ord Gi* được ứng dụng để lượng hóa và xác định các vùng có sự tích tụ cao về biến động rừng trong không gian.

Bên cạnh đó, mô hình CA-Markov – sự kết hợp giữa mô hình tế bào tự động (Cellular Automata) và chuỗi Markov – cho phép mô phỏng quá trình chuyển đổi lớp phủ đất trong tương lai dựa trên xác suất quá khứ. Mô hình này không chỉ cung cấp bản đồ điểm nóng mà còn hỗ trợ đánh giá kịch bản sử dụng đất phục vụ quy hoạch lâm nghiệp.

1.4. Phân tích tác động của các nhân tố TN-KT-XH bằng mô hình phương trình cấu trúc

Mô hình phương trình cấu trúc (Structural Equation Modeling - SEM) là một công cụ phân tích đa biến mạnh mẽ, giúp kiểm định mối quan hệ nhân – quả giữa biến động thảm phủ rừng và các yếu tố tác động. Thông qua SEM, có thể đánh giá mức độ ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp của các nhân tố như dân số, doanh nghiệp, cơ sở hạ tầng, khoảng cách đến trung tâm dân cư, địa hình và khí hậu.

Cách tiếp cận này khắc phục được hạn chế của các phương pháp thống kê truyền thống khi xử lý mối quan hệ phức tạp giữa nhiều biến độc lập. Trong nghiên cứu biến động rừng, SEM cho phép làm rõ đâu là yếu tố có tác động chính, giúp định hướng cho công tác quản lý và chính sách sử dụng đất.

1.5. Mô hình dự báo FCC

Dự báo FCC giữ vai trò quan trọng trong quản lý tài nguyên rừng, bảo tồn đa dạng sinh học và thích ứng với biến đổi khí hậu. Trong số các phương pháp dự báo, mô hình Markov-CA được sử dụng phổ biến nhờ khả năng kết hợp giữa yếu tố thời gian (Markov) và yếu tố không gian (CA), phù hợp với đặc điểm phân mảnh, biến động theo cụm của rừng nhiệt đới. Tại Việt Nam, mô hình Markov đã được áp dụng trong một số nghiên cứu địa phương để phân tích và dự báo biến động sử dụng đất và thảm phủ rừng. Tuy nhiên, việc ứng dụng mô hình này vẫn còn một số hạn chế, như chưa tích hợp đầy đủ các yếu tố không gian như địa hình, hạ tầng hay điều kiện kinh tế – xã hội; dữ liệu chủ yếu là ảnh vệ tinh độ phân giải thấp và thiếu chuỗi thời gian dài; đồng thời chưa kết hợp với các phương pháp học máy hiện đại nhằm phát hiện mối quan hệ phi tuyến giữa các yếu tố ảnh hưởng.

Luận án mở rộng và khắc phục các hạn chế nêu trên bằng cách kết hợp mô hình Markov-CA với thuật toán Random Forest và các biến tự nhiên – kinh tế – xã hội để nâng cao khả năng phân tích và dự báo FCC. Việc sử dụng chuỗi ảnh vệ tinh đa thời gian giúp nâng cao độ chính xác dự báo đến năm 2035. Ngoài ra, kết quả được tích hợp trong môi trường GIS, hỗ trợ hiệu quả cho việc xác định điểm nóng mất rừng, xây dựng kịch bản quy hoạch sử dụng đất và đề xuất giải pháp quản lý rừng phù hợp với bối cảnh địa phương, đặc biệt là tại tỉnh Đắk Nông.

1.6. Khoảng trống nghiên cứu và lý do chọn đề tài

- Phần lớn nghiên cứu tại Việt Nam mới dừng ở mô tả hiện trạng hoặc đơn biến, chưa tích hợp đủ các yếu tố KT-XH trong phân tích biến động rừng.

- Thiếu các nghiên cứu cấp huyện sử dụng cách tiếp cận hệ thống, mô hình SEM và dữ liệu chuỗi thời gian trong dự báo FCC.

- Luận án hướng đến khắc phục khoảng trống đó bằng cách xây dựng mô hình tích hợp RS–GIS–SEM–ML để phân tích và dự báo FCC tại tỉnh Đắk Nông theo hướng định lượng, có tính ứng dụng cao.

CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

+ Các loại lớp phủ: (TX) rừng gỗ tự nhiên lá rộng thường xanh; (RBTX) rừng gỗ tự nhiên lá rộng bán thường xanh; (RK) rừng gỗ tự nhiên lá rộng rụng lá; (RTG) rừng trồng; (CAOSU) cao su; (NN) đất nông nghiệp; (DC) dân cư, (MN) mặt nước, (DKH) đất khác.

+ Các yếu tố TN-KT-XH liên quan đến FCC huyện Đắk Glong và Krông Nô: Nhiệt độ (ND); Lượng mưa (LM); Khoảng cách đến đất nông nghiệp (KNN); Khoảng cách đến khu dân cư (KDC); Khoảng cách đến đường giao thông (KGT); Dân cư (DC); Giá nông sản chính (GNS); Số doanh nghiệp đang hoạt động (SDN).

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu sử dụng trong luận án bao gồm: (i) Dữ liệu ảnh RS: Ảnh Landsat 5, 7, 8 giai đoạn 2010–2023, xử lý cùng các chỉ số NDVI, BSI, NDWI và lớp phủ tự; (ii) DLKG phục vụ: DEM, bản đồ địa hình, bản đồ hiện trạng rừng, thủy văn, giao thông, ranh giới hành chính,...; (iii) Dữ liệu thống kê thứ cấp: Từ Niên giám thống kê Đắk Nông (2010–2023), báo cáo ngành nông nghiệp, dân số và KT–XH cấp huyện; (iv) Dữ liệu kê thừa và; (v) Dữ liệu điều tra thực địa: Gồm điểm mẫu thăm phủ theo tỷ lệ phân bố và thông tin khảo sát cộng đồng qua bảng hỏi bán cấu trúc..

2.3. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Nội dung nghiên cứu

Nội dung 1: Phân tích LULCC giai đoạn 2010–2023 khu vực nghiên cứu;

Nội dung 2: Xác định điểm nóng FCC khu vực nghiên cứu;

Nội dung 3: Phân tích mối quan hệ giữa nhóm FCC với TN-KT-XH;

Nội dung 4: Dự báo LULCC đến năm 2035 dưới tác động của các nhân tố TN-KT-XH;

Nội dung 5: Đề xuất các giải pháp quản lý bảo vệ rừng tại khu vực nghiên cứu.

2.3.2. Phương pháp nghiên cứu

2.3.2.1. Phương pháp luận

Luận án áp dụng phương pháp nghiên cứu tích hợp, kết hợp giữa công nghệ viễn thám – GIS và mô hình hóa định lượng để phân tích và dự báo biến động thảm phủ rừng. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá hiện trạng, phân tích mối quan hệ nhân – quả giữa các yếu tố tác động và mô phỏng xu thế sử dụng đất theo không gian – thời gian. Ngoài ra, nghiên cứu sử dụng phương pháp điều tra xã hội học để thu thập dữ liệu kinh tế – xã hội phục vụ phân tích nhân tố.

2.3.2.2. Phương pháp phân loại ảnh để thành lập bản đồ LULC giai đoạn 2010–2023

🌈 Thu thập và tiền xử lý dữ liệu ảnh vệ tinh

Nghiên cứu sử dụng ảnh Landsat 5, 7 và 8 (giai đoạn 2010–2023) từ nền tảng GEE, thuộc nhóm Surface Reflectance đã hiệu chỉnh hình học – khí quyển. Ảnh được chọn với mây che phủ <30%, xử lý loại bỏ mây và bóng mây bằng F-mask, điền giá trị trung bình và áp dụng Gapfill cho ảnh Landsat 7 bị lỗi SLC.

Các bước tiền xử lý gồm: chọn ảnh mùa khô, lọc mây, kết hợp các chỉ số,... tạo ảnh tổng hợp và cắt theo khu vực nghiên cứu. Dữ liệu DEM từ SRTM (30m) được tích hợp để bổ sung biến địa hình, giúp nâng cao độ chính xác phân loại và phân tích không gian – thời gian.

🌈 **Tính toán các chỉ số từ ảnh vệ tinh:** Nghiên cứu tính toán các chỉ số NDVI, BSI và NDWI trên nền tảng GEE nhằm tăng khả năng phân biệt lớp phủ và cải thiện độ chính xác phân loại.

Bảng 2.1. Các chỉ số được sử dụng trong nghiên cứu

TT	Tên chỉ số	Công thức	Tác giả đề cập
1	NDVI	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	(Rouse và cộng sự., 1974) (2.1)
2	NDWI	$\frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	(McFeeters, 1996) (2.2)
3	BSI	$\frac{(RED + SWIR) - (NIR + BLUE)}{(RED + SWIR) + (NIR + BLUE)}$	(Rikimaru et al, 2002) (2.3)

🌈 Dữ liệu mẫu để phân loại

Dữ liệu mẫu được xây dựng từ thực địa, ảnh Google Earth, bản đồ kiểm kê rừng 2023 và giải đoán

ảnh đa thời gian, nhằm xác định 9 lớp phủ đặc trưng trong khu vực nghiên cứu, phục vụ phân loại ảnh Landsat: (1) RTX, (2) RBTX, (3) RK, (4) RTG, (5) (CAOSU), (6) NN, (7) DC, (8) MN và (9) DKH.

Trung bình trên 2.000 điểm mẫu được thu thập qua nhiều nguồn, bao gồm ảnh siêu cao, thực địa GPS, dữ liệu kế thừa, phục vụ phân loại và kiểm định bản đồ LULC hằng năm.

Bộ dữ liệu mẫu được chia ngẫu nhiên: 70% dùng để phân loại, 30% dùng để kiểm định.

Phân loại ảnh bằng thuật toán RF

Ảnh Landsat 2023 được phân loại trên GEE bằng thuật toán Random Forest (RF), với số cây quyết định từ 100–500. Mô hình thử nghiệm hai phương án: (1) band phổ + NDVI và (2) NDVI, NDWI, BSI kết hợp DEM. Cả hai được huấn luyện trên cùng tập mẫu và kiểm định bằng bộ điểm độc lập. Phương án có độ chính xác cao hơn (OA, Kappa) được chọn làm cấu hình chuẩn cho toàn bộ chuỗi phân loại 2010–2022.

Đánh giá kết quả phân loại

Độ chính xác phân loại được đánh giá qua ma trận sai số, sử dụng các chỉ số OA, UA và PA. Hệ số K được tính từ các chỉ tiêu này nhằm phản ánh mức độ phù hợp giữa kết quả phân loại và thực tế, đảm bảo độ tin cậy của bản đồ LULC.

Xây dựng bản đồ LULC các năm trong giai đoạn điều tra

Kết quả phân loại được lọc nhiễu bằng Majority Filter, sau đó chuyển sang vector để biên tập và tính diện tích các lớp phủ bằng công cụ Calculate Geometry trên ArcGIS, đảm bảo tính chính xác và đồng nhất theo đơn vị hecta.

2.3.2.3. Phân tích LULCC giai đoạn 2010-2023 khu vực nghiên cứu

Phần mềm ArcGIS được sử dụng để phân tích chồng lớp bản đồ LULC qua các năm, tạo ma trận chuyển đổi nhằm xác định hướng và mức độ biến động giữa các lớp phủ. Tỷ lệ thay đổi và xu hướng chính được tính toán theo từng giai đoạn, giúp đánh giá sự ổn định hay biến động mạnh của các lớp trong không gian – thời gian giai đoạn 2010–2023.

2.3.2.4. Phương pháp phân tích điểm nóng không gian

Nghiên cứu sử dụng phân tích thống kê không gian để xác định các vùng có biến động thảm phủ rừng đáng kể. Chỉ số Moran's I được áp dụng để kiểm định mức độ tự tương quan không gian, trong khi chỉ số Getis-Ord G_i^* giúp phát hiện các cụm điểm nóng (hotspots) – nơi có tần suất mất rừng hoặc phục hồi rừng cao hơn mức trung bình.

Các lớp bản đồ điểm nóng được xây dựng trên nền tảng dữ liệu biến động rừng đã xử lý qua các năm, từ đó xác định các nhân tố tác động đến mất rừng.

2.3.2.5. Phương pháp phân tích nhân tố tác động bằng mô hình SEM

Mô hình SEM được áp dụng để đánh giá tác động đồng thời của các nhóm yếu tố TN-KT-XH đến biến động thảm phủ rừng. Các biến số đưa vào mô hình bao gồm các biến độc lập (ND, LM, KNN, KDC, KGT, DC, GNS, SDN) và các biến phụ thuộc (Diện tích rừng tự nhiên chuyển đổi thành RT và CAOSU, diện tích rừng tự nhiên chuyển đổi thành đất nông nghiệp – DNN, diện tích rừng tự nhiên chuyển đổi thành đất dân cư – DDC và diện tích rừng tự nhiên chuyển đổi thành đất khác – DK). Các biến số này được thống kê, điều tra, tính toán cho cả giai đoạn từ năm 2010 đến năm 2023.

Sau đó, dữ liệu nhân tố được chuẩn hóa và phân tích bằng phần mềm R (gói lavaan). Mô hình SEM được xây dựng và kiểm định thông qua các chỉ số phù hợp tuyệt đối (X^2 , định mức - CMIN, độ tốt của chỉ số phù hợp - GFI, tiêu chuẩn dư – SRMR - NFI) và chỉ số phù hợp tăng cường (Chỉ số phù hợp định mức, chỉ số phù hợp so sánh – CFI). Từ đó xác định được các nhân tố tác động chính ($\beta > 0,5$) đến suy giảm diện tích rừng tự nhiên để đưa vào dự báo thay đổi tài nguyên rừng trong tương lai.

2.3.2.6. Phương pháp dự báo thay đổi lớp phủ rừng bằng mô hình CA-Markov

Phân tích dự báo được thực hiện thông qua mô hình tích hợp CA-Markov, kết hợp khả năng mô phỏng quá trình thay đổi sử dụng đất (CA) với xác suất chuyển đổi (Markov Chain). Dữ liệu đầu vào gồm các nhân tố được xác định từ kết quả phân tích SEM và các nhân tố tác động đã được chứng minh qua nhiều nghiên cứu là nhân tố độ cao và độ dốc.

Đề tài sử dụng các nhân tố tác động và bản đồ lớp phủ đất ở năm 2010 để dự báo thay đổi thảm phủ ở năm 2023, sau đó đối chiếu kết quả dự báo có được của năm 2023 với kết quả phân loại năm 2023 đã thực hiện để đánh giá độ chính xác mô hình dự báo. Nếu mô hình đảm bảo thì tiếp tục tiến hành dự báo thay đổi thảm phủ cho năm 2035.

Mô hình CA-Markov được xem là đủ độ tin cậy để sử dụng cho dự báo tương lai khi: $K_{\text{standard}} = 0,61–0,80$, không có lớp sử dụng đất nào có sai số dự báo vượt quá 25% diện tích lớp đó.

2.3.2.6. Đề xuất các giải pháp quản lý bảo vệ tài nguyên rừng

Tổng hợp đề xuất từ phỏng vấn; căn cứ kết quả phân tích LULCC, FCC và dự báo; Thẩm định sơ bộ giải pháp bằng cách tham khảo ý kiến chuyên gia và cơ quan quản lý lâm nghiệp tỉnh. chính thức.

2.3.2.7. Phương pháp điều tra thực địa và thu thập dữ liệu xã hội

Bên cạnh dữ liệu kế thừa, để bổ sung dữ liệu kiểm chứng và xây dựng mô hình nhân tố, nghiên cứu đã thực hiện điều tra thực địa với hai nội dung chính: Thu thập điểm mẫu xác minh lớp phủ rừng và sử dụng đất để phục vụ đánh giá độ chính xác phân loại ảnh; Phỏng vấn người dân và đại diện cơ sở thu mua nông sản theo mẫu bảng hỏi có cấu trúc nhằm thu thập thông tin về giá nông sản, cây trồng chủ lực và tác động đến tài nguyên đất rừng; Thống kê dữ liệu từ niên giám thống kê.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích LULCC giai đoạn 2010-2023

3.1.1. Thu thập và tiền xử lý ảnh Landsat

Thông qua các kỹ thuật hiệu chỉnh khí quyển và sửa lỗi thiết bị, ảnh Landsat 5, 7 và 8 đã được nâng cao chất lượng, loại bỏ mây, viền che và lỗi sọc ảnh.

Để nâng cao khả năng phân loại lớp phủ, các chỉ số phổ biến như NDVI, NDWI, BSI và dữ liệu địa hình DEM được tính toán và tích hợp làm đầu vào mô hình phân loại. Các chỉ số này giúp phân biệt rõ thảm thực vật, nước mặt và khu vực đất trống.

3.1.2. Đánh giá hiệu quả phân loại sử dụng thuật toán RF với các tổ hợp biến đầu vào

Nhằm Nghiên cứu thử nghiệm thuật toán Random Forest (RF) với hai tổ hợp biến đầu vào từ ảnh Landsat 8 năm 2023: i) Tổ hợp 1: Bands + NDVI; ii) Tổ hợp 2: Bands + NDVI + NDWI + BSI + DEM

Cùng một bộ dữ liệu huấn luyện/kiểm định được sử dụng cho cả hai kịch bản. Kết quả phân loại được đánh giá qua ma trận sai số, OA (Overall Accuracy) và hệ số Kappa, thể hiện cụ thể ở Bảng 3.3.

Bảng 3.1. So sánh độ chính xác phân loại của dữ liệu ảnh Landsat + NDVI và Landsat+NDVI, DEM, BSI và NDWI năm 2023

Trạng thái	NDVI		NDVI, BSI, NDWI		Chênh lệch	
	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)
RTX	70,00	74,24	85,71	87,38	15,71	13,14
RBTX	31,58	26,09	73,68	56,00	42,1	29,91
RK	65,71	58,97	65,71	67,65	0	8,68
RTG	75,88	79,14	94,12	91,95	18,24	12,81
CAOSU	85,83	69,13	83,33	78,13	-2,5	9
NN	50,00	63,01	54,35	70,42	4,35	7,41
DKH	76,86	80,47	80,45	84,92	3,59	4,45
DC	89,22	86,63	93,37	85,64	4,15	-0,99
MN	100	87,75	100,00	100	0	12,25
OA%	74,92		83,77		8,64	
K	0,70		0,81		0,11	

Tổ hợp mở rộng cho độ chính xác cao hơn rõ rệt ở hầu hết các lớp, đặc biệt: RBTX (UA tăng từ 31,58% → 73,68%, PA tăng từ 26,08% → 56%); RTG (UA tăng từ 75,88% → 94,12%); RTX (70% → 87,38%); MN (PA tăng từ 87,75% → 100%).

Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu trước như Ur Rehman et al. (2021), Mulkal (2024), McFeeters (1996), Xu (2006), Nguyễn Thế Hiển et al. (2025), khi việc kết hợp chỉ số NDWI, BSI, DEM cải thiện đáng kể hiệu quả phân loại LULC.

Kết luận: Tổ hợp Bands + NDVI + NDWI + BSI + DEM được lựa chọn cho toàn bộ chuỗi ảnh (2010–2022) để đảm bảo tính chính xác và nhất quán trong phân loại sử dụng đất theo thời gian

3.1.3. Phân loại Landsat 2010-2022 bằng RF và đánh giá độ chính xác

Dựa trên tổ hợp biến đầu vào tối ưu (Bands + NDVI + NDWI + BSI + DEM), mô hình RF được áp dụng để phân loại lớp phủ đất từ ảnh Landsat giai đoạn 2010–2022. Kết quả ma trận sai số chi tiết theo từng năm được trình bày ở Phụ lục 8 Báo cáo chính, còn các chỉ số tổng hợp như độ chính xác tổng thể (OA) và hệ số Kappa (K) được tổng hợp trong Bảng 3.4.

Bảng 3.2. Độ chính xác toàn bộ và hệ số K của các kết quả phân loại

TT	Năm	OA%	K
1	2010	85,90	0,83
2	2011	87,74	0,84
3	2012	86,32	0,84
4	2013	84,34	0,81
5	2014	89,52	0,87
6	2015	84,68	0,80
7	2016	87,02	0,84
8	2017	86,44	0,84
9	2018	81,54	0,77
10	2019	81,42	0,78
11	2020	82,13	0,78
12	2021	81,88	0,78
13	2022	81,41	0,77
14	2023	83,77	0,81

Trong đó: (OA%) Độ chính xác tổng thể; (K) Hệ số Kappa

Dựa trên tổ hợp biến đầu vào tối ưu (Bands + NDVI + NDWI + BSI + DEM), mô hình Random Forest được áp dụng để phân loại lớp phủ cho chuỗi ảnh Landsat từ năm 2010 đến 2023. Kết quả đánh giá OA dao động từ 81,41% đến 89,52% và hệ số K dao động từ 0,77 đến 0,87. Độ chính xác cao nhất được ghi nhận vào năm 2014 (OA = 89,52%; K = 0,87), trong khi thấp nhất là năm 2022 (OA = 81,41%; K = 0,77).

Độ chính xác giữa các năm cho thấy sự ổn định tương đối cao, phù hợp với tiêu chuẩn áp dụng ảnh Landsat trong phân loại thảm phủ độ phân giải trung bình (30 m). Một số biến động về độ chính xác có thể đến từ chất lượng ảnh (mức che phủ mây, điều kiện khí quyển), khác biệt phổ giữa các lớp trong năm cụ thể, hoặc ảnh hưởng của hiện tượng ENSO (El Niño – La Niña) làm thay đổi cấu trúc tán lá và phản xạ bề mặt.

Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Le et al. (2022) tại Thanh Hóa (OA: 86–91%; K ≈ 0,89) và Nguyen et al. (2020) tại Đắk Nông (OA = 80,3%; K = 0,81). Đồng thời, kết quả nghiên cứu của JAXA (2021) khi xây dựng bản đồ lớp phủ toàn quốc bằng ảnh ALOS và Landsat cũng cho OA từ 86–92%, khẳng định tính đáng tin cậy của phương pháp phân loại hiện tại.

Tuy nhiên, một số lớp vẫn tồn tại sai số đáng kể do đặc điểm quang phổ biến động theo mùa. Ví dụ, RK thường rụng lá vào mùa khô khiến giá trị NDVI giảm, dễ bị nhầm với đất trống hoặc RTG. Điều này đã được đề cập trong nghiên cứu của Liu et al. (2025), Hesketh & Sánchez-Azofeifa (2012) và Myers et al. (2024) về tác động của chu kỳ sinh thái đến hiệu quả phân loại.

Tổng kết, mô hình RF kết hợp tổ hợp biến đa dạng đã mang lại hiệu quả phân loại cao và ổn định qua các năm. Điều này khẳng định tính ứng dụng mạnh mẽ của mô hình trong giám sát biến động lớp phủ rừng dài hạn tại vùng Tây Nguyên, đặc biệt trong bối cảnh sử dụng ảnh viễn thám có độ phân giải trung bình.

3.1.4. Xây dựng bản đồ LULC các năm cho cả giai đoạn

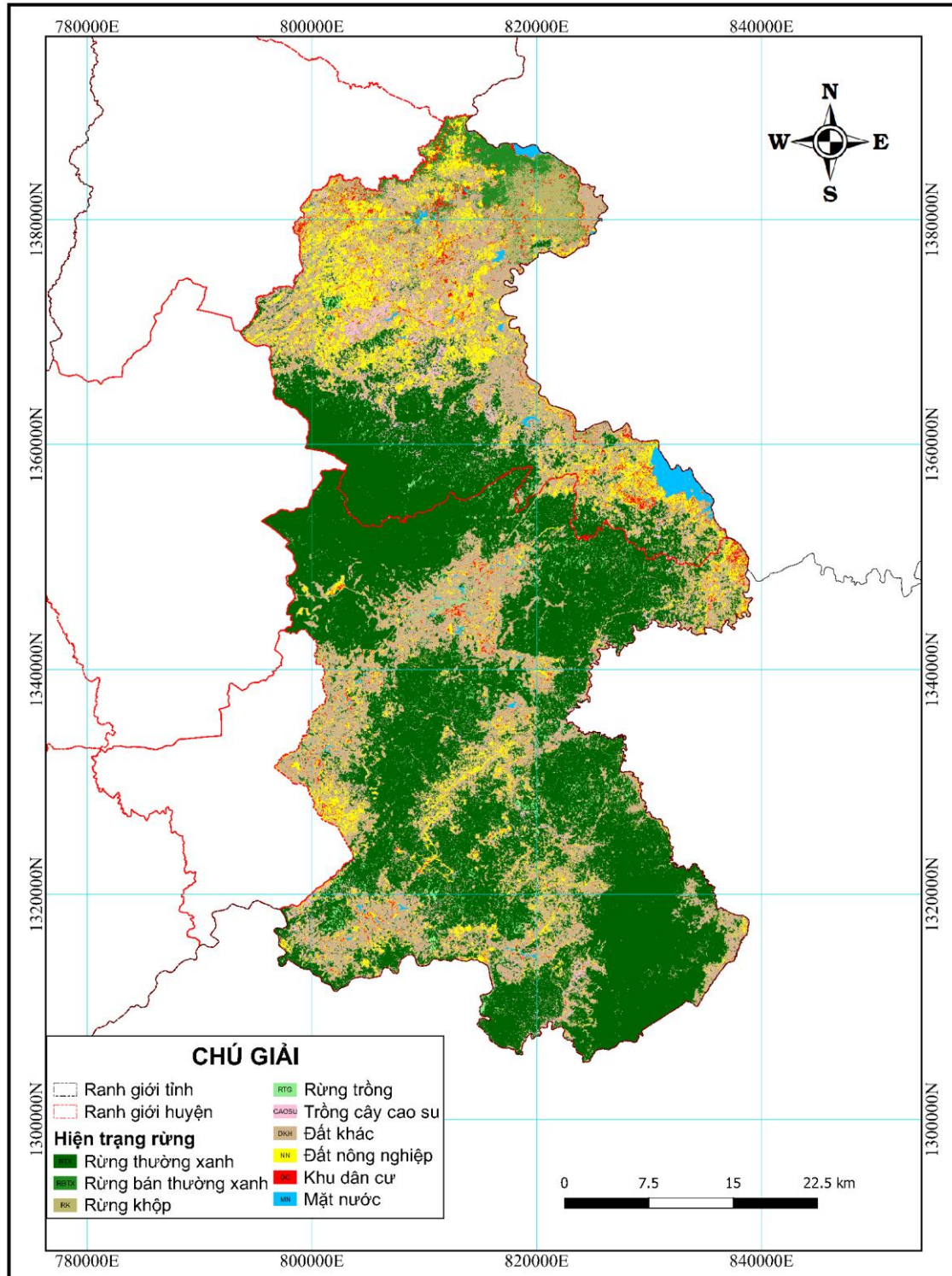
Các bản đồ chuyên đề LULC từ năm 2010 đến 2023, sau khi loại bỏ nhiễu và vector hóa để thành lập bản đồ chuyên đề LULC từng năm trong giai đoạn nghiên cứu. Kết quả được thể hiện từ Hình 3.3 đến Hình 3.6 và Phụ lục 9 báo cáo chính. Đến năm 2023, rừng tự nhiên chỉ còn tập trung chủ yếu tại Khu Bảo tồn Thiên nhiên Nam Nung và Vườn Quốc gia Tà Đùng.

Lớp RK phân bố chủ yếu ở Krông Nô, trong khi RBTX xuất hiện đan xen với RTX và RK, cho thấy đặc trưng vùng chuyển tiếp sinh thái. RTG phân bố tại vùng gò, đồi thấp, gần khu dân cư hoặc xen kẽ trong rừng tự nhiên – phản ánh quá trình mở rộng RTG.

Các loại lớp phủ khác như NN, DC, DKH và MN chủ yếu tập trung ở địa hình bằng phẳng, có sự phân mảnh cao và cấu trúc không đồng nhất. Điều này cho thấy tình trạng quy hoạch sử dụng đất còn thiếu đồng bộ và thiếu bền vững, đặc biệt ở các vùng chuyển đổi mạnh.

**BẢN ĐỒ THẨM PHỦ SỬ DỤNG ĐẤT NĂM 2010
TẠI KHU VỰC HUYỆN ĐẮK GLONG VÀ HUYỆN KRÔNG NÔ - TỈNH ĐẮK NÔNG**

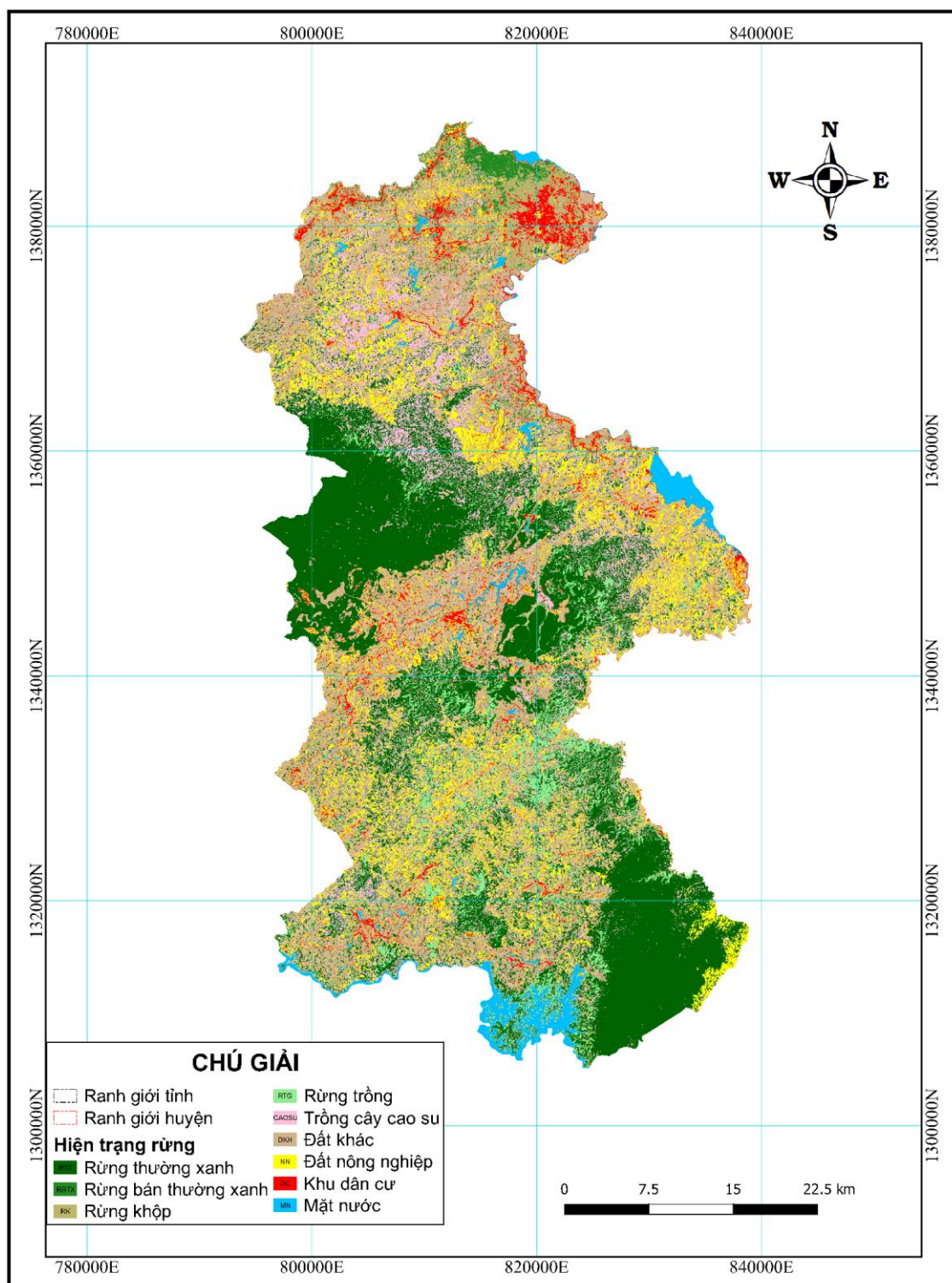
Tỷ lệ 1: 300.000



Hình 3.3. Bản đồ LULC huyện Đắk Glong và huyện Krông Nô năm 2010

**BẢN ĐỒ THẨM PHỦ SỬ DỤNG ĐẤT NĂM 2023
TẠI KHU VỰC HUYỆN ĐẮK GLONG VÀ HUYỆN KRÔNG NÔ - TỈNH ĐẮK NÔNG**

Tỷ lệ 1: 300.000



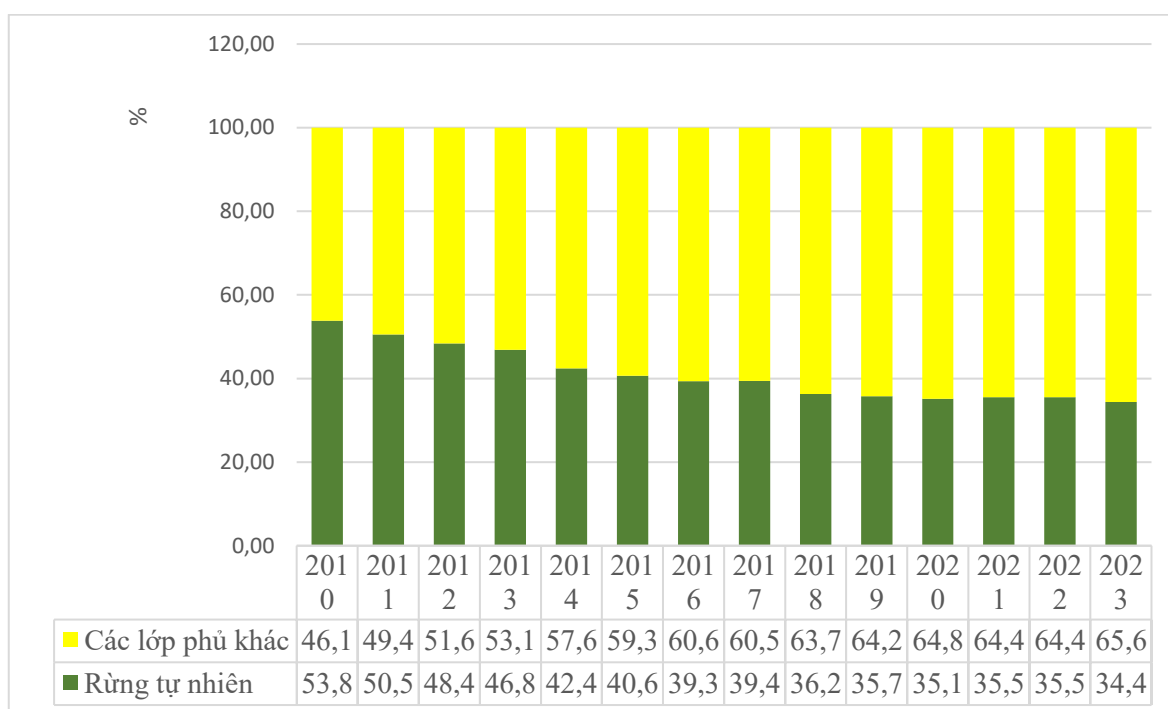
Hình 3.6. Bản đồ LULC huyện Đắk Glong và huyện Krông Nô năm 2023

Bảng 3.5. Kết quả thống kê diện tích của các loại lớp phủ

Đơn vị tính: ha

Tên lớp phủ	RTX	RBTX	RK	RTG	CAOSU	NN	DK	DC	MN	Tổng cộng
Giá trị lớp phủ	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
2010	113.153,30	3.897,27	4.972,41	3.600,09	13.234,73	64.293,93	17.171,06	3.185,99	3.050,11	226.558,89
(%)	49,94	1,72	2,19	1,59	5,84	28,38	7,58	1,41	1,35	100
2011	106.907,10	3.140,73	4.502,88	4.887,81	20.416,05	64.251,18	14.678,94	3.210,39	4.563,81	226.558,89
(%)	47,19	1,39	1,99	2,16	9,01	28,36	6,48	1,42	2,01	100
2012	101.945,30	4.387,47	3.331,27	4.963,23	10.611,11	78.108,57	13.018,63	4.191,39	6.001,92	226.558,89
(%)	45,00	1,94	1,47	2,19	4,68	34,48	5,75	1,85	2,65	100
2013	97.902,81	3.805,57	4.451,49	8.898,66	6.737,04	65.575,46	28.425,93	5.115,69	5.646,24	226.558,89
(%)	43,21	1,68	1,96	3,93	2,97	28,94	12,55	2,26	2,49	100
2014	88.160,67	3.200,04	4.706,54	9.566,02	8.832,69	69.260,67	31.626,18	5.502,24	5.703,84	226.558,89
(%)	38,91	1,41	2,08	4,22	3,90	30,57	13,96	2,43	2,52	100
2015	83.391,03	4.097,17	4.629,05	12.956,75	5.548,06	71.312,69	33.721,27	5.273,46	5.629,41	226.558,89
(%)	36,81	1,81	2,04	5,72	2,45	31,48	14,88	2,33	2,48	100
2016	80.324,91	3.856,41	4.963,58	6.511,70	4.327,92	77.298,74	37.611,00	5.993,73	5.670,90	226.558,89
(%)	35,45	1,7	2,19	2,87	1,92	34,12	16,6	2,65	2,5	100
2017	80.773,11	4.211,46	4.370,13	10.002,05	14.400,97	84.692,50	14.700,16	7.056,04	6.352,47	226.558,89
(%)	35,65	1,86	1,93	4,42	6,36	37,38	6,49	3,11	2,8	100
2018	74.846,07	3.765,43	4.607,19	20.974,14	19.592,64	71.950,79	16.363,95	8.208,63	6.250,05	226.558,89
(%)	33,04	1,22	2,03	13,23	8,65	22,93	12,52	3,62	2,76	100
2019	74.128,59	2.955,34	3.982,05	18.093,96	21.354,93	67.345,83	23.517,98	9.192,87	5.987,34	226.558,89
(%)	32,72	1,30	1,76	7,99	9,43	29,73	10,38	4,06	2,64	100
2020	73.709,37	2.833,47	3.064,86	24.695,68	21.309,73	57.965,01	27.630,89	9.603,74	5.746,14	226.558,89
(%)	32,53	1,25	1,35	10,90	9,41	25,58	12,20	4,24	2,54	100
2021	74.263,23	2.583,00	3.638,70	18.075,24	18.262,89	60.042,24	34.413,92	9.326,71	5.952,96	226.558,89
(%)	32,78	1,14	1,61	7,98	8,06	26,5	15,63	3,68	2,63	100
2022	73.819,98	2.395,43	3.575,42	22.975,10	12.516,48	63.198,27	32.467,59	9.699,78	5.910,84	226.558,89
(%)	32,78	1,14	1,61	7,98	8,06	26,50	15,19	4,12	2,63	100
2023	70.693,83	2.902,50	4.347,18	22.639,86	15.238,15	65.963,52	28.858,38	9.705,92	6.209,55	226.558,89
(%)	31,20	1,28	1,92	9,99	6,73	29,12	12,74	4,28	2,74	100,00

Trong đó: (TX) rừng gỗ tự nhiên lá rộng thường xanh; (RBTX) rừng gỗ tự nhiên lá rộng bán thường xanh; (RK) rừng gỗ tự nhiên lá rộng rụng lá; (RTG) rừng trồng; (CAOSU) Cao su; (NN) đất nông nghiệp; (DC) DC, (MN) mặt nước, (DKH) đất khác.



Hình 3.7. Biểu đồ biến động RTN huyện Đắk Glong và huyện Krông Nô qua các năm trong giai đoạn 2010 - 2023

Kết quả phân tích LULC từ năm 2010 đến 2023, trình bày trong Bảng 3.5 và Hình 3.7, cho thấy sự thay đổi đáng kể về không gian và tỷ trọng giữa các loại rừng và nhóm sử dụng đất. Rừng tự nhiên giảm mạnh từ 122.023 ha còn 77.943 ha, tương đương chiếm từ 53,86% xuống còn 34,4%, phản ánh rõ xu hướng mất rừng. RTG tăng lên thêm khoảng gần 19.000 ha với biến động tăng giảm phức tạp trong từng giai đoạn. Diện tích CAOSU cả giai đoạn tăng lên thêm chỉ khoảng 2.000 ha, tuy nhiên có sự biến động rất phức tạp trong từng giai đoạn, thể hiện tính không ổn định. Diện tích rừng mất dựa vào phân loại ảnh vệ tinh tương đương với thống kê tỉnh và các nghiên cứu quốc tế. Mất rừng tự nhiên dẫn đến nguy cơ suy giảm dịch vụ hệ sinh thái, trong khi RTG và CAOSU khó thay thế chức năng sinh thái rừng nguyên sinh.

3.1.5. Phân tích LULCC trong giai đoạn 2010 – 2023

Dựa trên kết quả phân loại ảnh vệ tinh trong chuỗi thời gian nghiên cứu, ma trận LULCC từng năm trong giai đoạn đã được phân tích và được tổng hợp ở Bảng 3.6, Bảng 3.7, Phụ lục 10 và biểu đồ minh họa Hình 3.8.

Bảng 3.3. Ma trận biến động giai đoạn 2010 - 2011

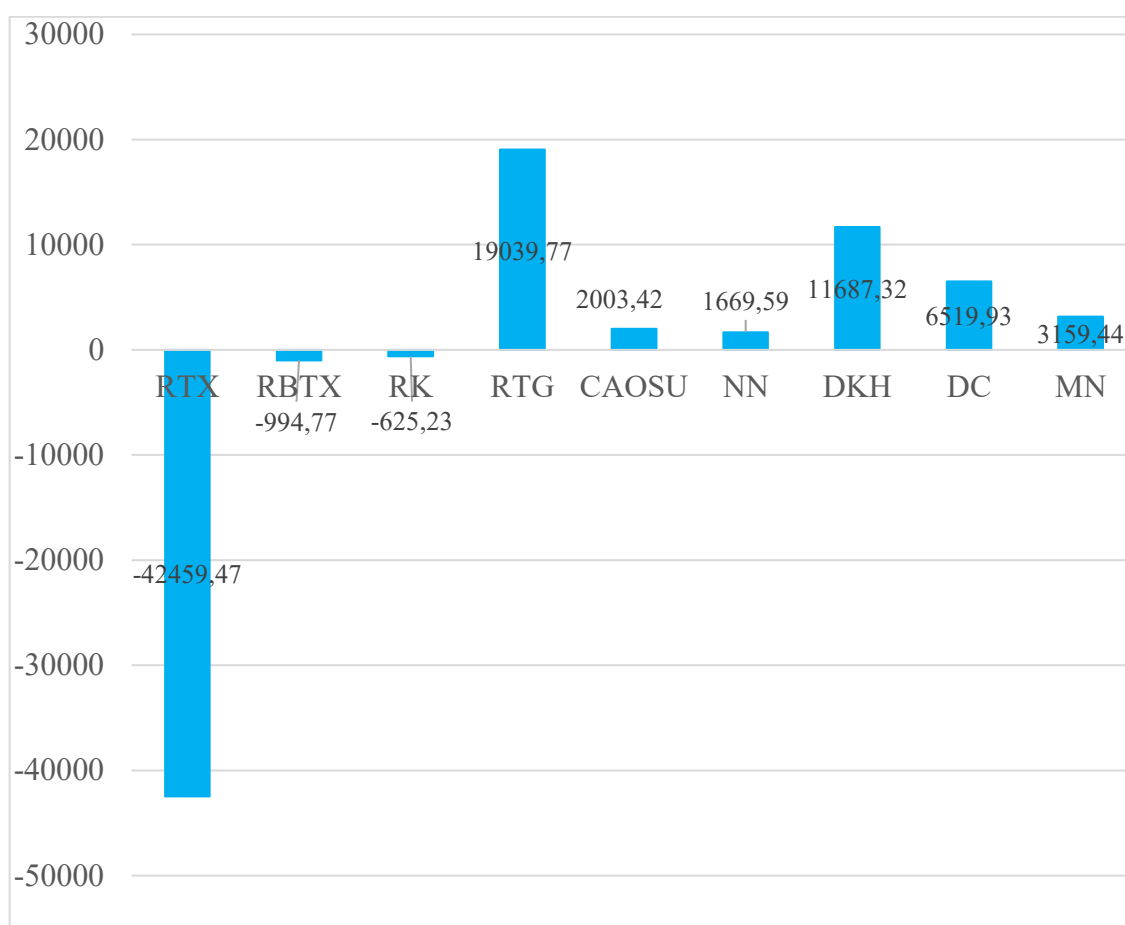
Đơn vị tính: ha

2010	2011									
	CAOSU	DC	DKH	NN	MN	RBTX	RK	RTG	RTX	Tổng
RTX	105.142,44	44,37	25,11	1.404,17	1.107,70	2.128,25	2.628,90	16,56	655,8	113.153,31
RBTX	19,71	1.897,29	485,1	15,3	134,01	1.289,43	13,59	23,94	18,9	3.897,27
RK	22,08	61,73	2.086,58	22,32	388,26	2.203,97	51,48	58,59	77,4	4.972,41
RTG	300,76	1,98	4,05	2.544,77	104,13	243,54	305,82	0,72	94,32	3.600,09
CAOSU	343,22	73,53	126,63	153,27	7.843,01	4.052,00	397,36	13,14	232,57	8.234,73
NN	286,40	835,92	1.351,77	652,28	8.152,64	46.968,53	4.605,41	863,13	577,85	64.293,93
DKH	749,95	149,49	369,83	68,58	2.531,88	6.464,05	6.250,13	413,09	174,06	22.171,05
DC	14,4	54,44	43,54	9,11	144,33	823,79	325,8	1.750,24	20,34	4.185,99
MN	28,14	21,98	10,27	18,01	10,09	77,62	100,45	70,98	2.712,57	2.050,11
Tổng	106.907,13	3.140,73	4.502,88	4.887,81	20.416,05	64.251,18	14.678,91	3.210,39	4.563,81	226.558,89

Bảng 3.4. Ma trận biến động giai đoạn 2010 – 2023

Đơn vị tính: ha

2010	2023									
	CAOSU	DC	DKH	NN	MN	RBTX	RK	RTG	RTX	Tổng
RTX	69.623,42	48,6	93,96	14.050,75	2.977,73	13.816,62	9.695,70	823,59	2.022,93	113.153,30
RBTX	23,58	1.466,82	829,08	19,71	46,8	1.000,89	162,27	313,2	34,92	3.897,27
RK	47,61	155,52	1.731,69	21,51	128,52	1.168,29	223,56	1.414,35	81,36	4.972,41
RTG	79,28	3,06	7,2	1.957,24	239,22	877,05	243,09	79,92	114,03	3.600,09
CAOSU	97,76	66,24	117,36	278,55	7.709,52	3.235,95	1.192,23	202,68	334,44	13.234,73
NN	559,02	839,07	1.068,57	5.626,20	1.345,22	40.312,35	10.064,34	4.136,63	342,53	64.293,93
DKH	181,98	199,62	243,18	639,82	2.573,80	4.765,14	6.680,22	1.622,16	265,14	17.171,06
DC	78,66	116,1	240,21	37,26	215,27	736,02	586,89	1.081,53	94,05	3.185,99
MN	2,52	7,47	15,93	8,82	2,07	51,21	10,08	31,86	2.920,15	3.050,11
Tổng	70.693,83	2.902,50	4.347,18	22.639,86	15.238,15	65.963,52	28.858,38	9.705,92	6.209,55	226.558,89



Hình 3.1. Thay đổi LULC giai đoạn 2010-2023

Kết quả phân tích ma trận biến động sử dụng đất giai đoạn 2010 – 2023 cho thấy:

- RTX: Giảm mạnh nhất trong các loại lớp phủ, 34% diện tích chủ yếu chuyển sang RTG, NN, DKH.
- RBTX & RK: Bị thu hẹp, 64% diện tích chuyển sang chủ yếu là NN và DC.
- RTG: Tăng thêm khoảng 19.000 ha, đa phần diện tích lớp phủ này được giữ nguyên, diện tích RTG tăng lên là do các lớp phủ khác chuyển đổi qua, trong đó RTN là 14.091,97 ha (chủ yếu là diện tích RTX chuyển đổi), chiếm 74% tổng diện tích tăng của lớp RTG.
- NN & DKH: Biến động lớn, mở rộng từ RTX, RTG; có sự chuyển đổi qua lại phức tạp.
- DC: Tăng gấp 3 lần, chủ yếu từ NN và DKH chuyển sang.
- MN: Tăng nhẹ, chủ yếu từ RTX và NN, gắn với phát triển thủy điện.

Tổng thể: LULCC phản ánh xu hướng suy giảm RTN, mở rộng NN, DKH, DC; chịu tác động mạnh của KT–XH, chính sách đất đai và nhu cầu phát triển → cần quản lý, quy hoạch bền vững.

3.2. Xác định điểm nóng FCC

3.2.1. Phân tích tương quan không gian và xác định điểm nóng

Bảng 3.8 trình bày kết quả phân tích cụm không gian (Hot Spot Analysis) cho biến động LULC giai đoạn 2010–2023, qua đó xác định được các điểm nóng mất rừng tập trung chủ yếu tại các vùng giáp ranh giữa rừng tự nhiên và khu vực canh tác nông nghiệp. Những khu vực này có mức độ biến động cao, phản ánh áp lực sử dụng đất và hoạt động chuyển đổi mạnh.

Bảng 3.8: Kết quả phân tích cụm không gian Hotspot của LULCC 2010 - 2023

TT	Giai đoạn	Phân loại GiBin theo thuật toán <i>Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*)</i>							Diện tích (ha)
		-3	-2	-1	0	1	2	3	
1	2010-2023	-	4.477,59	-	34,92	2.022,93	41.467,27	-	48.002,71
2	2010-2011	-	18,90	439,74	5.602,05	4.049,63	2.128,25	-	12.238,57
3	2011-2012	-	-	-	10.440,21	-	-	-	10.440,21
4	2012-2013	-	379,00	2.594,15	2.086,20	-	2.685,28	1.347,15	9.091,78
5	2013-2014	-	-	-	6.771,16	9.799,09	-	-	16.570,25
6	2014-2015	-	1.456,83	2.587,49	1.044,08	-	8.461,05	-	13.549,45
7	2015-2016	-	1.554,48	1.093,87	624,33	2.882,11	3.212,32	-	9.367,11
8	2016-2017	-	-	-	10.892,37	-	-	-	10.892,37
9	2017-2018	-	4.427,73		21,15		279,81	11.614,60	16.343,29
10	2018-2019	-	-	-	5.052,40	-	-	5.509,48	10.561,88
11	2019-2020	-	-	90,90	3.065,28	6.056,69	-	-	9.212,87
12	2020-2021	-	-	-	7.040,15	4073,94	-	146,87	11.260,96
13	2021-2022	-	-	20,97	4.247,27	6.892,67	3.114,17	-	14.275,08
14	2022-2023		-	-	10.923,06	6.526,99	37,26	94,23	17.581,54

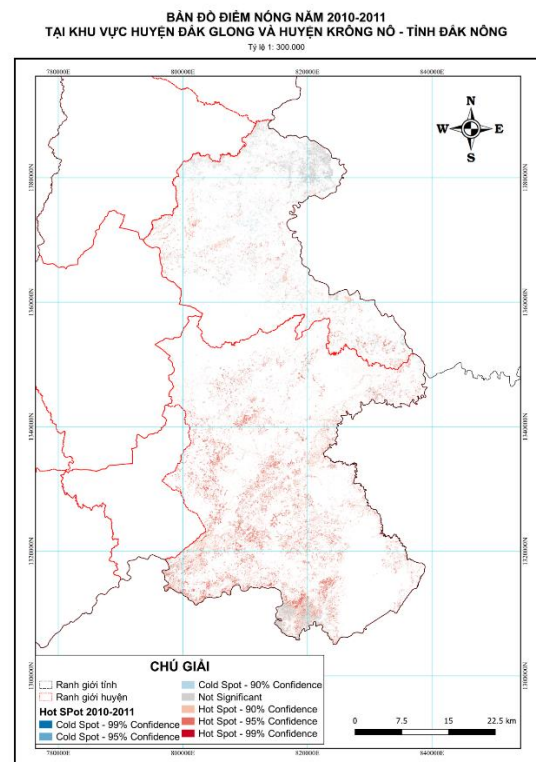
Ghi chú: [-3] - (99% confidence cold spot); [-2] - (95% confidence cold spot); [-1] - (90% confidence cold spot); 0 - (no significant cluster); [1] - (90% confidence hot spot); [2] - (95% confidence hot spot); [3] - (99% confidence hot spot)

Bảng 3.8 cho thấy điểm nóng không gian xuất hiện không đồng đều giữa các năm, với giai đoạn 2017–2018 nổi bật nhất khi ghi nhận 11.614 ha thuộc cụm nóng mức độ cao ($Gi^* = 3$). tổng diện tích RTN hình thành cụm không gian có ý nghĩa thống kê là 47.967,79 ha, trong đó cụm nóng chiếm ưu thế (90,67%), cụm lạnh chiếm 9,33%, và hầu như không có diện tích nằm ngoài cụm (<0,1%). Điều này khẳng định các biến động FCC chủ yếu diễn ra tập trung theo những cụm không gian nhất định thay vì phân tán.

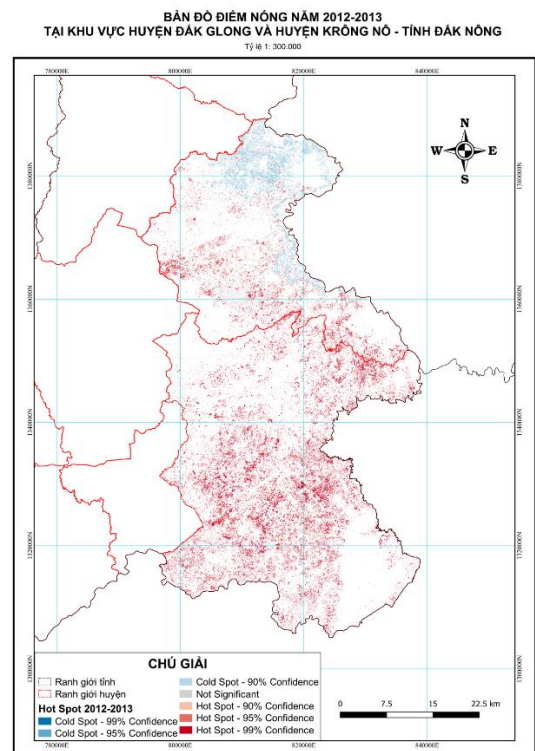
3.2.2. Bản đồ điểm nóng FCC

Bản đồ điểm nóng FCC được xây dựng dựa trên dữ liệu ảnh viễn thám kết hợp với phân tích GIS được thể hiện trên Bản đồ điểm nóng FCC theo từng cặp năm giúp nhận diện rõ xu hướng không gian – thời gian của biến động thảm phủ rừng tại Đắk Glong và Krông Nô. Giai đoạn 2010–2013, điểm nóng còn rải rác; từ 2015–2020 xuất hiện nhiều cụm nóng tập trung tại rìa rừng, gần khu dân cư và giao thông – phản ánh mất rừng tăng nhanh. Giai đoạn 2020–2023, mật độ điểm nóng giảm nhưng phân bố vẫn rộng, cho thấy áp lực suy giảm rừng còn hiện hữu. Kết quả này là cơ sở định hướng quản lý, xác định điểm khảo sát thực địa và phân tích các yếu tố tác động bằng mô hình SEM.

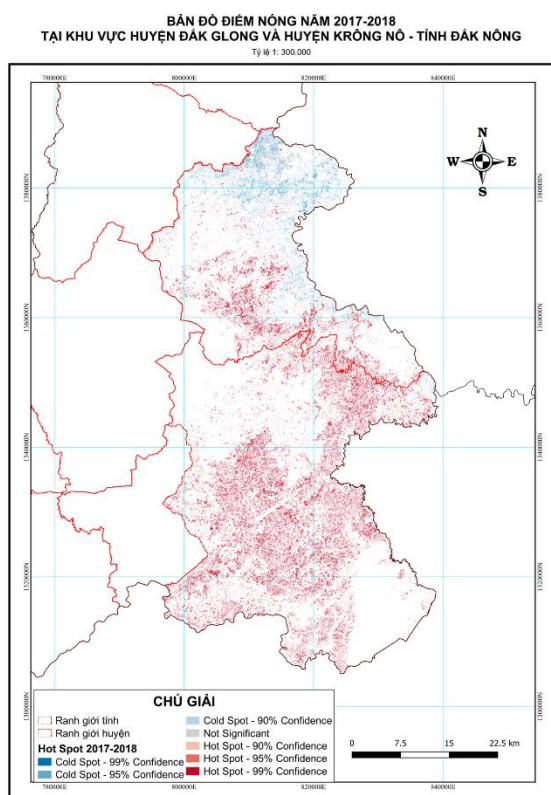
Các kết quả bản đồ điểm nóng FCC tại khu vực nghiên cứu được thể hiện ở Hình 3.8 dưới đây theo từng giai đoạn, trong khi đó Hình 3.9 đến Hình 3.13 và Phụ lục 12 theo từng cặp giai đoạn và cả giai đoạn điều tra, trong khi đó Hình 3.14 mô tả trực quan như một ví dụ về sự thay đổi chi tiết của một vùng.



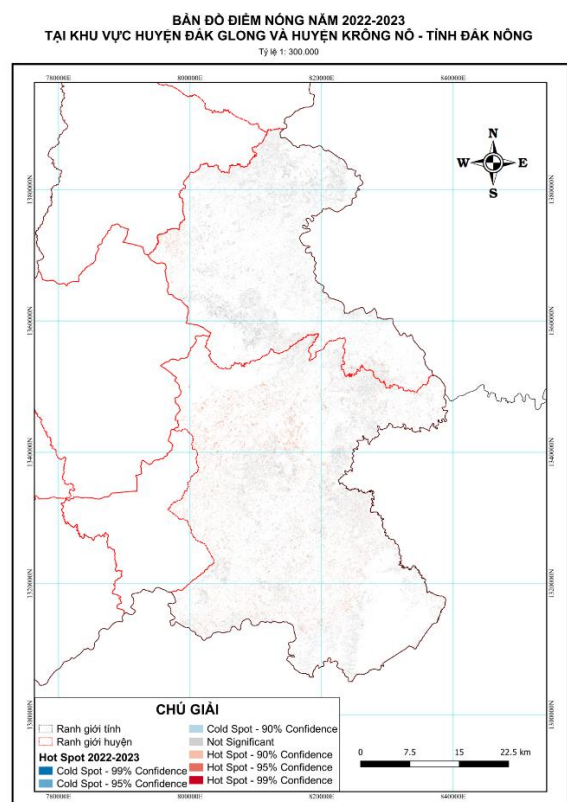
Hình 3.9. Bản đồ điểm nóng giai đoạn 2010 – 2011



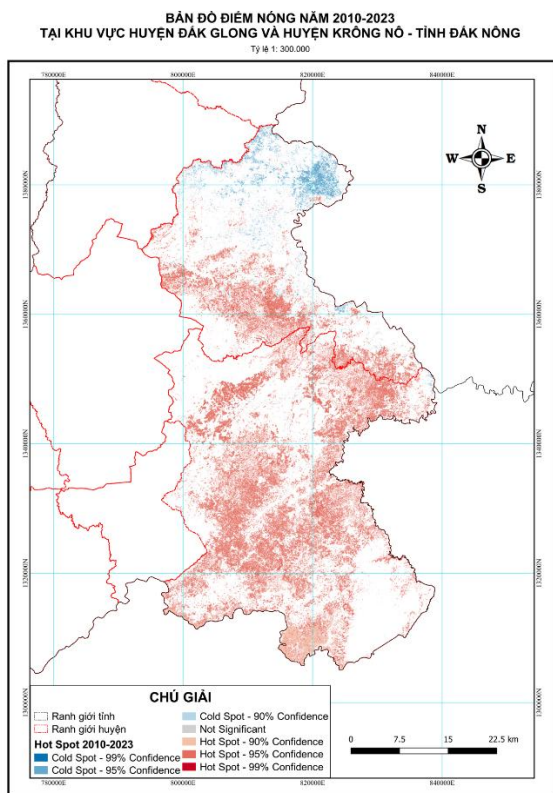
Hình 3.10. Bản đồ điểm nóng giai đoạn 2012 - 2013



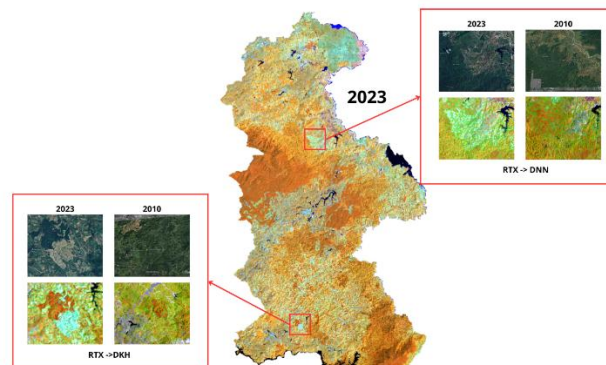
Hình 3.11. Bản đồ điểm nóng giai đoạn 2017 - 2018



Hình 3.12. Bản đồ điểm nóng giai đoạn 2022 - 2023



Hình 3.12. Bản đồ điểm nóng giai đoạn 2010 - 2023



Hình 3.14. Hình vùng mẫu điểm nóng phóng đại

3.3. Phân tích mối quan hệ giữa các nhóm biến động lớp phủ rừng với đặc điểm TN-KT-XH

3.3.1. Thống kê dữ liệu các nhân tố TN-KT-XH tác động

Thông qua kết quả phân tích FCC dựa vào ảnh vệ tinh đa thời gian từ năm 2010 đến năm 2023, đề tài đã thống kê được giá trị các biến quan sát, kết quả thể hiện ở Bảng 3.9.

Bảng 3.5. Thống kê giá trị các biến phụ thuộc

Biến Phụ thuộc	Rừng tự nhiên -> Rừng trồng, cao su (ha)	Rừng tự nhiên -> Nông nghiệp (ha)	Rừng tự nhiên -> Dân cư (ha)	Rừng tự nhiên -> Đất khác (ha)
Năm	RT	DNN	DDC	DK
2010				
2011	3.071,76	5.621,65	2.693,97	99,09
2012	649,02	8.276,86	877,50	325,35
2013	6.022,15	3.029,56	2.817,14	201,69
2014	5.434,45	6.357,06	4.465,90	255,60
2015	3.241,81	5.437,20	1.256,72	804,33
2016	2.420,89	3.986,87	2.252,40	657,45
2017	4.048,43	4.966,45	467,28	1.176,57
2018	7.442,83	5.826,42	1.247,39	801,81
2019	5.688,58	3.308,47	1.046,52	485,91
2020	3.653,38	4.583,26	592,29	367,38
2021	8.315,17	2.348,60	351,62	219,29
2022	5.461,99	5.491,43	2.821,89	487,08
2023	8.253,50	7.185,95	1.111,14	1.004,31

Thông qua niên giám thống kê đề, đề tài thống kê được các biến: Nhiệt độ, lượng mưa, số lượng doanh nghiệp, dân số. Kết quả thể hiện chi tiết ở Bảng 3.10. sau đây:

Bảng 3.10. Giá trị các biến độc lập dựa vào niên giám thống kê

Biến độc lập	Nhiệt độ (0C)	Lượng mưa (mm)	Dân cư (người)	Số DN đang hoạt động kinh doanh
Năm	ND	LM	DC	SDN
2010	24	1.760	105.359	60
2011	23	2.272	107.839	73
2012	24	2.656	111.121	94
2013	23	2.174	116.769	116
2014	23	2.232	119.281	126
2015	24	2.025	126.125	159
2016	24	1.994	132.797	175
2017	23	2.723	138.319	180
2018	23	2.019	140.043	158
2019	24	2.240	143.217	205
2020	24	1.966	146.176	240
2021	24	2.766	155.219	247
2022	23	2.235	154.861	253
2023	23	2.513	158.898	258

Thông qua niên giám thống kê kết hợp với thông tin thị trường và phỏng vấn, đề tài đã xác định giá trị biến giá nông sản thể hiện chi tiết ở Bảng 3.11. sau đây:

Bảng 3.11. Giá trị biến giá nông sản dựa

Năm	Sản lượng nông sản chính (Tấn)				Giá nông sản chính (VNĐ)				Giá nông sản trung bình (VNĐ) - GNS
	Cà phê	Tiêu	Điều	Cao su	Cà phê	Tiêu	Điều	Cao su	
2010	28.890	1.136	4.073	73	35.000	100.000	30.000	38.000	36.571
2011	35.335	1.122	4.359	207	50.000	130.000	40.000	32.000	51.035
2012	40.242	1.022	3.981	264	39.000	160.000	25.000	40.000	40.498
2013	42.944	963	5.198	714	40.000	200.000	30.000	30.000	41.906
2014	51.631	1.250	3.798	1.184	41.000	220.000	29.000	15.000	43.547
2015	51.072	1.290	3.823	2.281	37.000	230.000	34.000	11.000	40.048
2016	52.785	1.777	3.499	2.370	40.000	130000	38.000	10.000	41.354
2017	64.610	2.401	3.700	1.873	43.000	80.000	34.000	8.000	42.862
2018	66.509	2.214	4.286	1.003	33.000	42.000	32.000	9.000	32.886
2019	73.337	3.248	4.300	900	30.000	43.000	31.000	12.000	30.371
2020	77.920	3.394	4.236	1.000	33.000	36.000	35.000	11.000	32.961
2021	86.006	4.362	3.892	676	40.000	64.000	33.000	16.000	40.645
2022	101.946	5.720	3.180	771	41.000	78.000	35.000	18.000	42.566
2023	106.354	6.231	3.082	695	67.000	68.000	28.000	20.000	65.740

Thông qua tính toán trong ArcGIS xác định giá trị biến khoảng cách đến khu dân cư, khoảng cách đến đất nông nghiệp và khoảng cách đến đường giao thông. Kết quả thu được thể hiện cụ thể ở Bảng 3.12 sau:

Bảng 3.12. Giá trị các biến dựa vào tính toán			
Biến tiềm ẩn	Khoảng cách đến đất nông nghiệp (m)	Khoảng cách đến khu dân cư (m)	Khoảng cách đến đường giao thông (m)
Năm	KNN	KDC	KGT
2010	3.594	4.905	3.822
2011	3.585	4.632	3.510
2012	3.291	4.669	3.502
2013	3.037	4.009	3.500
2014	2.667	3.958	3.312
2015	2.381	3.538	3.067
2016	2.232	3.471	3.033
2017	2.341	2.869	3.004
2018	2.173	2.664	2.922
2019	2.187	2.344	2.523
2020	2.065	2.325	2.511
2021	2.081	2.312	1.664
2022	2.020	2.304	1.634
2023	2.008	2.291	1.156

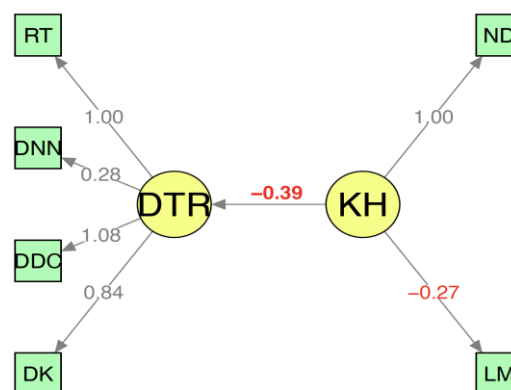
3.3.2. Phân tích tác động của các nhân tố TN – KT – XH đến FCC

3.3.2.1. Tác động của các yếu tố khí hậu

Bảng 3.13. Các chỉ số kiểm tra sự phù hợp của mô hình tác động của các yếu tố khí hậu

STT	Chỉ số phù hợp với mô hình	Điểm cắt	Mô hình
1	X ² (CMIN)	P < 0.05	23,6 (P=0,07)
	Định mức (CMIN/DF)	<= 3	23,6/15=1,6
	Độ tốt của chỉ số phù hợp (GFI)	>= 0,9	0,89
	Tiêu chuẩn dư (SRMR)	<= 0,08	0,2
2	Chỉ số phù hợp định mức (NFI)	> 0,9	0,73
	Chỉ số phù hợp so sánh (CFI)	> 0,9	1

✚ Sơ đồ liên hệ giữa các biến



Hình 3.16. Sơ đồ thể hiện sự tác động của yếu tố khí hậu lên sự thay đổi đất rừng tự nhiên

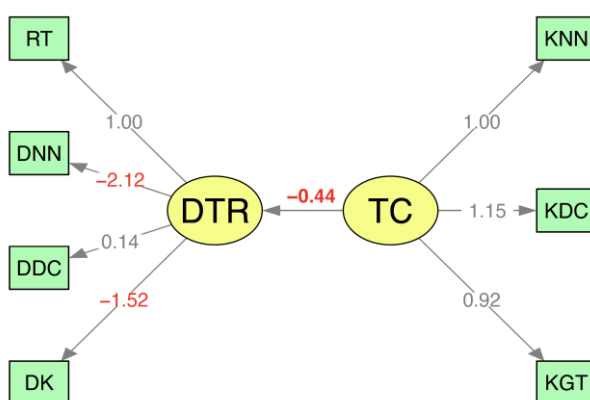
Phân tích SEM cho thấy khí hậu tác động trực tiếp và tỷ lệ nghịch đến sự thay đổi diện tích rừng tự nhiên (ước lượng -0,39), nghĩa là khi khí hậu xấu đi, rừng có xu hướng suy giảm. Dù mô hình chưa đạt ý nghĩa thống kê ($P = 0,07$), nhưng vẫn đạt độ phù hợp với các chỉ số $CMIN/df = 1,6$, $CFI = 1$, và được xác nhận bởi NNFI, RMSEA, IFI (Phụ lục). Tác động gián tiếp lớn nhất là chuyển rừng thành đất dân cư (1,08), thấp nhất là thành đất nông nghiệp (0,28). Trong các yếu tố khí hậu, nhiệt độ có ảnh hưởng lớn hơn lượng mưa.

3.3.2.2. Tác động của yếu tố khoảng cách tiếp cận

Bảng 3.14. Các chỉ số kiểm tra sự phù hợp của mô hình tác động của các yếu tố khoảng cách tiếp cận

STT	Chỉ số phù hợp với mô hình	Điểm cắt	Mô hình
1	Phù hợp tuyệt đối	X^2 (CMIN)	$P < 0.05$
		Định mức (CMIN/DF)	75 (P=0,00)
		Độ tốt của chỉ số phù hợp (GFI)	≤ 3
		Tiêu chuẩn dư (SRMR)	$\geq 0,9$
2	Phù hợp tăng cường	Chỉ số phù hợp định mức (NFI)	$\leq 0,08$
		Chỉ số phù hợp so sánh (CFI)	0,13
			0,82
			0,99

✚ Sơ đồ liên hệ giữa các biến



Hình 3.17. Sơ đồ thể hiện sự tác động của yếu tố khoảng cách tiếp cận sự thay đổi đất rừng tự nhiên

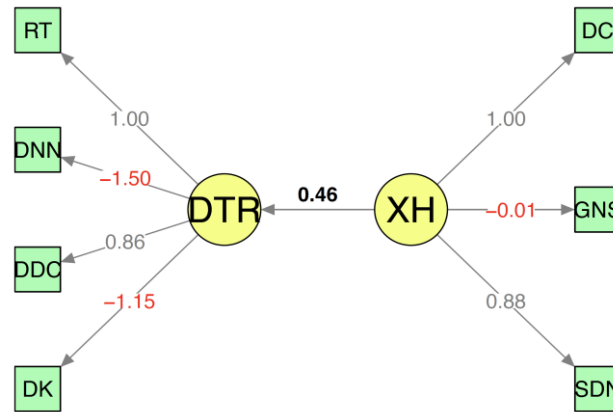
Kết quả đánh giá cho thấy mô hình SEM về yếu tố khoảng cách tiếp cận đạt mức phù hợp tốt. Khoảng cách tiếp cận tác động trực tiếp tỷ lệ nghịch đến sự thay đổi rừng tự nhiên (ước lượng -0,44), tức khi rừng càng gần khu dân cư, đất nông nghiệp hoặc đường giao thông thì nguy cơ chuyển đổi rừng càng cao. Tác động gián tiếp mạnh nhất là chuyển rừng sang đất nông nghiệp (-2,12), thấp nhất là sang đất ở (0,14). Trong ba biến khoảng cách, khoảng cách đến khu dân cư có ảnh hưởng lớn nhất (1,15), tiếp theo là đất nông nghiệp (1,00) và đường giao thông (0,92).

3.3.2.3. Tác động của các yếu tố KT-XH

Bảng 3.15. Các chỉ số kiểm tra sự phù hợp của mô hình tác động của các yếu tố KT-XH

STT	Chỉ số phù hợp với mô hình	Điểm cắt	Mô hình
1	Phù hợp tuyệt đối	X^2 (CMIN)	$P < 0.05$
		Định mức (CMIN/DF)	81 (P=0,00)
		Độ tốt của chỉ số phù hợp (GFI)	≤ 3
		Tiêu chuẩn dư (SRMR)	$\geq 0,9$
2	Phù hợp tăng cường	Chỉ số phù hợp định mức (NFI)	$\leq 0,08$
		Chỉ số phù hợp so sánh (CFI)	0,14
			0,78
			0,92

✚ Sơ đồ liên hệ giữa các biến



Hình 3.18. Sơ đồ thể hiện sự tác động của yếu tố KT-XH lên sự thay đổi đất rừng tự nhiên

Mô hình SEM cho thấy yếu tố KT-XH tác động trực tiếp tỷ lệ thuận đến thay đổi rừng tự nhiên với hệ số ước lượng 0,46; tức khi dân số, giá nông sản và số doanh nghiệp tăng, diện tích rừng có xu hướng suy giảm do chuyển đổi mục đích sử dụng đất. Mô hình đạt ý nghĩa thống kê ($P = 0,00$), CFI = 0,92 tốt. Tác động gián tiếp lớn nhất là chuyển rừng sang đất nông nghiệp (-1,5), thấp nhất là sang đất ở (0,86). Trong ba yếu tố, dân số tăng có ảnh hưởng mạnh nhất (1,00), tiếp đến là số doanh nghiệp (0,88), trong khi giá nông sản có ảnh hưởng rất thấp (-0,01).

Từ kết quả tổng hợp trên, các nhân tố ND, KNN, KDC, KGT, DC và SDN đều đạt $\beta > 0,5$ và được lựa chọn là các nhân tố tác động có ý nghĩa cao.

3.4. Dự báo thay đổi LULC đến năm 2035 dưới tác động của các nhân tố TN – KT – XH

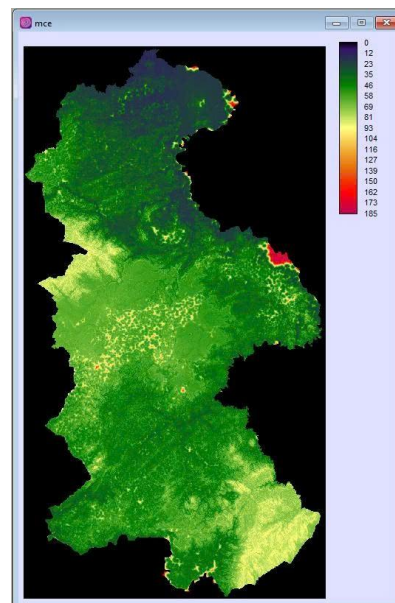
Từ tổng hợp các nghiên cứu đã có chứng minh được nhân tố độ cao và độ dốc có tác động đến LULCC (Park, 2018; N.T.T.Huong, 2011). Kết hợp với kết quả của nghiên cứu SEM, đề tài quyết định lựa chọn các nhân tố sau để sử dụng dự báo FCC dưới tác động của các nhân tố: Nhiệt độ, khoảng cách đến đất nông nghiệp, khoảng cách đến dân cư, khoảng cách đến giao thông, biến động dân cư và số lượng doanh nghiệp.

Như vậy, các nhân tố tác động đưa vào dự báo LULCC đến năm 2035 bao gồm: Độ dốc, độ cao, nhiệt độ, khoảng cách đến đất nông nghiệp, khoảng cách đến dân cư, khoảng cách đến giao thông, biến động dân cư và số lượng doanh nghiệp.

3.4.1. Bản đồ đa nhân tố ảnh hưởng

Để xây dựng bản đồ đa nhân tố nghiên cứu sử dụng công cụ Decision Wizard trong phần mềm IDRISI với các nhóm biến tác động đã được xác định. Kết quả thể hiện ở Hình 3.20.

Hình 3.20 cho thấy thể hiện mức độ tác động của mô hình phân tích đa nhân tố dựa trên các biến số ảnh hưởng. Các nhân tố này đã được chuẩn hóa theo phạm vi từ 0 đến 190, theo đó giá trị cao đại diện cho mức độ nhạy cảm hoặc tổn thương lớn. Giá trị ảnh càng tăng thì khu vực đó càng quan trọng cần được bảo vệ khỏi sự mở rộng đô thị, các kế hoạch cung cấp dịch vụ hệ sinh thái rừng và các quy hoạch sử dụng đất (López-Marrero et al, 2011).



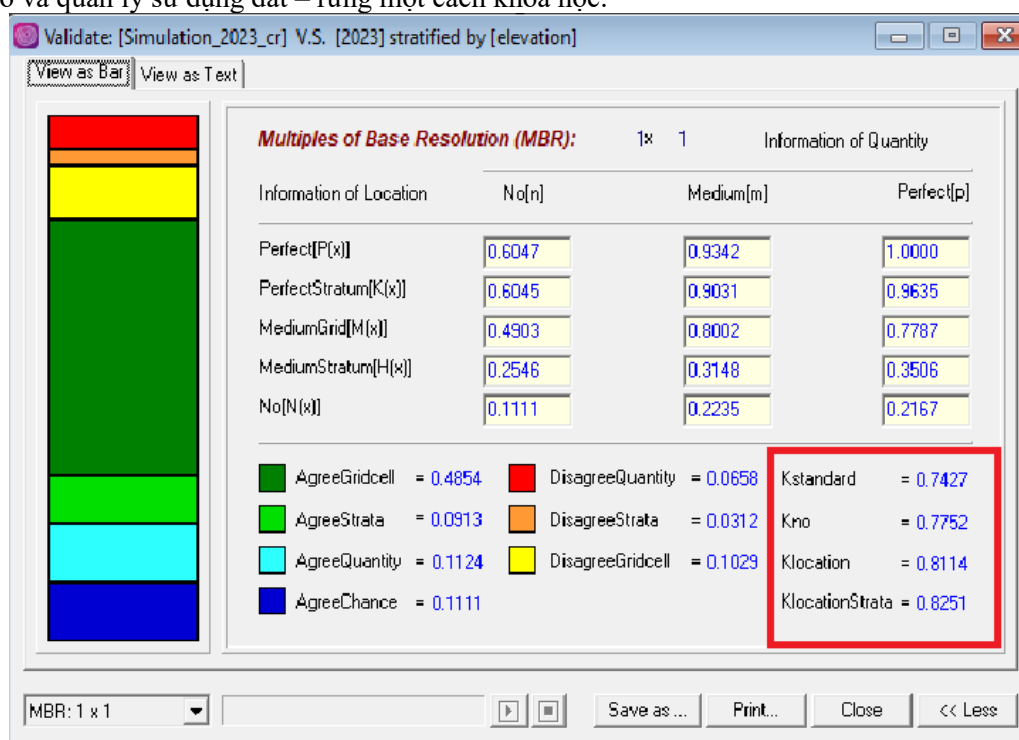
Hình 3.20. Ảnh MCE của các nhân tố ảnh hưởng

3.4.2. Đánh giá độ chính xác mô hình dự đoán

Kết quả đánh giá mô hình dự báo năm 2023 (Bảng 3.17 và Hình 3.21) cho thấy độ tương đồng với dữ liệu thực tế đạt giá trị K giao động từ 0,74 đến 0,82, tương ứng mức độ tương đồng từ vừa đến cao theo thang đo dần theo của Navulur (2006). Đáng chú ý, chỉ số Kno vượt ngưỡng 70%, một minh chứng quan trọng cho sự thành công của mô hình và là cơ sở để tiếp tục triển khai dự báo cho năm 2033 (Pontius, 2000). Bên cạnh đó, giá trị DisagreeGridcell lớn hơn DisagreeQuantity, điều này có nghĩa là mô hình có khả năng dự đoán sự LULCC về số lượng cao hơn so với vị trí trong khu vực nghiên cứu (Pickard et al., 2017).

Sai số tuyệt đối giữa diện tích mô phỏng và thực tế trung bình (Bảng 3.17) là 12%, trong đó các lớp như RTX, RBTX, RTG và CAOSU có sai số thấp (0,2–8,6%), còn DKH, DC, NN sai số cao hơn (>17%) do tính biến động mạnh.

Nhìn chung, mô hình tích hợp SEM và M_CA cho kết quả đáng tin cậy, có thể ứng dụng trong dự báo và quản lý sử dụng đất – rừng một cách khoa học.



Hình 3.21. Kết quả so sánh độ chính xác ảnh phân loại 2023 và ảnh dự báo năm 2023

Bảng 3.17. Đối chiếu diện tích phân loại và diện tích mô hình ước tính

Đơn vị tính: ha

TT	Lớp phủ	Năm 2023		Chênh lệch tuyệt đối	% chênh lệch
		Diện tích ước tính mô hình	Diện tích thực tế		
1	RTX	70.693,83	67.577,50	3.116,33	4,4
2	RBTX	2.902,50	2.895,66	6,84	0,2
3	RK	4.347,18	5.067,60	-720,42	16,6
4	RTG	22.639,86	24.021,30	-1.381,44	6,1
5	CAOSU	15.238,15	13.921,50	1.316,65	8,6
6	NN	65.963,52	77.662,20	-11.698,68	17,7
7	DK	28.858,38	22.109,20	6.749,18	23,4
8	DC	9.705,92	7.721,95	1.983,97	20,4
9	MN	6.209,55	5.581,98	627,57	10,1
Tổng cộng		226.557,36	226.557,36	226.558,89	12

3.4.3. Dự báo LULCC đến năm 2035

3.4.3.1. Kết quả dự báo LULCC đến năm 2035

Để đánh giá xu hướng LULCC trong tương lai, nghiên cứu đã dự báo thay đổi lớp phủ đến năm 2035 dựa trên kết quả phân loại và mô hình không gian. Bảng 3.18 thể hiện sự thay đổi diện tích từng lớp phủ giữa năm 2023 và 2035, qua đó phản ánh xu hướng chuyển đổi đất đai và những rủi ro hoặc cơ hội cho công tác quy hoạch, quản lý sử dụng đất.

Bảng 3.6. Kết quả dự báo thay đổi LULCC từ năm 2023 – 2035

Đơn vị tính: ha

TT	Tên lớp phủ	Năm 2023	Năm 2035	Diện tích tăng/giảm (ha)
1	RTX	70.693,83	67.587,60	-3.106,23
2	RBTX	2.902,50	1.500,98	-1.401,52
3	RK	4.347,18	3.255,08	-1.092,10
4	RTG	22.639,86	16.931,60	-5.708,26
5	CAOSU	15.238,15	25.993,30	10.755,15
6	NN	65.963,52	77.502,80	11.539,28
7	DKH	28.858,38	17.466,95	-11.391,43
8	DC	9.705,92	10.730,41	1.024,49
9	MN	6.209,55	5.590,17	-619,38
Tổng cộng		Tổng cộng	226.558,89	226.558,89

Dự báo LULC năm 2035 cho thấy rừng tự nhiên (RTN) suy giảm gần 5.600 ha ($\approx 7,2\%$), phản ánh áp lực lớn từ khai thác, chuyển đổi mục đích sử dụng đất và phát triển KT–XH.

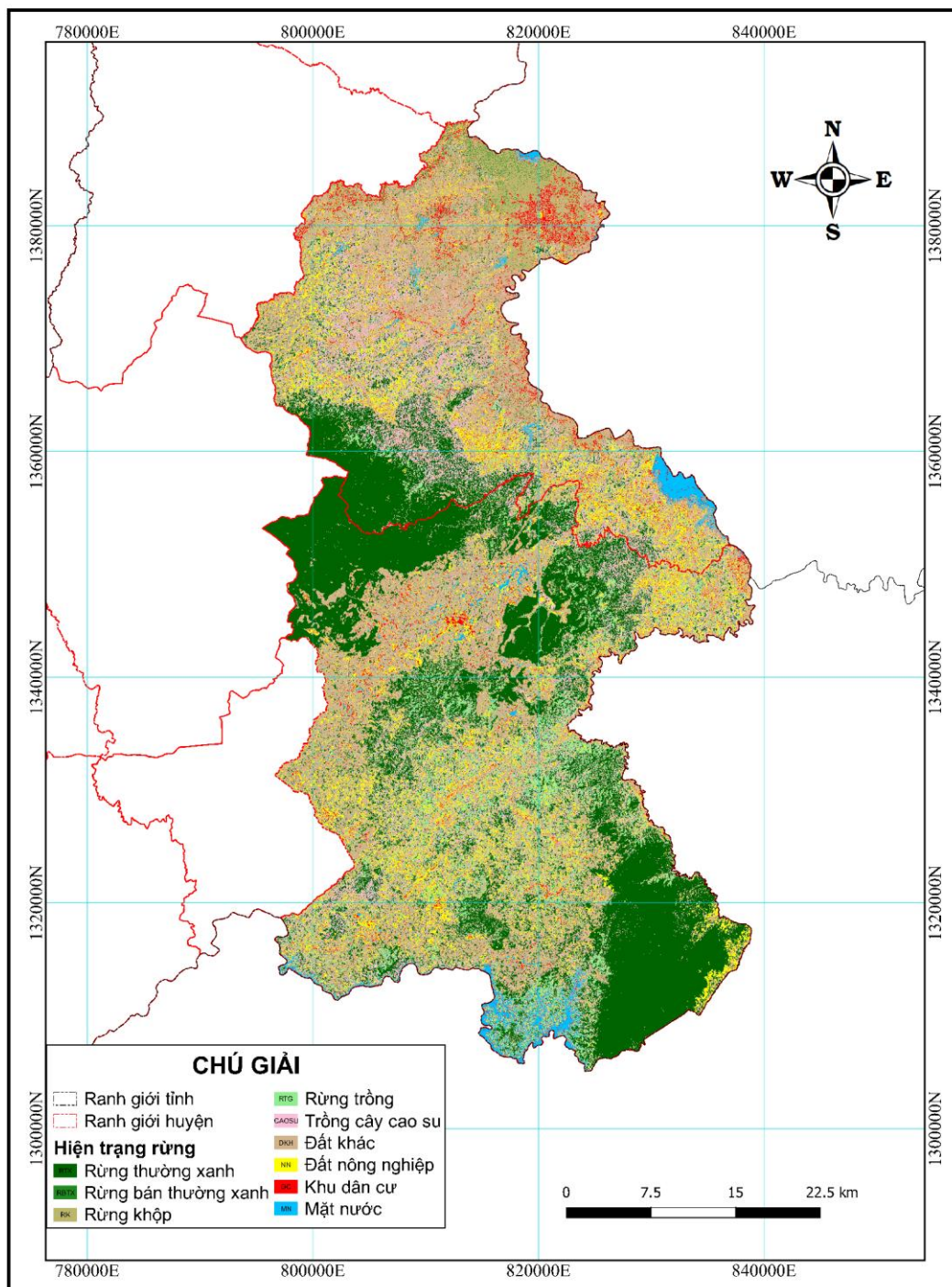
Bên cạnh đó, rừng trồng (RTG) cũng giảm khoảng 5.700 ha, trong khi NN và CAOSU tăng mạnh (lần lượt hơn 11.500 ha và 10.700 ha). DKH giảm đáng kể, DC tăng nhẹ, MN thu hẹp, phản ánh tác động của sản xuất, đô thị hóa và hạ tầng.

Xu thế chung cho thấy sự đánh đổi giữa bảo tồn tài nguyên rừng và nhu cầu phát triển, đặt ra yêu cầu cấp thiết về quản lý, quy hoạch bền vững và thích ứng BĐKH.

3.4.3.2. Thành lập bản đồ dự báo LULC năm 2035

Dựa trên mô hình phân tích không gian bản đồ LULC năm 2035 đã được xây dựng nhằm trực quan hóa các xu hướng thay đổi thảm phủ trong tương lai. Hình 3.23 thể hiện phân bố không gian của các LULC.

BẢN ĐỒ THẨM PHỦ SỬ DỤNG ĐẤT NĂM 2035
TẠI KHU VỰC HUYỆN ĐẮK GLONG VÀ HUYỆN KRÔNG NÔ - TỈNH ĐẮK NÔNG
 Tỷ lệ 1: 300.000



Hình 3.2. Bản đồ LCLC dự báo năm 2035

Bảng 3.19. Ma trận biến động giai đoạn 2023 - 2035*Đơn vị tính: ha*

2035	2023									
	RTX	RBTX	RK	RTG	CAOSU	DNN	DKH	DC	MN	Tổng
RTX	64.685,68	56,46	118,44	1.027,18	620,15	996,08	64,26	14,40	4,95	67.587,60
RBTX	51,98	1.194,50	100,10	25,00	100,36	24,99	0,09	2,52	1,44	1.500,98
RK	70,41	41,59	2.919,75	10,17	25,29	57,28	20,07	100,08	10,44	3.255,08
RTG	266,45	1,26	2,79	12.293,22	788,76	2.644,74	839,70	35,46	59,22	16.931,60
CAOSU	1.935,43	1.531,95	716,87	6.443,65	11.449,10	1.989,81	1.517,49	86,04	322,96	25.993,30
DNN	1.432,18	46,89	75,33	2.142,72	1.849,71	57.033,90	10.382,28	3.257,02	1.282,77	77.502,80
DKH	1.501,21	0,72	3,33	622,44	27,19	236,59	13.989,67	724,00	361,80	17.466,95
DC	240,50	28,89	409,94	55,07	243,90	2.719,55	1.505,81	5.347,98	178,77	10.730,41
MN	509,99	0,24	0,63	20,41	133,69	260,58	539,01	138,42	3.987,20	5.590,17
Tổng	70.693,83	2.902,50	4.347,18	22.639,86	15.238,15	65.963,52	28.858,38	9.705,92	6.209,55	226.558,89

Bảng 3.19 cho thấy mất rừng vẫn là xu hướng đáng lo ngại trong giai đoạn 2023–2035. Diện tích RTX dự báo mất chủ yếu chuyển sang RTG và NN, trong khi RBTX và RK cũng tiếp tục suy giảm với tỷ lệ mất lần lượt là 48% và 25%. Xu hướng này phản ánh áp lực chuyển đổi đất rừng sang mục đích kinh tế, đặc biệt RTG, CAOSU và NN. Đây là cơ sở quan trọng để xây dựng các giải pháp bảo vệ rừng, như ưu tiên bảo tồn vùng lõi RTX, kiểm soát mở rộng cây công nghiệp và quy hoạch sử dụng đất theo hướng bền vững.

3.4.3.3. Thành lập bản đồ dự báo điểm nóng LULC năm 2035

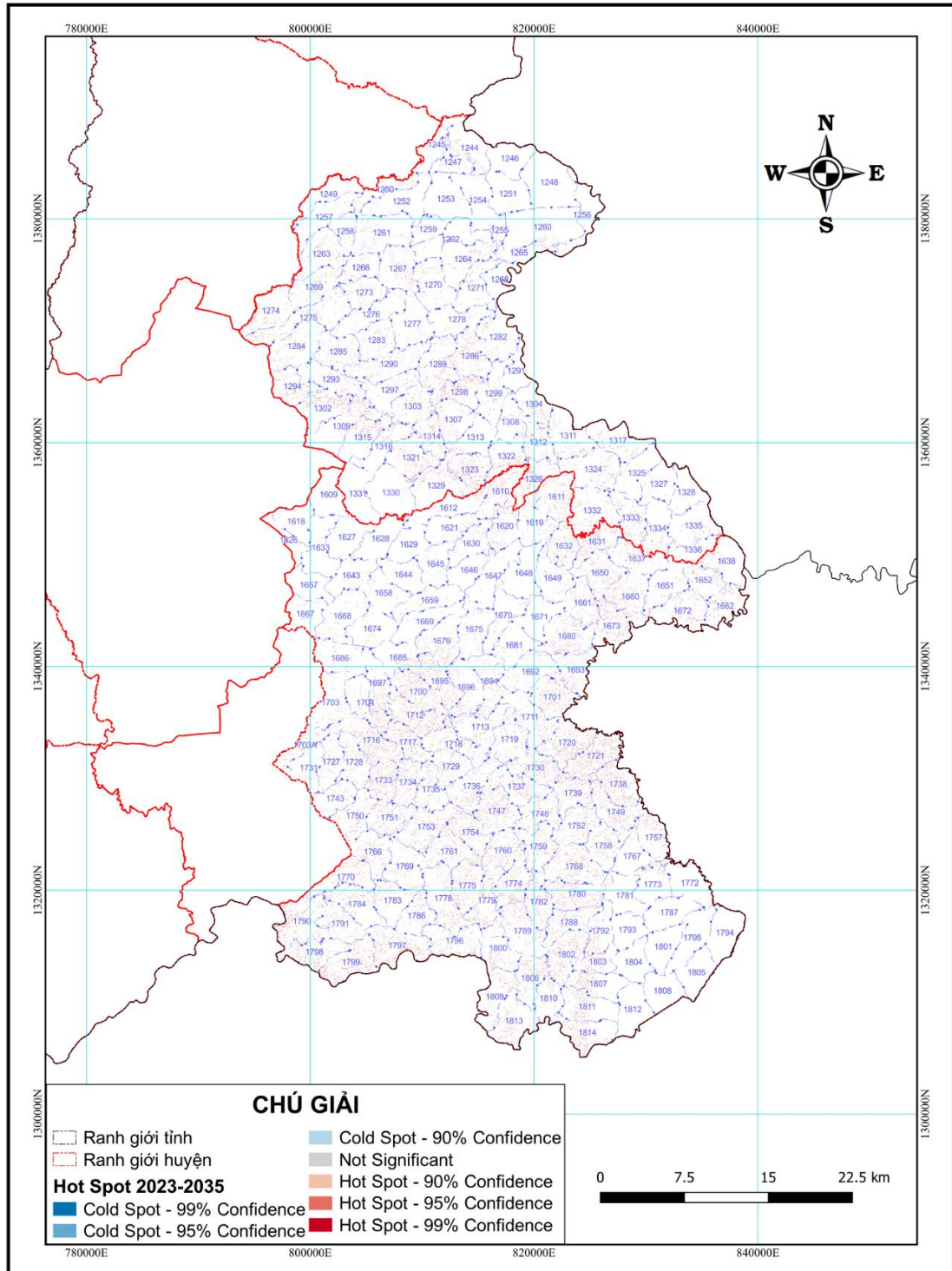
Trên cơ sở hiệu quả phân tích điểm nóng so sánh với những thay đổi tương ứng, nghiên cứu tiếp tục xây dựng các điểm nóng như là cơ sở dự báo dựa trên kịch bản FCC năm 2035. Kết quả được trình bày trong Bảng 3.20, và vị trí không gian các điểm nóng theo các tiểu khu được thể hiện trong Hình 3.24.

Bảng 3.7. Kết quả phân tích hotspot giai đoạn 2023 - 2035

TT	2023-2035	Z_code	P_Value	Gi_Bin	Diện tích (ha)
1	RTX-RTG	2,1119	0,0347	2	266,45
2	RTX-CAOSU	2,5975	0,0094	3	1.935,43
3	RTX-NN	2,5975	0,0094	3	1.432,18
4	RTX-DKH	2,9867	0,0028	3	1.501,21
5	RTX-DC	-0,2486	0,8037	0	240,50
6	RTX-MN	2,5766	0,0100	3	509,99
7	RBTX-RTG	-1,1438	0,2527	0	1,26
8	RBTX-CAOSU	-1,4677	0,1422	0	1.531,95
9	RBTX-NN	-0,6181	0,5365	0	46,89
10	RBTX-DKH	-0,8192	0,4127	0	0,72
11	RBTX-DC	-0,9544	0,3399	0	28,89
12	RBTX-MN	-0,9544	0,3399	0	0,24
13	RK-RTG	-1,3631	0,1729	0	2,79
14	RK-CAOSU	-0,8192	0,4127	0	716,87
15	RK-NN	-1,4677	0,1422	0	75,33
16	RK-DKH	-1,1024	0,2703	0	3,33
17	RK-DC	-1,4677	0,1422	0	409,94
18	RK-MN	-0,8192	0,4127	0	0,63
Tổng diện tích					8.704,6

Kết quả phân tích Hot Spot dự báo giai đoạn 2023–2035 cho thấy tổng diện tích RTN hình thành cụm không gian có ý nghĩa thống kê là 5.645,26 ha, trong đó 100% thuộc cụm có ý nghĩa ở mức 95% và 99%, không xuất hiện cụm ở mức 90%. Điều này khẳng định các biến động FCC chủ yếu diễn ra tập trung theo cụm không gian, thay vì phân tán.

BẢN ĐỒ ĐIỂM NÓNG NĂM 2023-2035
TẠI KHU VỰC HUYỆN ĐẮK GLONG VÀ HUYỆN KRÔNG NÔ - TỈNH ĐẮK NÔNG
 Tỷ lệ 1: 300.000



Hình 3.24. Bản đồ dự báo điểm nóng FCC năm 2035

3.5. Đề xuất một số giải pháp quản lý bảo vệ rừng

Một số giải pháp quản lý rừng bền vững tại Đắk Nông:

- Nhóm quản lý – chính sách: Rà soát, điều chỉnh quy hoạch không gian sử dụng đất lâm nghiệp dựa trên bản đồ điểm nóng dự báo; khoanh bảo vệ nghiêm ngặt các vùng trọng yếu như rừng phòng hộ, vùng đệm; tăng cường tuần tra, ứng dụng RS-UAV giám sát biến động; thiết lập cơ chế phối hợp đa ngành trong quản lý, chia sẻ dữ liệu GIS thường xuyên; thúc đẩy mô hình đồng quản lý cộng đồng gắn với chia sẻ lợi ích LSNG.

- Nhóm kỹ thuật – công nghệ: Ứng dụng RS-GIS và hệ thống cảnh báo sớm để giám sát diện tích rừng theo thời gian thực; phát triển mô hình dự báo nguy cơ cháy rừng từ dữ liệu khí tượng – RS – địa hình; xây dựng cơ sở dữ liệu rừng tập trung, liên thông các cấp quản lý, cập nhật định kỳ, phục vụ quy hoạch và quyết định.

- Nhóm kỹ thuật lâm sinh: Thực hiện khoanh nuôi, xúc tiến tái sinh RTN, trồng bổ sung cây bản địa; trồng rừng phòng hộ ở địa hình dốc, ven sông suối và khu vực xói mòn; cải thiện chất lượng RTG thông qua thâm canh, luân canh cây họ đậu, chuyển đổi sang gỗ lớn, áp dụng chứng chỉ FSC để nâng cao giá trị.

- Nhóm phát triển sinh kế cộng đồng: Khuyến khích mô hình nông – lâm kết hợp và LSNG gắn với du lịch sinh thái; phát triển chuỗi giá trị LSNG, áp dụng tiêu chuẩn chứng nhận; mở rộng chi trả PFES và khai thác cơ hội tín chỉ carbon để đầu tư cho sinh kế bền vững; đào tạo kỹ thuật canh tác, quản lý rừng cộng đồng và tiếp cận thị trường cho các nhóm dân cư dễ bị tổn thương.

- Nhóm giải pháp theo vùng trọng điểm điểm nóng: ba vùng trọng điểm cần ưu tiên là (1) Tây Bắc Đắk Glong (Quảng Sơn – Quảng Hòa) mất rừng nghiêm trọng, cần phục hồi rừng đầu nguồn, áp dụng nông – lâm kết hợp và giám sát UAV; (2) Đông Nam Krông Nô (Đắk Som – Buôn Choánh) chịu áp lực mở rộng nông nghiệp, cần đồng quản lý rừng, tăng chi trả PES và phát triển sinh kế xanh; (3) vùng giáp ranh Đắk Ha – Đắk Plao có rủi ro gia tăng, cần kiểm soát vận chuyển lâm sản và tuyên truyền bảo vệ rừng. Các vùng này đòi hỏi giải pháp quản lý đặc thù để phục hồi sinh thái và giảm áp lực mất rừng.

Các giải pháp trên, nếu triển khai đồng bộ, sẽ góp phần giảm thiểu mất rừng, bảo tồn đa dạng sinh học và thúc đẩy phát triển KT-XH bền vững tại tỉnh Đắk Nông.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

- Giai đoạn 2010–2023: RTX suy giảm mạnh (–42.459 ha), RBTX và RK cũng giảm; RTG tăng gấp 5 lần; DKH và DC mở rộng đáng kể. LULCC diễn ra tập trung ở vùng giáp ranh dân cư, NN và giao thông.

- Điểm nóng mất rừng: Chủ yếu là cụm nóng (90,67%), tập trung giai đoạn 2012–2019; từ 2018 FCC ổn định hơn.

- Nhân tố tác động: KT-XH ảnh hưởng mạnh nhất (0,46), tiếp theo là khả năng tiếp cận (–0,44) và khí hậu (–0,39).

- Dự báo đến 2035: RTN giảm gần 5.600 ha, RTG giảm 5.700 ha; NN và CAOSU tăng mạnh (>22.000 ha); DKH giảm, DC tăng nhẹ, MN thu hẹp. Các cụm nóng tập trung ở khu vực chuyển đổi sang NN và CAOSU.

- Giải pháp đề xuất: Rà soát quy hoạch, khoanh vùng bảo vệ, tăng phối hợp đa ngành, đồng quản lý cộng đồng; ứng dụng RS-GIS, cảnh báo cháy, cơ sở dữ liệu tập trung; khoanh nuôi tái sinh, trồng rừng phòng hộ, cải thiện RTG; phát triển nông – lâm kết hợp, LSNG, PFES, tín chỉ carbon và đào tạo cộng đồng; giải pháp theo phân vùng điểm nóng mất rừng.

Kiến nghị

Để nâng cao độ chính xác phân tích LULCC và mô hình SEM, luận án đề xuất:

- Bổ sung nguồn dữ liệu ảnh có độ phân giải cao như Sentinel-2, PlanetScope hoặc UAV nhằm tăng khả năng nhận dạng lớp phủ nhỏ, đặc biệt tại vùng địa hình phức tạp.

- Bổ sung thêm các biến tự nhiên và kinh tế – xã hội vào mô hình SEM để nâng cao khả năng giải thích và dự báo FCC.

- Tăng kích thước mẫu SEM, nhằm cải thiện độ tin cậy thống kê, đặc biệt các chỉ số chưa đạt ngưỡng ý nghĩa.

- Kiểm tra độ tin cậy thang đo bằng các chỉ số như Cronbach's Alpha để đảm bảo tính hợp lệ của biến quan sát.

Những đề xuất này giúp cải thiện hiệu quả phân tích và dự báo, đồng thời mở rộng khả năng ứng dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

A. Tạp chí

1. Nguyen Thi Thanh Huong, Nguyen The Hien, Phan Thi Hang, **Cao Thi Hoai** and Ho Dinh Bao (2024). "Classification of forest cover of Ta Dung National Park, Vietnam using optical satellite images", IOP Publishing, Earth and Environmental Science. The Electrochemical Society, ISSN 1755-1315, Volume 1391, 012018. DOI 10.1088/1755-1315/1391/1/012018. Scopus.
2. **Cao Thị Hoài** và Nguyễn Thị Thanh Hương. 2024. Phân tích thay đổi lớp phủ huyện Đắk Glong - tỉnh Đắk Nông giai đoạn 2011-2023 dựa vào ảnh vệ tinh đa thời gian. Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam. Số 1-2024. Pg. 33-45.
3. **Cao Thị Hoài** và Nguyễn Thị Thanh Hương. 2024. Phân tích ứng dụng GIS và viễn thám trong thay đổi thảm phủ rừng dưới tác động của các nhân tố tự nhiên, kinh tế và xã hội. 2024. Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam. Số 3-2024. Pg. 128-139.
4. **Cao Thi Hoai**, Nguyen Thi Thanh Huong, Nguyen Thi Hong Diep. 2024. Application of Sentinel-2A/B and Landsat 9 Imagery in Vegetation Cover Assessment: A Case Study in Dak Glong and Krong No Districts, Dak Nong Province. IOP conferen series Earth and Environmental science 1501 (2025) 012010. Doi: 10.1088/1755-1315/1501/1/012010.
5. **Cao Thị Hoài**, Nguyễn Thị Thanh Hương. 2025. So sánh độ chính xác phân loại thảm phủ bằng thuật toán Random forest sử dụng chỉ số NDVI và tổ hợp chỉ số NDVI, DEM, NDWI, NDSI tại huyện Đắk Glong và huyện Krông Nô – tỉnh Đắk Nông. Tạp chí Lâm nghiệp Việt Nam, số 3/2025. <https://doi.org/10.70169/VJFS.1060>.

B. Kỷ yếu Hội thảo quốc tế

1. **Cao Thi Hoai**. 2024. Developing Forest management and protection solutions linked to socio-economic development in various forest ownership units in Dak Nong province. Finance publishing house. ISBN: 978-604-79-4446-0. Pg. 1813-1826

