

BỘ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
VIỆN KHOA HỌC
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Nguyễn Thanh Bằng

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ
TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ
VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN DÒNG CHẢY
TRÊN LƯU VỰC SÔNG CẢ

Ngành: Biến đổi khí hậu

Mã số: 9440221

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Hà Nội, 2022

Công trình được hoàn thành tại:

Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

Người hướng dẫn khoa học:

1. **PGS.TS. Doãn Hà Phong**
2. **PGS.TS. Bùi Tiến Diệu**

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước hội đồng chấm luận án cấp Viện,
hợp tại: Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

1. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu
2. Thư viện Quốc gia Việt Nam

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ
LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN**

1. Nguyen Thanh Bang, Doan Ha Phong (2021), *Assessment of the Impacts of Climate and Land Use/Land Cover Changes on Water Runoff in Ca River Basin in Vietnam*, Natural Volatiles and Essential Oils, Vol. 8 (5) 2021.
2. Nguyễn Thanh Bằng, Lê Phương Hà, Trần Đăng Hùng, Đào Xuân Hoàng (2018), *Nghiên cứu đánh giá biến động thảm phủ lưu vực sông Cả*, Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu, Số 7 – Tháng 9/2018.
3. Bang Nguyen Thanh, Phong Doan Ha (2022), *Spatial and Temporal Modeling of Land use/Land cover Change at the Ca River Basin (North Central Viet Nam) Using Markov Chain and Cellular Automata Approach*, Vietnam Journal of Hydro – Meteorology, No. 10 – 3/2022.

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Khu vực Bắc Trung Bộ trong 15 năm, tính từ năm 2005 trở lại đây có sự phát triển nhanh về kinh tế - xã hội, tốc độ đô thị hóa ngày càng tăng dẫn tới các thay đổi thảm phủ bề mặt: suy giảm độ che phủ đất nông nghiệp, độ che phủ rừng,... khiến các lưu vực sông đối mặt với sự thay đổi mạnh mẽ. Những biến động về thảm phủ có thể tác động tích cực và tiêu cực đến tài nguyên nước theo cả không gian và thời gian. Biến đổi khí hậu cũng làm khắc nghiệt các yếu tố về khí hậu như: nhiệt độ tăng nhanh, lượng mưa mùa khô giảm, lượng mưa mùa lũ tăng, các hiện tượng thời tiết cực đoan gia tăng về tần suất và tính bất thường. Những thay đổi đó, đặc biệt là nhiệt độ và lượng mưa sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến tài nguyên nước khu vực Bắc Trung Bộ nói chung và lưu vực sông Cả nói riêng.

Do đó, mô phỏng biến động thảm phủ theo không gian, thời gian nhằm dự tính và đưa ra kịch bản thảm phủ trong tương lai của khu vực nghiên cứu là vô cùng quan trọng. Kịch bản thảm phủ tương lai kết hợp với các kịch bản biến đổi khí hậu sẽ hỗ trợ nghiên cứu quá trình hình thành dòng chảy và đánh giá định lượng các tác động của sự thay đổi thảm phủ và BĐKH tới dòng chảy lưu vực sông Cả.

2. Mục tiêu của luận án

Mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và dự tính được kịch bản thảm phủ lưu vực sông Cả trong tương lai bằng phương pháp phân tích chuỗi Markov và Cellular Automata;

Đánh giá định lượng được tác động đồng thời của sự thay đổi thảm phủ và BĐKH đến dòng chảy lưu vực sông Cả trong tương lai.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu:

- 5 lớp thảm phủ chính tác động đến dòng chảy lưu vực sông Cả gồm: Rừng, Nông nghiệp, Xây dựng, Vùng nước và Đất trống.
- Dòng chảy (năm, mùa lũ, mùa cạn) lưu vực sông Cả.

- Lượng mưa, nhiệt độ (trung bình ngày, tối thấp, tối cao) năm 2030 theo các kịch bản RCP 4.5, và RCP 8.5.

Phạm vi nghiên cứu:

- Phạm vi không gian: Lưu vực sông Cả từ $18^{\circ}15'50''$ đến $20^{\circ}10'30''$ vĩ độ Bắc, và $103^{\circ}45'20''$ đến $105^{\circ}15'20''$ kinh độ Đông.

- Phạm vi thời gian: dữ liệu thảm phủ và dòng chảy được thu thập trong giai đoạn 2005-2015; Dữ liệu kịch bản nhiệt độ, lượng mưa năm 2030 theo Kịch bản BDKH&NBD của Viện KH KTTV&BDKH.

- Giai đoạn đánh giá: Năm 2030.

4. Câu hỏi nghiên cứu

- Áp dụng phân tích chuỗi Markov và Cellular Automata có thể mô phỏng được sự thay đổi và dự tính thảm phủ tương lai cho lưu vực sông Cả không?

- Dòng chảy lưu vực sông Cả trong tương lai thay đổi như thế nào dưới tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu?

5. Luận điểm bảo vệ

- Phân tích chuỗi Markov và Cellular Automata có thể mô phỏng được sự thay đổi thảm phủ trong quá khứ và dự tính thảm phủ tương lai thông qua các tác nhân, ràng buộc và các quy tắc chuyển đổi được xây dựng dựa trên các điều kiện của lưu vực sông Cả.

- Tác động đồng thời của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu sẽ làm thay đổi dòng chảy lưu vực sông Cả trong tương lai và có xu hướng khắc nghiệt hơn.

6. Phương pháp nghiên cứu của luận án

Phương pháp thu thập, thống kê, tổng hợp tài liệu: Nghiên cứu sẽ tiến hành thu thập, tổng hợp và tính toán các dữ liệu đặc trưng của khu vực nghiên cứu.

Phương pháp chuyên gia: Để loại bỏ hoặc rút gọn các lớp phủ đất chính, cũng như xác định trọng số để tính toán, phương pháp tham vấn chuyên gia cũng được sử dụng.

Phương pháp mô hình:

- Phương pháp mô hình hóa tích hợp chuỗi Markov – Cellular Automata: Mô hình được xây dựng dựa trên các lớp bản đồ thảm phủ được đưa vào để xây dựng ma trận chuyển đổi, từ đó xác định xác suất thay đổi của các loại thảm phủ và đưa ra dự tính thảm phủ.

- Phương pháp mô hình hóa chế độ thủy văn: Cụ thể ở đây là mô hình SWAT (Soil and Water Assessment Tool) một trong những mô hình phù hợp nhất để mô phỏng các yếu tố thủy văn dưới tác động của các kịch bản thảm phủ và biến đổi khí hậu.

Phương pháp Delphi: Phương pháp Delphi được áp dụng nhằm tận dụng kiến thức và ý kiến của các bên liên quan để mô tả mức độ đồng thuận của họ về các nội dung cần tham vấn.

7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

7.1. Ý nghĩa khoa học

- Các luận cứ khoa học, thực tiễn và quy trình mô phỏng, dự tính kịch bản thảm phủ tương lai cho lưu vực sông Cả có ý nghĩa làm căn cứ khoa học để có khả năng áp dụng cho các lưu vực tương tự.

- Kết quả mô phỏng và dự tính thảm phủ tương lai trực quan và định lượng với 5 lớp phủ chủ yếu: Rừng, Nông nghiệp, Xây dựng, Vùng nước, Đất trống góp phần bổ sung thêm các hiểu biết, nguồn thông tin có độ tin cậy về thảm phủ lưu vực sông Cả hỗ trợ cung cấp đầu vào quan trọng cho các nghiên cứu về tài nguyên đất, nước và môi trường của lưu vực này.

- Kết quả đánh giá tác động đồng thời của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới tài nguyên nước, cụ thể là dòng chảy bề mặt lưu vực sông Cả đóng góp thêm vào các hiểu biết của nhà khoa học khi nghiên cứu về vấn đề tài nguyên nước cho lưu vực sông Cả, đặc biệt là trong điều kiện biến đổi khí hậu.

7.2. Ý nghĩa thực tiễn

- Kịch bản thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2030 sẽ hỗ trợ các nhà hoạch định chính sách trong công tác quy hoạch và có kế hoạch, phương án quản lý hiệu quả vấn đề sử dụng đất ở lưu vực sông Cả nói riêng và Nghệ An, Hà Tĩnh nói chung.

- Luận cứ khoa học và kết quả luận án có thể được sử dụng để hỗ trợ quản lý tổng thể về tài nguyên nước đặc biệt là dòng chảy mặt và cung cấp cơ sở khoa học trong việc điều chỉnh, bổ sung, sửa đổi các văn bản pháp quy, quản lý nhà nước nhằm giảm nhẹ các tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu đến TNN khu vực nghiên cứu.

8. Đóng góp mới của luận án

- Luận án đã xác định được các tác nhân, ràng buộc và xây dựng thành công quy tắc chuyển đổi phù hợp với điều kiện của lưu vực sông Cả để mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và dự tính thảm phủ tương lai theo 05 lớp phủ chính là Rừng, Nông nghiệp, Xây dựng, Vùng nước, Đất trống của lưu vực sông Cả.

- Luận án đã đánh giá được thay đổi dòng chảy lưu vực sông Cả trong điều kiện biến đổi khí hậu và dưới tác động đồng thời của có hoặc không có sự thay đổi thảm phủ tương lai.

CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN DÒNG CHẢY TRÊN LƯU VỰC SÔNG CẢ

1.2. Các nghiên cứu về mô phỏng biến động thảm phủ trong và ngoài nước

1.2.1. Các nghiên cứu thế giới về mô phỏng biến động thảm phủ

Năm 2011, nghiên cứu “Đánh giá và dự báo sự thay đổi sử dụng đất ảnh hưởng tới khu vực đô thị bằng ảnh vệ tinh đa phổ” của trường đại học Zanzan, Iran.

Nghiên cứu “Mô hình hóa và phân tích biến động lưu vực bằng mô hình Cellular Automata – Markov” của Trung tâm Khoa học Biển, Sông, Khí quyển và Mặt đất (CORAL) đã sử dụng mô hình Cellular Automata (CA) - Markov và dự đoán kịch bản sử dụng đất và che phủ đất trong tương lai.

Trung tâm Khoa học Tài nguyên Môi trường thuộc trường Đại học Hubei đã nghiên cứu “Mô hình Markov-Kalman về dự báo biến động sử dụng đất ở lưu vực XiuHe, Trung Quốc”.

Năm 2015, nghiên cứu phối hợp giữa 2 trường đại học Payame Noor và đại học Công nghệ Isfahan của Iran “Mô hình hóa biến động thảm phủ/sử dụng đất bằng cách kết hợp Chuỗi Markov và mô hình Cellular Automata Markov” đã đánh giá mô hình biến động thảm phủ là rất cần thiết cho quy hoạch và quản lý sử dụng đất.

Tác giả Griselda Vázquez-Quintero và nnk (Mexico) năm 2016 đã nghiên cứu “Phát hiện và dự tính các thay đổi đất rừng bằng mô hình chuỗi Markov và Cellular Automata”

1.2.2. Các nghiên cứu trong nước về mô phỏng biến động thảm phủ

Phạm Văn Cự và cộng sự (2006) với công trình “Sử dụng tư liệu viễn thám đa thời gian để đánh giá biến động chỉ số thực vật của lớp phủ hiện trạng và quan hệ với biến đổi sử dụng đất tại Thái Bình.

Đề tài “Ứng dụng GIS và viễn thám trong việc thành lập bản đồ hiện trạng thảm thực vật năm 2008 tỉ lệ 1/50.000 ở huyện Kỳ Anh, tỉnh Hà Tĩnh” do Nguyễn Quang Tuấn, Trần Văn No, Đỗ Thị Việt Hương, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Trong nghiên cứu “Ứng dụng viễn thám và GIS thành lập bản đồ lớp phủ mặt đất khu vực Chân Mây, huyện Phú Lộc, tỉnh Thừa Thiên Huế” tác giả đã sử dụng phương pháp phân loại gần đúng nhất với dữ liệu ảnh Landsat TM độ phân giải 10 m, kết hợp với lấy mẫu thực địa để phân ra 13 loại lớp phủ với độ chính xác tương đối cao. Trong đề tài “Sử dụng tư liệu ảnh vệ tinh MODIS nghiên cứu mùa vụ cây trồng, lập bản đồ hiện trạng và biến động lớp phủ vùng đồng bằng sông Hồng giai đoạn 2008 – 2010”, tác giả đã phân loại lớp phủ dựa trên bộ dữ liệu NDVI tổ hợp tháng theo phương pháp phân loại có kiểm định sử dụng thuật toán phân loại gần đúng nhất

1.3. Các nghiên cứu trong và ngoài nước về đánh giá tác động của thảm phủ tới dòng chảy lưu vực sông

1.3.1. Các nghiên cứu trên thế giới về đánh giá tác động của thảm phủ tới dòng chảy lưu vực sông

Năm 1987, Peck A.J. và Williamson D.R cũng đưa ra nghiên cứu ảnh hưởng của việc mất rừng rừng đối với nước ngầm.

Đối với lưu vực vùng nhiệt đới, Costa (2003) phát hiện ra rằng nếu tỉ lệ chuyển đổi rừng thành nông nghiệp khoảng 30% diện tích lưu vực thì lưu lượng trung bình năm tăng khoảng 24%. Theo Farley (2005) đã chỉ ra rằng khi đất trắng cỏ và đất cây bụi chuyển sang rừng trồng thì lượng dòng chảy năm giảm đi 44% và 31%.

Theo Zhang (2007) cho rằng, nếu các chỉ số về trạng thái thảm thực vật rừng (cấu trúc, loại đất, địa hình...) có ảnh hưởng đến dòng chảy của lưu vực thì phân bố không gian của rừng cũng ảnh hưởng quan trọng, nhất là khi rừng được phân bố ở những khu vực tiếp nối trực tiếp với hệ thống tích nước của thủy vực như sông, suối, hồ...

Theo M. Guardiola (2010), việc thay thế các rừng cây bản địa bằng rừng Cao su ở Nam Keng (Trung Quốc) và ở Pang Khum (miền Bắc Thái Lan) đã làm tăng lượng bốc thoát hơi nước, do đó làm giảm dòng chảy cũng như lượng nước được tích trữ trong lưu vực.

1.3.2. Các nghiên cứu trong nước về đánh giá tác động của thảm phủ tới dòng chảy lưu vực sông

Năm 2003, các tác giả Trần Thục và Huỳnh Thị Lan Hương đã sử dụng mô hình SWAT để tính toán và đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi sử dụng đất đến dòng chảy lưu vực sông Trà Khúc (Trần Thục và H.T.L. Hương, 2003). Các tác giả đã nêu rõ vai trò điều hòa dòng chảy và hỗ trợ phòng chống lũ của rừng.

Cũng trong năm 2003, tác giả Phạm Thị Hương Lan (Đại học Thủy lợi) cũng đã tổng quan và giới thiệu một số mô hình toán thủy văn như HEC1, SSARR, HEC-HMS, MIKE BASIN, USDAHL, RAINRUN v.v. và đã đề xuất sử dụng mô hình SWAT để giải các bài toán quản lý tổng hợp tài nguyên nước lưu vực sông và lồng ghép vào sơ đồ quy hoạch, quản lý lưu vực với mục đích đánh giá hiệu quả và hoàn thiện công tác quản lý lưu vực.

Năm 2009, trong một nghiên cứu điển hình của Nguyễn Ý Như, Nguyễn Thanh Sơn về Ứng dụng mô hình SWAT khảo sát ảnh hưởng của các kịch bản sử dụng đất đối với dòng chảy lưu vực sông Bến Hải đã chỉ ra thay đổi sử dụng đất là yếu tố tác động lớn đến sự

thay đổi các thành phần trong quá trình thủy văn cả về không gian và thời gian, gây biến đổi giá trị dòng chảy.

Năm 2013, Nguyễn Thị Tịnh Âu, Nguyễn Duy Liêm, Nguyễn Kim Lợi đã ứng dụng mô hình SWAT và công nghệ GIS đánh giá lưu lượng dòng chảy trên lưu vực sông Đắc Bla.

1.4. Các nghiên cứu trong và ngoài nước về đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông

1.4.1. Các nghiên cứu trên thế giới về đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông

Manoj Jha năm 2004 đã nghiên cứu đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy ở thượng lưu sông Mississippi bằng cách sử dụng mô hình khí hậu khu vực kết hợp với mô hình thủy văn SWAT.

Karim C. Abbaspour năm 2009 đã nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu tới tài nguyên nước ở Iran. Nghiên cứu đã sử dụng mô hình SWAT được hiệu chỉnh cho giai đoạn 1980 đến 2002 bằng dữ liệu quan trắc hằng ngày và hằng năm ở cấp độ lưu vực.

Joshua Kiprotich Kibii và cộng sự (2020) cũng đã sử dụng mô hình SWAT để nghiên cứu đánh giá tác động của thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu đối với lưu vực, dẫn đến sự thay đổi lớn của dòng chảy trong sông và mực nước hồ chứa tại Eldorer Keynya.

1.4.2. Các nghiên cứu trong nước về đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông

Năm 2012, tác giả Nguyễn Kỳ Phùng với nghiên cứu “Ứng dụng mô hình SWAT đánh giá tác động của BĐKH đến dòng chảy lưu vực sông Đồng Nai” đã ứng dụng mô hình SWAT để mô phỏng sự thay đổi dòng chảy lưu vực sông Đồng Nai trong điều kiện BĐKH.

Năm 2015, tác giả Nguyễn Hoàng Minh đã nghiên cứu đánh giá tác động của BĐKH tới tài nguyên nước lưu vực sông Lô. Nghiên cứu đã sử dụng mô hình MIKE NAM và MIKE BASIN lần lượt tính toán dòng chảy và cân bằng nước trên hệ thống lưu vực sông Lô.

Đối với lưu vực sông Ba, năm 2013, tác giả Huỳnh Thị Lan Hương đã đánh giá tác động của BĐKH đến dòng chảy trên lưu vực sông

Ba. Năm 2021, tác giả Huỳnh Thị Lan Hương cũng đã đánh giá tác động của BĐKH tới phân phối dòng chảy mùa trên lưu vực sông Cà.

CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC, PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN DÒNG CHẢY LƯU VỰC SÔNG CÀ

2.1. Cơ sở khoa học đánh giá tác động của thay đổi thẩm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông

2.1.1. Cơ sở khoa học của mô phỏng thẩm phủ dựa trên chuỗi Markov và hệ tự hành dạng tế bào Cellular Automata

Phân tích chuỗi Markov là quá trình chuyển đổi ngẫu nhiên của một hệ thống (trong trường hợp này là hệ thống thẩm phủ sông Cà) từ trạng thái này sang trạng thái khác tại các bước thời gian từ ‘t’ đến ‘t+1’ thông qua việc sử dụng ma trận xác suất chuyển đổi. Ma trận chuyển đổi được biểu diễn như sau:

$$P = (P_{ij}) = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad 0 \leq P_{ij} \leq 1 \quad \sum_{i=1}^n P_{ij} = 1 \quad [2.3]$$

trong đó P là ma trận xác suất chuyển đổi, P_{ij} là xác suất của thẩm phủ i chuyển đổi thành thẩm phủ j từ năm bắt đầu đến năm kết thúc và n là số lớp thẩm phủ. (Guan và nnk, 2011). Nếu giá trị xác suất P_{ij} luôn lớn hơn 0, ma trận xác suất chuyển đổi trở thành ma trận thường và do đó theo tính chất của ma trận thì ma trận đạt trạng thái ổn định (giá trị xác suất kỳ vọng không thay đổi theo thời gian) và có thể tính toán được. Tính chất này của ma trận giúp dự báo được thẩm phủ đạt trạng thái ổn định trong tương lai. Luận án sử dụng chuỗi Markov dựa trên khả năng chuyển đổi giữa các lớp thẩm phủ vào các năm 2005, 2010 và 2015 để dự báo thẩm phủ tương lai năm 2030 của 5 loại thẩm phủ đã được xác định trong Bảng 1, và được biểu diễn dưới dạng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} P'r \\ P'nn \\ P'nc \\ P'dt \\ P'xd \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} Pr, r & \cdots & Pr, xd \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Pxd, r & \cdots & Pxd, xd \end{pmatrix} * \begin{bmatrix} Pr \\ Pnn \\ Pnc \\ Pdt \\ Pxd \end{bmatrix} \quad [2.4]$$

Trong đó: r là lớp phủ Rừng, nn là Nông nghiệp, nc là Vùng nước, dt là lớp phủ Đất trống, xd là đất Xây dựng, P' là xác suất tại thời điểm $t+1$, P là xác suất tại thời điểm ban đầu của dự báo.

Mô hình Cellular Automata đưa ra các dự tính về không gian với đầu vào là các xác suất chuyển đổi lớp thảm phủ và trạng thái hiện tại của các lớp thảm phủ. Mô phỏng biến động thảm phủ sử dụng mô hình CA cho kết quả rõ ràng về mặt không gian dựa theo các quy tắc chuyển đổi được định nghĩa bởi người dùng (Al-sharif & Pradhan, 2014). Định nghĩa một CA đơn giản bao gồm các thành phần sau: (1) không gian lưới L mà mô hình hoạt động, (2) trạng thái ô Q trong không gian lưới, (3) quy tắc chuyển đổi f , nhằm xác định quá trình chuyển đổi không gian, (4) trạng thái của vùng lân cận Δ ảnh hưởng đến ô trung tâm. Do đó, những thay đổi về mặt không thời gian của trạng thái trong một hệ thống A có thể được mô tả như sau:

$$A = [L, Q, \Delta, f] \quad [2.5]$$

Trạng thái của một ô thì phụ thuộc vào vùng lân cận Δ (các ô xung quanh) của nó và quy tắc chuyển đổi f tương ứng. Quy tắc chuyển đổi tương ứng f có thể là một hàm xác định hoặc ngẫu nhiên, được biểu diễn dưới dạng:

$$a_{t+1}^s = f(a_t^{s-r}, \dots, a_t^s, \dots, a_t^{s+r}) \quad [2.6]$$

Trong đó, a_t^s là trạng thái của ô s tại thời điểm t , r là khoảng của các ô lân cận với ô s , và f là hàm chuyển đổi biểu diễn quy tắc chuyển đổi trạng thái. Tập hợp các giá trị của $\{a_t^s | \forall s \in I\}$ được gọi là cấu hình của CA tại thời điểm t .

2.1.2. Cơ sở khoa học của đánh giá định lượng tác động của biến động thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông

Mô hình SWAT đã được chứng minh là một công cụ hiệu quả để đánh giá tác động của việc sử dụng đất trên một hệ thống lưu vực

sông. SWAT mô hình hóa chu trình nước dựa trên cơ sở phương trình cân bằng nước sau:

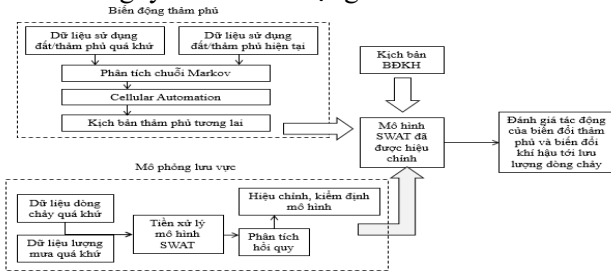
$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad [2.8]$$

Trong đó: SW_t : tổng lượng nước tại cuối thời đoạn tính toán (mm); SW_0 : Là tổng lượng nước ban đầu tại ngày thứ i (mm); t : Là thời gian (ngày); R_{day} : Là số tổng lượng mưa tại ngày thứ i (mm); Q_{surf} : Là tổng lượng nước mặt của ngày thứ i (mm); E_a : Là lượng bốc thoát hơi tại ngày thứ i (mm); w_{seep} : Là lượng nước đi vào tầng ngầm tại ngày thứ i (mm); Q_{gw} : Là số lượng nước hồi quy tại ngày thứ i (mm).

2.2. Phương pháp đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Cả

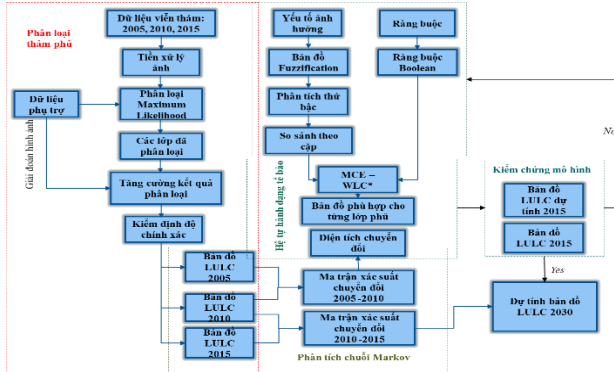
2.2.1. Khung nghiên cứu

Với các cơ sở khoa học đã trình bày, Luận án đưa ra phương pháp luận mô phỏng biến động thảm phủ đến tài nguyên nước gồm 2 giai đoạn chính là xây dựng mô hình mô phỏng dự đoán biến động thảm phủ trong tương lai sử dụng mô hình tích hợp Markov - Cellular Automata và xây dựng mô hình mô phỏng tác động của biến động thảm phủ đến tài nguyên nước sử dụng mô hình SWAT.



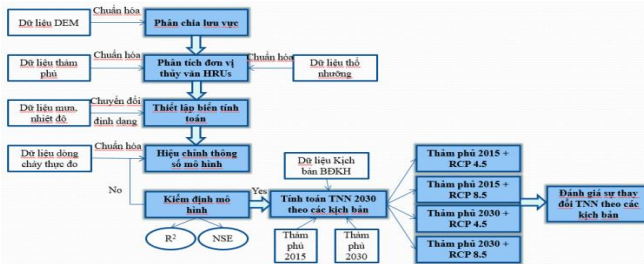
Hình 2.6. Khung nghiên cứu mô phỏng biến động thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy

2.2.2. Quy trình mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và dự tính kịch bản thảm phủ tương lai



Hình 2.7. Quy trình mô phỏng biến động thảm phủ

2.2.4. Quy trình mô phỏng dòng chảy lưu vực dưới tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu



Hình 2.8. Quy trình mô phỏng tác động của thay đổi thảm phủ và BĐKH đến dòng chảy sử dụng mô hình SWAT

CHƯƠNG 3: ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ VÀ BĐKH ĐẾN DÒNG CHẢY LƯU VỰC SÔNG CẢ

3.1. Mô phỏng sự thay đổi thảm phủ theo không gian, thời gian cho lưu vực sông Cả

3.1.1. Phân loại thảm phủ

Các ảnh Landsat được thu thập theo Bảng 2 và phân loại bằng cách sử dụng thuật toán hợp lý cực đại (MLC). Kết quả đánh giá phân loại các năm 2005, 2010, 2015 trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1. Đánh giá độ chính xác phân loại thảm phủ

Lớp thảm phủ	2005		2010		2015	
	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)

Nhóm tác nhân lý sinh											
Độ cao	4	4	5	5	4	5	5	5	0,5	4,6	0,53
Độ dốc	4	5	5	4	5	5	4	5	0,5	4,6	0,53
Địa mạo	3	4	3	3	3	3	3	3	0	3,1	0,38
Nhóm tác nhân con người											
Đường xá	5	5	4	4	5	5	5	5	0,5	4,7	0,49
Sông ngòi	4	5	5	4	5	5	5	5	0,5	4,7	0,49
Khu vực quy hoạch	3	4	4	3	3	3	3	3	0,5	3,3	0,49
Ràng buộc											
Khu vực bảo tồn	4	5	5	5	5	5	5	5	0	4,9	0,38
Khu vực đất đô thị	5	5	5	4	5	5	5	5	0	4,9	0,38

3.1.4. Lập bản đồ tính phù hợp

Các ràng buộc và tác nhân được chuẩn hóa thành ký tự Boolean (0 và 1) và thang đo mức độ phù hợp liên tục từ 0 (ít phù hợp nhất) đến 255 (phù hợp nhất) (Bảng 3.7).

Bảng 3.7. Tiêu chuẩn hóa các nhân tố theo hàm mờ

Lớp phủ	Tác nhân	Hàm	Ngưỡng điều chỉnh
Đất nông nghiệp	Độ dốc	Dạng J	0 độ mức độ phù hợp cao nhất 0-20 độ phù hợp giảm dần > 20 độ không phù hợp
	Độ cao	Dạng J	0 phù hợp cao nhất 0-350 m phù hợp giảm dần >350 m không phù hợp
	Khoảng cách đến sông	Dạng sigma	<1,5 km phù hợp cao nhất 1,5-5.5 km phù hợp giảm dần >5,5 km không phù hợp
	Khoảng cách đến đường chính	Dạng J	<0,2 km phù hợp cao nhất 0,2-5 km phù hợp giảm dần >5 km không phù hợp
Vùng nước	Độ dốc	Dạng J	0 độ phù hợp cao nhất 0-15 độ phù hợp giảm dần >15 độ không phù hợp
	Độ cao	Dạng J	0 m phù hợp cao nhất 0-300 m phù hợp giảm dần >300 m không phù hợp
	Khoảng cách đến	Dạng	<1 km phù hợp cao nhất

Đất xây dựng	sông	sigma	1-5 km phù hợp giảm dần >5 km không phù hợp
	Độ dốc	Dạng J	0 độ mức độ phù hợp cao nhất 0-20 độ phù hợp giảm dần > 20 độ không phù hợp
	Độ cao	Dạng J	0 phù hợp cao nhất 0-150 m phù hợp giảm dần >150 m không phù hợp
	Khoảng cách đến sông	Dạng sigma	<1,5 km phù hợp cao nhất 1,5-5.5 km phù hợp giảm dần >5,5 km không phù hợp
	Khoảng cách đến đường chính	Dạng J	<0,2 km phù hợp cao nhất 0,2-5 km phù hợp giảm dần >5 km không phù hợp
Đất rừng	Độ dốc	Dạng sigma	<5 độ không phù hợp 5-18 độ phù hợp tăng dần >18 độ phù hợp cao nhất
	Độ cao	Dạng sigma	<150 m không phù hợp 150-700 m phù hợp tăng dần >700 m phù hợp cao nhất
	Khoảng cách đến đường chính	Dạng sigma	<1 km không phù hợp 1-10 km phù hợp tăng dần >10 km phù hợp cao nhất
Đất trồng	Độ dốc	Dạng sigma	<20 độ không phù hợp 20-40 độ phù hợp tăng dần >40 độ phù hợp cao nhất
	Độ cao	Dạng sigma	<1300 m không phù hợp 1300-1700 m phù hợp tăng dần >1700 m không phù hợp
	Khoảng cách đến đường chính	Dạng sigma	<1 km không phù hợp 1-10 km phù hợp tăng dần >10 km phù hợp cao nhất

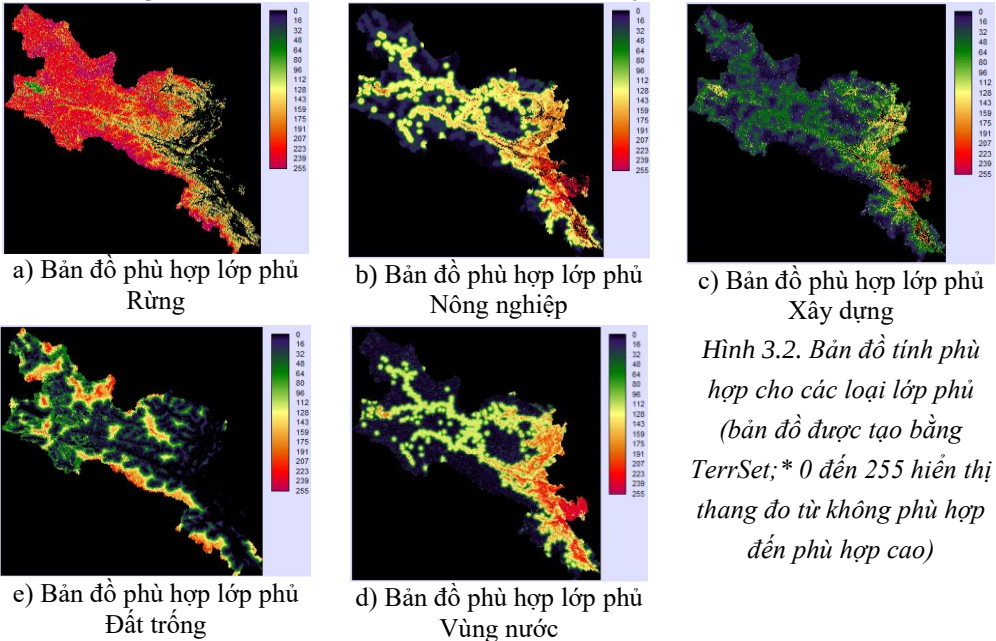
Tiếp đó, các tác nhân được đánh giá mức độ quan trọng đối với từng loại lớp phủ (Bảng 3.8).

Bảng 3.8. Giá trị trọng số của các nhân tố đối với mỗi lớp phủ

Yếu tố	Rừng	Nông nghiệp	Xây dựng	Vùng nước	Đất trồng
Độ dốc	0,5917	0,1740	0,5232	0,3874	0,1571
Độ cao	0,3332	0,2696	0,2976	0,1692	0,2493

Khoảng cách đến đường chính	0,0751	0,0795	0,1222	0,5936	
Khoảng cách đến sông		0,4768	0,0570	0,4434	
Tỷ lệ nhất quán	0,01	0,02	0,03	0,02	0,05

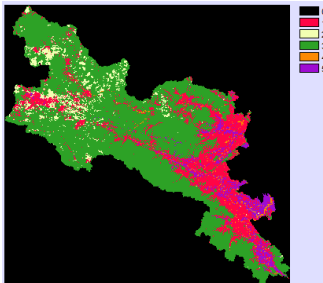
Đánh giá đa tiêu chí MCE-WLC được sử dụng để kết hợp các thông tin từ nhiều tiêu chí thành một chỉ số duy nhất.



Hình 3.2. Bản đồ tính phù hợp cho các loại lớp phủ (bản đồ được tạo bằng TerrSet; * 0 đến 255 hiển thị thang đo từ không phù hợp đến phù hợp cao)

3.1.5. Mô phỏng thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2015

Bước tiếp theo, mô-đun CA-Markov được sử dụng để mô phỏng bản đồ thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2015.



Bản đồ LULC 2015 mô phỏng $i=15$

- 1 Nông nghiệp
- 2 Đất trống
- 3 Rừng
- 4 Vùng nước
- 5 Xây dựng

Hình 3.3. Bản đồ mô phỏng thảm phủ năm 2015 với số lần lặp khác nhau thông qua CA-Markov

3.1.6. Kiểm định kết quả mô phỏng

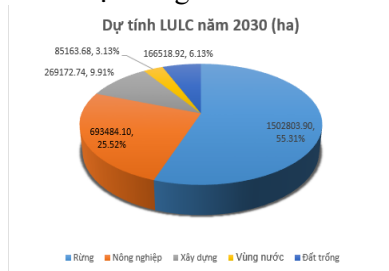
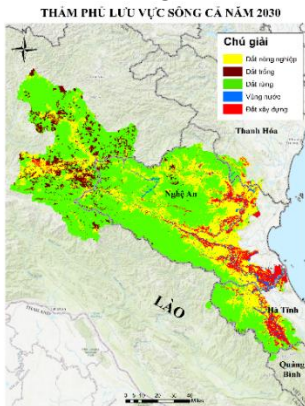
Kết quả mô phỏng thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2015 được so sánh với bản đồ thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2015 được xây dựng từ ảnh viễn thám, dữ liệu thực địa và bản đồ sử dụng đất năm 2015.

Bảng 3.9. Thống kê hệ số Kappa của kết quả mô phỏng

Hệ số Kappa	$i = 5$	$i = 10$	$i = 15$
K_{no}	0,9507	0,9349	0,9119
$K_{location}$	0,9178	0,8887	0,8451
$K_{locationStrata}$	0,9178	0,8887	0,8451
$K_{standard}$	0,9156	0,8865	0,8420

3.1.7. Dự tính thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2030

Sau đó, mô hình CA-Markov được sử dụng với các thông số đã được kiểm chứng để dự tính thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2030.



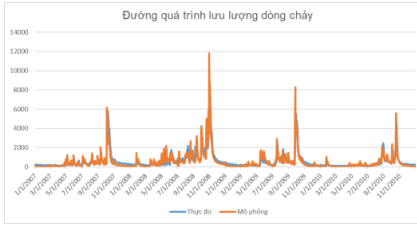
Hình 3.5. Diện tích (ha) và tỷ lệ phân bố (%) cho từng lớp thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2030

Hình 3.4. Bản đồ thảm phủ lưu vực sông Cả dự tính năm 2030

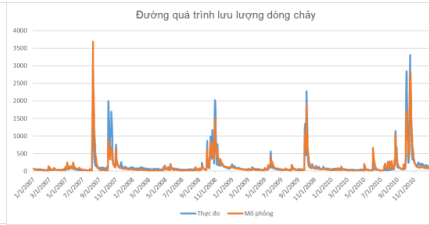
3.2. Đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Cả

3.2.4. Hiệu chỉnh, kiểm định, xác định bộ thông số mô phỏng

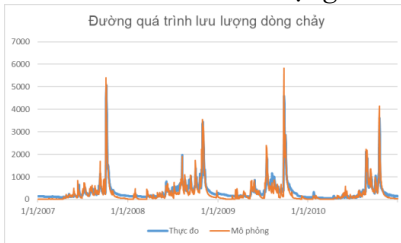
Để kiểm tra khả năng của mô hình, hiệu chỉnh và kiểm nghiệm được tiến hành. Kết quả hiệu chỉnh được thể hiện dưới đây:



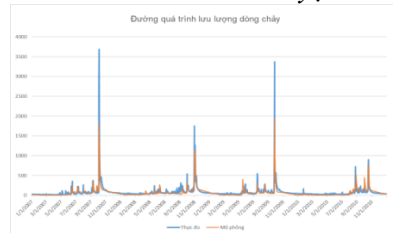
Hình 3.12. Yên Thượng



Hình 3.13. Hòa Duyệt



Hình 3.14. Dừa



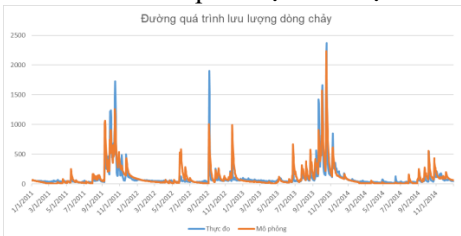
Hình 3.15. Quỳ Châu



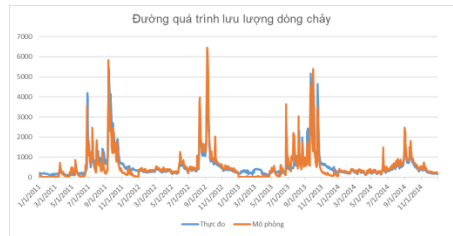
Hình 3.16. Sơn Diệm

Dòng chảy bình quân ngày tính toán và thực đo năm 2007 - 2010

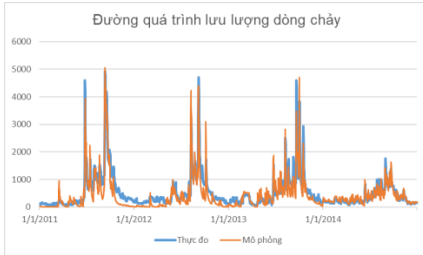
Giữ nguyên bộ thông số tiến hành kiểm định với số liệu năm 2011-2014. Kết quả được thể hiện từ hình 3.17 đến hình 3.21:



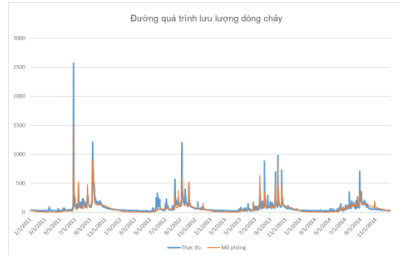
Hình 3.17. Hòa Duyệt



Hình 3.18. Yên Thượng



Hình 3.19. Đồi



Hình 3.20. Quỳnh Châu
Dòng chảy bình quân ngày tính toán
và thực đo năm 2011-2014



Hình 3.21. Sơn Diệm

Luận án đánh giá kết quả mô phỏng dựa trên chỉ số Nash.

Bảng 3.10. Chỉ số đánh giá kết quả hiệu chỉnh và kiểm định

Trạm	Thời gian		Nash	
	Hiệu chỉnh	Kiểm định	Hiệu chỉnh	Kiểm định
Yên Thượng	2007-2010	2011-2014	0,73	0,76
Hòa Duyệt	2007-2010	2011-2014	0,85	0,76
Đồi	2007-2010	2011-2014	0,75	0,76
Quỳnh Châu	2007-2010	2011-2014	0,73	0,73
Sơn Diệm	2007-2010	2011-2014	0,74	0,72

3.2.6. Mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Cả dưới tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu

Để đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và thay đổi sử dụng đất trên lưu vực sông Cả. Trong luận án mô phỏng dòng chảy với 4 kịch bản: Kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5; Kịch bản biến đổi khí hậu RCP 8.5; Thay đổi sử dụng đất + kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5; Thay đổi sử dụng đất + kịch bản biến đổi khí hậu RCP 8.5.

Bảng 3.14. Bảng thống kê biến đổi dòng chảy năm, lũ, cạn giai đoạn 2020-2039 so với thời kỳ nền

Kịch bản	Dòng chảy năm			Dòng chảy mùa lũ			Dòng chảy mùa cạn		
	Q(m3/s)	ΔQ (m3/s)	ΔQ (%)	Q(m3/s)	ΔQ (m3/s)	ΔQ (%)	Q(m3/s)	ΔQ (m3/s)	ΔQ (%)
Sơn Diệm									
RCP 4.5	529.0	17.7	3.5	366.8	20.3	5.9	162.2	-2.6	-1.6
RCP 8.5	547.4	36.1	7.1	387.6	41.1	11.9	159.8	-5.0	-3.0
SDĐ+RCP 4.5	540.8	29.5	5.8	384.3	37.8	10.9	156.5	-8.3	-5.0
SDĐ+RCP 8.5	556.4	45.2	8.8	404.3	57.9	16.7	152.1	-12.7	-7.7
Hòa Duyệt									
RCP 4.5	1144.0	47.1	4.3	781.3	55.4	7.6	362.7	-8.3	-2.2
RCP 8.5	1181.1	84.2	7.7	814.1	88.2	12.2	367.0	-4.0	-1.1
SDĐ+RCP 4.5	1166.3	69.4	6.3	803.7	77.8	10.7	362.6	-8.4	-2.3
SDĐ+RCP 8.5	1203.4	106.5	9.7	830.9	105.0	14.5	372.5	1.5	0.4
Quỳ Châu									
RCP 4.5	1042.5	25.2	2.5	662.0	32.8	5.2	380.4	-7.5	-1.9
RCP 8.5	1096.4	79.2	7.8	711.4	82.2	13.1	385.0	-3.0	-0.8
SDĐ+RCP 4.5	1057.4	40.2	3.9	685.2	56.0	8.9	372.2	-15.8	-4.1
SDĐ+RCP 8.5	1108.9	91.6	9.0	729.6	100.3	15.9	379.3	-8.7	-2.2
Nghĩa Khánh									
RCP 4.5	1579.5	79.5	5.3	1085.7	77.9	7.7	493.9	1.6	0.3
RCP 8.5	1639.5	139.5	9.3	1145.9	138.2	13.7	493.6	1.3	0.3
SDĐ+RCP 4.5	1618.4	118.4	7.9	1128.6	120.9	12.0	489.8	-2.5	-0.5
SDĐ+RCP 8.5	1688.3	188.3	12.6	1185.4	177.7	17.6	502.9	10.6	2.2
Dừa									
RCP 4.5	4913.8	167.8	3.5	3575.8	119.8	3.5	1338.0	48.0	3.7
RCP 8.5	4930.4	184.4	3.9	3602.4	146.4	4.2	1328.0	38.0	2.9
SDĐ+RCP 4.5	4968.1	222.1	4.7	3636.3	180.3	5.2	1331.8	41.8	3.2

SDD+RCP 8.5	4997.3	251.3	5.3	3667.3	211.3	6.1	1330.0	40.0	3.1
-------------	--------	-------	-----	--------	-------	-----	--------	------	-----

Bảng 3.14. Lưu lượng trung bình tháng theo các kịch bản

Tiểu lưu vực	Kịch bản	Lưu lượng (m ³ /s)											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Sơn Diệm	Nền	22.2	19.9	18.0	17.5	26.5	27.5	38.9	68.7	107.4	77.7	53.6	33.3
	RCP 4.5	23.1	19.0	17.5	15.6	25.9	28.9	38.6	75.6	112	76.6	64.3	32.3
	RCP 8.5	22.9	19.9	17.1	13.1	25.2	28.1	43.6	81.8	106	82.4	73.4	33.6
	SDD+RCP 4.5	22.7	18.9	14.7	14.2	25.5	29.4	40.1	76.5	118	80.1	69.2	31.2
	SDD+RCP 8.5	21.3	19.2	14.4	11.9	25.0	28.5	44.7	83.1	112	87.3	77.2	31.8
Hòa Duyệt	Nền	50.2	45.3	38.9	40.0	61.3	60.4	35.5	83.2	235.2	224.6	147.4	74.8
	RCP 4.5	51.2	43.4	37.8	35.2	55.8	66.0	35.9	90.6	252	234	170	73.3
	RCP 8.5	51.8	44.2	36.6	31.6	57.8	68.0	41.9	93.1	258	237	184	77.1
	SDD+RCP 4.5	51.3	41.5	35.2	32.4	56.7	70.2	39.7	93.2	259	236	176	75.2
	SDD+RCP 8.5	51.5	42.6	34.6	30.2	58.8	74.5	43.8	95.2	262	242	189	80.3
Quỳ Châu	Nền	50.7	44.0	38.6	37.8	63.5	89.7	91.0	137.9	168.5	144.0	87.9	63.6
	RCP 4.5	48.7	43.1	40.6	34.0	65.5	86.9	94.6	144	181	155.5	86.8	61.7
	RCP 8.5	51.7	43.0	39.5	32.9	66.7	89.9	104.6	152	184	156.5	114.3	61.3
	SDD+RCP 4.5	46.9	40.9	34.8	29.9	68.3	88.6	98.3	148	186	162.8	89.8	62.8
	SDD+RCP 8.5	50.1	40.4	33.9	28.5	71.9	92.5	110.9	157	187	161.1	113.2	62.0
Nghĩa Khánh	Nền	57.7	51.4	48.4	49.5	95.0	121.0	120.5	207.1	308.8	251.7	119.6	69.4
	RCP 4.5	56.8	49.6	50.0	43.7	96.4	130.7	125	217	334	288	121	66.6
	RCP 8.5	59.4	49.9	50.6	42.2	96.9	127.1	139	235	327	289	155	67.5
	SDD+RCP 4.5	52.4	47.3	47.3	40.2	98.9	135.0	133	228	343	295	128	68.7
	SDD+RCP 8.5	53.3	48.2	47.5	39.5	100.3	134.0	145	244	335	297	163	80.0
Dừa	Nền	153	127	116	111	222	364	513	837	1038	709	359	197
	RCP 4.5	155	130	121	108	235	393	534	870	1062	759	351	196
	RCP 8.5	157	129	116	94	244	395	548	887	1013	749	406	193
	SDD+RCP 4.5	152	126	116	102	237	397	546	886	1076	766	362	200
	SDD+RCP 8.5	152	126	113	91	250	401	557	902	1025	768	415	197

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Luận án đã đáp ứng được các mục tiêu đề ra:

1. Về nghiên cứu cơ sở khoa học và thực tiễn để xây dựng phương pháp đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ tới tài nguyên nước lưu vực sông Cả trong điều kiện biến đổi khí hậu

Từ nghiên cứu tổng quan các tài liệu trong và ngoài nước, Luận án đã lựa chọn phương pháp phù hợp để đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy bề mặt lưu vực sông Cả là sử dụng phương pháp phân tích chuỗi Markov, mô hình Cellular Automata và mô hình SWAT.

Luận án cũng đã làm rõ các cơ sở khoa học xây dựng được phương pháp kết hợp viễn thám, điều tra thực địa, tham vấn Delphi và mô hình hóa để đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy bề mặt phù hợp với điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội lưu vực sông Cả.

Luận án đề xuất được quy trình đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ tới dòng chảy bề mặt lưu vực sông Cả trong điều kiện biến đổi khí hậu sử dụng phương pháp tham vấn ý kiến chuyên gia Delphi trong xác định các tác nhân và ràng buộc ảnh hưởng tới việc mô phỏng sự thay đổi thảm phủ đó, cụ thể: độ cao, độ dốc, khoảng cách tới đường giao thông, khoảng cách tới sông và các ràng buộc chuyển đổi: vùng nước- đất xây dựng- đất trồng.

2. Về mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và đưa ra kịch bản thảm phủ trong tương lai cho lưu vực sông Cả sử dụng phương pháp phân tích chuỗi Markov và mô hình Cellular Automata

Luận án đã chứng minh tính khả thi của phương pháp chuỗi Markov và Cellular Automata để lập mô hình mô phỏng biến động thảm phủ ở lưu vực sông Cả đến năm 2030 phù hợp với các định hướng phát triển lĩnh vực quản lý đất đai và phát triển bảo vệ rừng, nâng cao chất lượng rừng hoặc chuyển đổi mục đích sử dụng rừng trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

Quá trình nghiên cứu cũng đã làm rõ các phương pháp kiểm chứng và đánh giá mô hình, từ đó xây dựng được quy tắc chuyển đổi thảm phủ f và mô hình hiệu chỉnh với các thông số phù hợp với điều kiện của khu vực nghiên cứu. Kết quả xác nhận với hệ số Kappa cho thấy sự thống nhất chặt chẽ giữa bản đồ thảm phủ thành lập từ ảnh viễn thám và mô phỏng cũng cho thấy rằng mô hình có độ tin cậy tốt.

Kết quả của Luận án cho thấy thảm phủ trên lưu vực sông Cả đã, đang và sẽ tiếp tục thay đổi. Đặc biệt, đến năm 2030 diện tích đất rừng vẫn có xu thế giảm nhẹ và chuyển sang các loại đất khác như đất nông nghiệp, đất xây dựng, đất trống. Cụ thể từ năm 2015 đến năm 2030: diện tích rừng giảm 17,71%, đất nông nghiệp, xây dựng, vùng nước và đất trống tăng lần lượt là: 6,70%, 4,17%, 2,27% và 4,55%. Điều này cũng phản ánh chính xác các xu hướng phát triển kinh tế - xã hội hiện nay: đô thị hóa, mở rộng đất nông nghiệp, phá rừng...

Các kết quả định lượng và phân bố theo không gian, thời gian cụ thể của kịch bản thay đổi thảm phủ lưu vực sông Cả với phạm vi ngoài quốc gia sẽ hỗ trợ rất nhiều trong quá trình đánh giá tác động với các yếu tố tự nhiên khác, đặc biệt mối liên quan đến biến đổi khí hậu.

3. Về đánh giá định lượng tác động của sự thay đổi thảm phủ đối với dòng chảy lưu vực sông Cả trong điều kiện biến đổi khí hậu.

Luận án đã thành công trong việc hiệu chỉnh, kiểm định và từ đó xác định được bộ thông số mô hình SWAT phù hợp với lưu vực sông Cả.

Luận án đã áp dụng quy trình đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ tới dòng chảy bề mặt lưu vực sông Cả trong điều kiện biến đổi khí hậu tại 5 trạm Sơn Diệm, Hòa Duyệt, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Dừa.

Qua kết quả mô phỏng, có thể thấy lưu vực sông Cả đang đối mặt với các thay đổi lớn từ biến đổi khí hậu. Nguồn nước trên lưu vực sông Cả có xu hướng tăng và sự biến đổi dòng chảy phân bố không

đều theo không gian và thời gian. Lượng mưa mùa mưa tăng dẫn đến sự gia tăng dòng chảy lũ khiến cho tình hình ngập lụt ở khu vực hạ lưu có khả năng ngày càng nghiêm trọng. Ngược lại, lượng mưa mùa khô có xu hướng giảm dẫn đến suy giảm dòng chảy mùa cạn khiến cho mặn càng xâm nhập sâu vào trong sông. Dưới tác động của thay đổi thảm phủ kết hợp cùng biến đổi khí hậu, lưu lượng dòng chảy năm tại 5 trạm Sơn Diệm, Hòa Duyệt, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Dừa trên lưu vực sông Cả tăng trong cả 4 kịch bản với mức tăng nhiều nhất là kịch bản thảm phủ + RCP8.5 từ 1144 - 1688 m³/s, riêng trạm Dừa là 4997,3 m³/s. Về dòng chảy mùa lũ và mùa cạn tại các trạm đều thống nhất xu thế tăng về mùa lũ, giảm về mùa cạn. Đặc biệt, khi có thêm vào tác động của sự thay đổi thảm phủ dẫn tới cường độ của các thay đổi này lại càng rõ ràng và nghiêm trọng hơn.

Hạn chế và kiến nghị

Luận án vẫn còn một số hạn chế như:

- Các tác nhân và ràng buộc được lựa chọn mới chỉ phản ánh được một phần của sự ảnh hưởng từ điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội tới sự thay đổi thảm phủ lưu vực sông Cả. Tuy kết quả mô phỏng thảm phủ đạt độ chính xác tương đối cao, nhưng khẳng định còn có những tác nhân và ràng buộc khác có thể ảnh hưởng tới kết quả và tăng cường độ chính xác mô phỏng.

- Một số dữ liệu đầu vào mô hình mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Cả chưa đạt độ chi tiết mong muốn như: dữ liệu đất, dữ liệu địa hình, dữ liệu dòng chảy, dữ liệu thủy văn phần lãnh thổ Lào còn hạn chế dẫn tới kết quả mô phỏng tại một số trạm chưa đạt độ chính xác cao. Ngoài ra, khi đánh giá sự thay đổi dòng chảy tương lai, Luận án cũng chưa xét đến yếu tố điều tiết hồ chứa và sử dụng nước tại lưu vực sông Cả.

- Việc đánh giá thay đổi của dòng chảy lưu vực sông Cả trong tương lai là dưới tác động kết hợp của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu, nhưng không xét đến các tác động qua lại giữa chúng như: biến đổi khí hậu cũng có thể làm thay đổi thảm phủ, tuy xét về

thời gian không dài thì các thay đổi này là không lớn, nhưng khẳng định có.

Một số kiến nghị tiếp theo:

- Cơ sở khoa học, phương pháp luận và quy trình đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ tới tài nguyên nước trong điều kiện biến đổi khí hậu hoàn toàn có thể áp dụng được cho các lưu vực khác ngoài lưu vực sông Cả.

- Các tác nhân, ràng buộc, quy tắc chuyển đổi thảm phủ f có thể được kế thừa có điều chỉnh các thông số phù hợp để áp dụng mô phỏng sự thay đổi thảm phủ các lưu vực sông khác.

- Bộ thông số mô hình SWAT cũng có thể kế thừa có điều chỉnh để phù hợp đánh giá định lượng tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đối với dòng chảy các lưu vực sông khác.

- Các kết quả mô phỏng định lượng tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đối với dòng chảy lưu vực sông Cả có thể được sử dụng để đánh giá các tác động khác ngoài dòng chảy lưu vực sông Cả.