

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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Hà Nội, 2023

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

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

LUẬN ÁN TIẾN SĨ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Tác giả Luận án



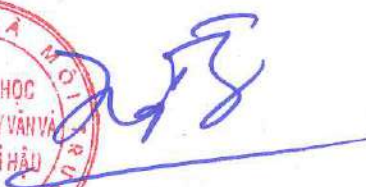
Nguyễn Thanh Bằng

Đại diện tập thể hướng dẫn



PGS.TS. Doãn Hà Phong

THỦ TRƯỞNG CƠ SỞ ĐÀO TẠO



VIỆN TRƯỞNG
Nguyễn Văn Thắng

Hà Nội, 2023

LỜI CAM ĐOAN

Nghiên cứu sinh cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tác giả, các kết quả nghiên cứu được trình bày trong Luận án là trung thực, khách quan và chưa từng đề bảo vệ ở bất kỳ học vị nào.

Nghiên cứu sinh cam đoan rằng mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện Luận án đã được cảm ơn, các thông tin trích dẫn trong luận án này đều được chỉ rõ nguồn gốc./.

TÁC GIẢ



Nguyễn Thanh Bằng

LỜI CẢM ƠN

Luận án được thực hiện tại Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS.TS. Doãn Hà Phong và PGS.TS. Bùi Tiến Diệu. Nghiên cứu sinh xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất tới các thầy, cô đã giúp đỡ tác giả từ những định hướng khoa học ban đầu và tận tình hướng dẫn, giúp đỡ, tạo điều kiện thuận lợi cho nghiên cứu sinh trong suốt quá trình thực hiện Luận án.

Nghiên cứu sinh trân trọng cảm ơn Lãnh đạo, cán bộ, giảng viên, các cơ quan, đơn vị, đặc biệt là Bộ môn Biến đổi khí hậu và Phòng Nghiên cứu Công nghệ Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu thuộc Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Trường Đại học Đông Nam Na Uy (USN) đã giúp đỡ, hỗ trợ nghiên cứu sinh trong suốt quá trình thực hiện Luận án.

Nghiên cứu sinh chân thành cảm ơn Lãnh đạo Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Lãnh đạo và các anh chị em đồng nghiệp Phòng Nghiên cứu Công nghệ Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu đã tạo điều kiện tốt nhất về thời gian để tác giả có thể hoàn thành Luận án.

Cuối cùng, nghiên cứu sinh xin gửi lời cảm ơn các đồng nghiệp, bạn bè, gia đình và người thân đã động viên, giúp đỡ hoàn thành Luận án này./.

TÁC GIẢ



Nguyễn Thanh Bằng

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của luận án	1
2. Mục tiêu của luận án.....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu.....	2
<i>3.1. Phạm vi nghiên cứu</i>	<i>2</i>
<i>3.2. Đối tượng nghiên cứu</i>	<i>2</i>
4. Câu hỏi nghiên cứu	4
5. Luận điểm bảo vệ	4
6. Hướng tiếp cận và phương pháp nghiên cứu của luận án	4
<i>6.1. Hướng tiếp cận của luận án</i>	<i>4</i>
<i>6.2. Phương pháp nghiên cứu của luận án</i>	<i>5</i>
7. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.....	7
<i>7.1. Ý nghĩa khoa học.....</i>	<i>7</i>
<i>7.2. Ý nghĩa thực tiễn</i>	<i>7</i>
8. Đóng góp mới của luận án	8
9. Cấu trúc luận án.....	8
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN DÒNG CHẢY LƯU VỰC SÔNG	10
1.1. Một số khái niệm chung.....	10
<i>1.1.1. Khái niệm về thẩm phủ và sự thay đổi thẩm phủ</i>	<i>10</i>
<i>1.1.2. Khái niệm về biến đổi khí hậu</i>	<i>11</i>
<i>1.1.3. Khái niệm về đánh giá tác động</i>	<i>12</i>
1.2. Tổng quan lưu vực sông Cả.....	14
1.3. Tổng quan nghiên cứu về mô phỏng biến động thẩm phủ trong và ngoài nước	16
<i>1.3.1. Các nghiên cứu trên thế giới về mô phỏng biến động thẩm phủ.....</i>	<i>16</i>
<i>1.3.2. Các nghiên cứu trong nước về mô phỏng biến động thẩm phủ</i>	<i>24</i>
1.4. Tổng quan nghiên cứu về đánh giá tác động của thẩm phủ tới dòng chảy lưu vực sông.....	28

1.4.1. Các nghiên cứu trên thế giới về đánh giá tác động của thảm phủ tới dòng chảy lưu vực sông.....	28
1.4.2. Các nghiên cứu trong nước về đánh giá tác động của thảm phủ tới dòng chảy lưu vực sông.....	31
1.5. Tổng quan nghiên cứu về đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông	37
1.5.1. Các nghiên cứu trên thế giới về đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông	37
1.5.2. Các nghiên cứu trong nước về đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông	41
1.6. Tổng quan nghiên cứu về đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông.....	45
1.7. Tiểu kết chương 1.....	48
CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP LUẬN ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN DÒNG CHẢY LƯU VỰC SÔNG.....	51
2.1. Phương pháp mô phỏng thảm phủ dựa trên chuỗi Markov và hệ tự hành dạng tế bào Cellular Automata.....	51
2.1.1. Phân loại thảm phủ.....	51
2.1.2. Mô phỏng, dự tính biến động trạng thái thảm phủ bằng phân tích chuỗi Markov.....	53
2.1.3. Mô phỏng biến động thảm phủ theo không gian bằng hệ tự hành dạng tế bào Cellular Automata	56
2.1.4. Kiểm định kết quả phân loại và mô phỏng	58
2.2. Phương pháp Delphi xác định các tác nhân mô phỏng sự thay đổi thảm phủ về không gian	59
2.3. Phương pháp đánh giá định lượng tác động của biến động thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông.....	62
2.3.1. Mô phỏng dòng chảy lưu vực bằng mô hình SWAT.....	62
2.3.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SWAT.....	67
2.4. Khung nghiên cứu	70
2.4.1. Quy trình mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và dự tính kịch bản thảm phủ tương lai.....	71
2.4.1.1. Xử lý và phân loại thảm phủ	72

2.4.1.2. Tạo ma trận xác suất chuyển đổi, Ma trận diện tích chuyển đổi	75
2.4.1.3. Tạo bản đồ phù hợp	75
2.4.1.4. Mô phỏng sử dụng đất/thảm phủ	76
2.4.1.5. Kiểm định mô hình	77
2.4.2. Quy trình mô phỏng dòng chảy lưu vực dưới tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu	77
2.4.2.1. Phân chia lưu vực	78
2.4.2.2. Phân tích đơn vị phản ứng thủy văn	78
2.4.2.3. Thiết lập biến tính toán và chạy mô hình	79
2.4.2.4. Các thông số lựa chọn	80
2.4.2.5. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình mô phỏng	81
2.5. Dữ liệu sử dụng	82
2.5.1. Dữ liệu sử dụng mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và dự tính thảm phủ tương lai	82
2.5.1.1. Dữ liệu viễn thám	82
2.5.1.2. Mô hình số độ cao – DEM	83
2.5.1.3. Dữ liệu hiện trạng sử dụng đất	84
2.5.1.4. Dữ liệu quy hoạch sử dụng đất	86
2.5.1.5. Dữ liệu thực địa	87
2.5.2. Dữ liệu sử dụng mô phỏng dòng chảy lưu vực dưới tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu	88
2.5.2.1. Dữ liệu địa hình	88
2.5.2.2. Dữ liệu đất	89
2.5.2.3. Dữ liệu sử dụng đất	90
2.5.2.4. Dữ liệu khí tượng	91
2.5.2.5. Dữ liệu dòng chảy thực đo	92
2.5.2.6. Kịch bản biến đổi khí hậu trên lưu vực sông Cả	92
2.6. Tiểu kết chương 2	99
CHƯƠNG 3: ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN DÒNG CHẢY LƯU VỰC SÔNG CẢ	100
3.1. Mô phỏng sự thay đổi thảm phủ theo không gian, thời gian cho lưu vực sông Cả	100
3.1.1. Phân loại thảm phủ	100
3.1.2. Tính toán ma trận xác suất chuyển đổi, ma trận diện tích chuyển đổi	102

3.1.3. Xác định các tác nhân, ràng buộc để mô phỏng thay đổi thảm phủ về mặt không gian	104
3.1.4. Lập bản đồ phù hợp	111
3.1.5. Mô phỏng thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2015	118
3.1.6. Kiểm định kết quả mô phỏng	120
3.1.7. Dự tính thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2030	120
3.2. Đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Cả	124
3.2.1. Phân chia tiểu lưu vực	124
3.2.2. Phân tích đơn vị phản ứng thủy văn HRU	126
3.2.3. Thiết lập dữ liệu đầu vào mô hình	127
3.2.4. Hiệu chỉnh, kiểm định, xác định bộ thông số mô phỏng	128
3.2.4.1. Phân tích độ nhạy các thông số	128
3.2.4.2. Hiệu chỉnh, kiểm định kết quả mô phỏng	129
3.2.5. Thay đổi thảm phủ trên lưu vực	135
3.2.6. Mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Cả dưới tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu	137
3.2.6.1. Dòng chảy năm	137
3.2.6.2. Dòng chảy mùa lũ	138
3.2.6.3. Dòng chảy mùa cạn	140
3.2.6.4. Dòng chảy tháng	141
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	147
TÀI LIỆU THAM KHẢO	151

DANH MỤC BẢNG

<i>Bảng 1.1. Ảnh hưởng của độ che phủ rừng đến dòng chảy sông Rào Nậy</i>	<i>33</i>
<i>Bảng 1.2. Ảnh hưởng của biến động lớp thảm phủ rừng tới lớp dòng chảy bề mặt.</i>	<i>34</i>
<i>Bảng 2.1. Quy tắc KAMET phân tích đánh giá từ các chuyên gia sử dụng phương pháp Delphi.....</i>	<i>61</i>
<i>Bảng 2.2. Tiêu chuẩn phân loại mức độ chính xác của kết quả mô phỏng theo các chỉ số NSE và R2</i>	<i>82</i>
<i>Bảng 2.3. Danh sách các nguồn và loại dữ liệu sử dụng</i>	<i>83</i>
<i>Bảng 2.4. Các loại đất chính trên lưu vực sông Cả.....</i>	<i>90</i>
<i>Bảng 2.5. Diện tích rừng năm 2019 2 tỉnh Nghệ An và Hà Tĩnh.....</i>	<i>91</i>
<i>Bảng 2.6. Sự thay đổi nhiệt độ tối thấp trung bình tháng (°C) tại các trạm khí tượng trong giai đoạn 2020 – 2039 so với thời kỳ nền.....</i>	<i>93</i>
<i>Bảng 2.7. Thay đổi nhiệt độ tối cao trung bình tháng (°C) tại các trạm khí tượng trong giai đoạn 2020 – 2039 so với thời kỳ nền</i>	<i>94</i>
<i>Bảng 2.8. Sự thay đổi lượng mưa trung bình tháng tại các trạm khí tượng theo kịch bản RCP4.5 giai đoạn 2020 – 2039 so với thời kỳ nền.....</i>	<i>97</i>
<i>Bảng 2.9. Sự thay đổi lượng mưa trung bình tháng tại các trạm khí tượng theo kịch bản RCP8.5 giai đoạn 2020 – 2039 so với thời kỳ nền.....</i>	<i>97</i>
<i>Bảng 3.1. Đánh giá độ chính xác phân loại thảm phủ.....</i>	<i>102</i>
<i>Bảng 3.2. Ma trận xác suất chuyển đổi giai đoạn 2005 - 2010 và 2010 - 2015 lưu vực sông Cả (%).....</i>	<i>103</i>
<i>Bảng 3.3. Ma trận diện tích chuyển đổi giai đoạn 2005 - 2010 và 2010 - 2015 lưu vực sông Cả (pixel)</i>	<i>104</i>
<i>Bảng 3.4. Bảng câu hỏi vòng 1 Delphi tham vấn ý kiến chuyên gia</i>	<i>107</i>
<i>Bảng 3.5. Mức độ đồng ý của các chuyên gia vòng 2 Delphi.....</i>	<i>108</i>
<i>Bảng 3.6. Mức độ đồng ý của các chuyên gia vòng 3 Delphi.....</i>	<i>109</i>
<i>Bảng 3.7. Tiêu chuẩn hóa các nhân tố theo hàm mờ.....</i>	<i>112</i>
<i>Bảng 3.8. Giá trị trọng số của các nhân tố đối với mỗi lớp phủ</i>	<i>114</i>
<i>Bảng 3.9. Thống kê hệ số Kappa của kết quả mô phỏng</i>	<i>120</i>
<i>Bảng 3.10. Diện tích các loại hình đất (ha) trên lưu vực sông Cả năm 2005-2010-2015 và 2030 từ số liệu viễn thám và mô phỏng MCA</i>	<i>123</i>
<i>Bảng 3.11. Chỉ số đánh giá kết quả hiệu chỉnh và kiểm định.....</i>	<i>134</i>

<i>Bảng 3.12. Thống kê thay đổi diện tích đất của từng tiểu lưu vực sông Cả</i>	<i>136</i>
<i>Bảng 3.13. Mô tả các kịch bản mô phỏng dòng chảy</i>	<i>137</i>
<i>Bảng 3.14. Bảng thống kê biến đổi dòng chảy năm, lũ, cạn giai đoạn 2020-2039 của các kịch bản so với thời kỳ nền</i>	<i>140</i>
<i>Bảng 3.15. Lưu lượng trung bình tháng theo các kịch bản</i>	<i>146</i>

DANH MỤC HÌNH

<i>Hình 1.1. Bản đồ mô phỏng thăm phủ năm 2025 ở Arak, Iran.....</i>	<i>21</i>
<i>Hình 1.2. Bản đồ thăm phủ/sử dụng đất dự tính ở Wudil năm 2028</i>	<i>22</i>
<i>Hình 1.3. Mô phỏng thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2014-2028.....</i>	<i>24</i>
<i>Hình 1.4. Sơ đồ xử lý dữ liệu viễn thám trong theo dõi biến động đất đô thị TP Vinh, Nghệ An.....</i>	<i>26</i>
<i>Hình 1.5. Phương pháp lập ma trận xác suất chuyển đổi.....</i>	<i>27</i>
<i>Hình 1.6. Lưu lượng nước trung bình cho 2 giai đoạn của sông Tocantins.....</i>	<i>29</i>
<i>Hình 1.7. Thăm phủ trên lưu vực sông Vệ năm 2016</i>	<i>37</i>
<i>Hình 1.8. Mức thay đổi dòng chảy hiệu dụng vào mùa khô theo không gian so với thời kỳ 1980-1999, kịch bản B2</i>	<i>42</i>
<i>Hình 1.9. Mức thay đổi dòng chảy hiệu dụng vào mùa mưa theo không gian so với thời kỳ 1980-1999, kịch bản B2</i>	<i>42</i>
<i>Hình 2.1. Định nghĩa vùng lân cận trong CA 2 chiều</i>	<i>58</i>
<i>Hình 2.2. Ma trận sai số.....</i>	<i>59</i>
<i>Hình 2.3. Sơ đồ vòng tuần hoàn thủy văn đất.....</i>	<i>64</i>
<i>Hình 2.4. Sơ đồ các quá trình diễn ra trong dòng chảy</i>	<i>64</i>
<i>Hình 2.5. Vòng tính toán cho HRU/lưu vực con.....</i>	<i>66</i>
<i>Hình 2.6. Khung nghiên cứu mô phỏng biến động thăm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy</i>	<i>70</i>
<i>Hình 2.7. Quy trình mô phỏng biến động thăm phủ</i>	<i>72</i>
<i>Hình 2.8. Quy trình mô phỏng tác động của thay đổi thăm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy sử dụng mô hình SWAT.....</i>	<i>78</i>
<i>Hình 2.9. Hiện trạng sử dụng đất</i>	<i>85</i>
<i>Hình 2.10. Quy hoạch sử dụng đất Nghệ An – Hà Tĩnh 2020</i>	<i>87</i>
<i>Hình 2.11. Vị trí các điểm thực địa khu vực sông Cả</i>	<i>88</i>
<i>Hình 2.12. Dữ liệu DEM lưu vực sông Cả.....</i>	<i>88</i>
<i>Hình 2.13. Bản đồ loại đất lưu vực sông Cả.....</i>	<i>89</i>
<i>Hình 2.14. Hiện trạng rừng 2019 ở 2 tỉnh Nghệ An và Hà Tĩnh (BNNPTNT 2019)</i>	<i>91</i>
<i>Hình 2.15. Xu thế nhiệt độ tối thấp, tối cao trung bình năm tại các trạm trên lưu vực sông Cả theo 02 kịch bản BĐKH.....</i>	<i>95</i>

Hình 2.16. Xu thế thay đổi lượng mưa năm tại các trạm trên lưu vực sông Cả theo 02 kịch bản BĐKH	97
Hình 3.1. Bản đồ phân loại thảm phủ lưu vực sông Cả.....	101
Hình 3.2. Kết quả mô phỏng mức phù hợp cho các loại lớp phủ	117
Hình 3.3. Kết quả mô phỏng thảm phủ năm 2015 với số lần lặp khác nhau thông qua CA-Markov	119
Hình 3.4. Bản đồ thảm phủ lưu vực sông Cả dự tính năm 2030.....	121
Hình 3.5. Diện tích (ha) và tỷ lệ phân bố (%) cho từng lớp thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2030	122
Hình 3.6. Lượng thay đổi dự tính từ a) 2005 đến 2030; b) 2015 đến 2030.....	122
Hình 3.7. Bản đồ phân chia các tiểu lưu vực.....	125
Hình 3.8. Kết quả phân loại sử dụng đất, thổ nhưỡng, phân cấp độ dốc	127
Hình 3.9. Định nghĩa đơn vị phản ứng thủy văn.....	127
Hình 3.10. Nhập dữ liệu khí tượng.....	128
Hình 3.11. Thiết lập các tùy chọn và chạy mô hình.....	128
Hình 3.12. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Nghĩa Khánh năm 2007 - 2010.....	130
Hình 3.13. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Hòa Duyệt năm 2007 - 2010.....	130
Hình 3.14. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Dừa năm 2007 - 2010	131
Hình 3.15. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Quỳnh Châu năm 2007 - 2010.....	131
Hình 3.16. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Sơn Diệm năm 2007 - 2010.....	132
Hình 3.17. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Hòa Duyệt năm 2011-2014.....	132
Hình 3.18. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Nghĩa Khánh năm 2011-2014.....	133
Hình 3.19. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Dừa năm 2011-2014.....	133
Hình 3.20. Dòng chảy bình quân ngày (m ³ /s) tính toán và thực đo trạm Quỳnh Châu năm 2011-2014.....	134

Hình 3.21. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Sơn Diệm năm 2011-2014.....	134
Hình 3.22. Biến đổi dòng chảy năm so với thời kỳ nền trên lưu vực sông Cả.....	138
Hình 3.23. Biến đổi dòng chảy mùa lũ so với thời kỳ nền trên lưu vực sông Cả....	138
Hình 3.24. Biến đổi dòng chảy cạn so với thời kỳ nền trên lưu vực sông Cả.....	140
Hình 3.25. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Sơn Diệm	143
Hình 3.26. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Hòa Duyệt	143
Hình 3.27. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Quỳnh Châu	144
Hình 3.28. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Nghĩa Khánh	144
Hình 3.29. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Dừa.....	145

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

AHP	Phân tích thứ bậc Analytic Hierarchy Process
BĐKH	Biến đổi khí hậu
CA	Mô hình Hệ tự hành dạng tế bào Cellular Automata
CA	Độ chính xác phân loại thảm phủ Classification Accuracy
DEM	Mô hình số độ cao Digital Elevation Model
FAO	Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên hợp quốc Food and Agriculture Organization
GCM	Mô hình khí hậu toàn cầu General Circulation Model
GIS	Hệ thống thông tin địa lý Geographic Information System
HRU	Đơn vị phản ứng thủy văn Hydrologic Response Unit
HTSDĐ	Hiện trạng sử dụng đất
IPCC	Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu Intergovernmental Panel on Climate Change
KAMET	Quy tắc KAMET Knowledge Acquisition for Multiple Experts with Time scale
LULC	Thảm phủ Land Use/Land Cover
MCE	Đánh giá đa tiêu chí Multi-Criteria Evaluation
METI	Bộ Kinh tế, Thương mại và Công nghiệp Nhật Bản Ministry of Economy, Trade and Industry
MLC	Phân loại xác suất cực đại Maximum Likelihood Classification
NASA	Cơ quan Hàng không và Vũ trụ Hoa Kỳ National Aeronautics and Space Administration

NSE	Hệ số hiệu quả mô hình Nash – Sutcliffe Nash – Sutcliffe Efficiency
OECD	Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế Organization for Economic Cooperation and Development
PA	Độ chính xác nhà sản xuất Producer Accuracy
QHSDD	Quy hoạch sử dụng đất
RCM	Mô hình khí hậu khu vực Regional Climate Model
RCP4.5	Kịch bản Đường nồng độ Khí nhà kính Đại diện 4.5 Representative Concentration Pathways 4.5
RCP8.5	Kịch bản Đường nồng độ Khí nhà kính Đại diện 8.5 Representative Concentration Pathways 8.5
SWAT	Công cụ Đánh giá Nước và Đất Soil and Water Assessment Tool
UA	Độ chính xác người dùng User Accuracy
USGS	Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ United States Geological Survey
WLC	Kết hợp tuyến tính có trọng số Weighted Linear Combination

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Khu vực Bắc Trung Bộ trong những năm gần 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 đặc trưng lưu vực các lưu vực sông thay đổi. 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. Có thể nói, thảm phủ và tài nguyên nước có mối quan hệ chặt chẽ với nhau. Thảm phủ tác động tới quá trình mưa – dòng chảy của lưu vực sông dẫn đến biến đổi đặc trưng dòng chảy trong sông suối theo thời gian và không gian.

Biến đổi khí hậu cũng làm khắc nghiệt thêm các yếu tố khí hậu như: nhiệt độ tăng, 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.

Nước cần thiết cho mọi sự sống và phát triển, nước là môi trường và cũng là đầu vào cho các quá trình sản xuất nông lâm ngư nghiệp, công nghiệp. Nước là nguồn tài nguyên quý giá, nhưng không vô tận, thậm chí ngày càng khan hiếm. Các nghiên cứu gần đây chỉ ra rằng, đến năm 2025 tổng lượng nước mặt của nước ta chỉ bằng khoảng 96% so với hiện nay. Dự báo đến năm 2030, nhu cầu về nước cho các mục đích kinh tế - xã hội và dân sinh sẽ là khoảng 122 tỷ m³/năm, tăng 1,5 lần so với hiện nay [6]. Điều đó cho thấy, tầm quan trọng của các biện pháp bảo vệ các nguồn nước, đặc biệt là nguồn nước tới từ các lưu vực sông. Sông Cả dài 513 km với diện tích lưu vực 27.200 km² – một trong những lưu vực sông dài và lớn ở Việt Nam - cần được chú trọng quan tâm. Để các biện pháp khai thác, quản lý, bảo vệ tài nguyên nước có thể phát huy tối đa hiệu quả, cần phải hiểu được tài nguyên nước lưu vực sông Cả thay đổi như thế nào dưới tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu.

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 biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông Cả.

Ở Việt Nam, đã có những nghiên cứu tính toán và đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi thảm phủ đến dòng chảy lưu vực sông hoặc đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới dòng chảy nhưng các nghiên cứu đánh giá kết hợp cả hai vấn đề trên còn chưa nhiều.

Vì vậy, luận án hướng tới nghiên cứu các luận cứ khoa học và thực tiễn nhằm định lượng các tác động đồng thời của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông Cả trong tương lai, góp phần hỗ trợ cho bài toán quản lý, bảo vệ tài nguyên nước.

2. Mục tiêu của luận án

Đề xuất được một khung nghiên cứu phục vụ dự tính biến đổi thảm phủ cho một lưu vực sông theo hướng tiếp cận xác suất thống kê sử dụng chuỗi Markov, Cellular Automata, kỹ thuật Delphi;

Bước đầu đánh giá được định lượng tác động đồng thời của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Cả trong tương lai.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu: Lưu vực sông Cả bao gồm cả lưu vực liên quốc gia bên phía nước bạn Lào, cụ thể sẽ được nêu rõ trong phần tổng quan của luận án.

3.2. Đối tượng nghiên cứu

- 5 lớp thảm phủ chính tác động đến dòng chảy lưu vực sông Cả gồm: Đất rừng, Đất nông nghiệp, Đất xây dựng, Vùng nước và Đất trống.

- Dòng chảy (năm, mùa lũ, mùa cạn) lưu vực sông Cả giai đoạn (1986-2015).

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

Theo hiện trạng sử dụng đất, thảm phủ bề mặt chia theo mục đích sử dụng bao gồm: đất sản xuất nông nghiệp, lâm nghiệp, nuôi trồng thủy sản, làm muối, nông

nghiệp khác, xây dựng, chuyên dùng, sông, nước bề mặt, đất trống và chưa sử dụng (Thông tư 08/2007/TT-BTNMT). Kết hợp cùng việc nghiên cứu các đặc điểm phổ từ dữ liệu LANDSAT, SENTINEL và các chỉ số tính toán từ DEM, chỉ số thảm thực vật,... các lớp phủ của lưu vực sông Cả có tác động chính đến dòng chảy bề mặt bao gồm: Đất rừng, Đất nông nghiệp, Đất xây dựng, Vùng nước và Đất trống được phân loại như Bảng 1.

Bảng 1. Danh mục thảm phủ phân loại

Lớp thảm phủ	Chú giải
Đất rừng	Đất rừng có rừng tự nhiên, rừng trồng đạt tiêu chuẩn lâm nghiệp (rừng sản xuất, rừng phòng hộ, rừng đặc dụng).
Đất nông nghiệp	Đất sản xuất nông nghiệp bao gồm: Đất trồng cây hàng năm (ví dụ: đất trồng lúa, đồng cỏ chăn nuôi, trồng cây hàng năm khác); Đất trồng cây lâu năm (ví dụ: vườn cây ăn quả, cây lâu năm).
Đất xây dựng	Đất xây dựng để ở, xây dựng công trình, đất trụ sở cơ quan, công trình sự nghiệp; bảo vệ đất đai, an ninh.
Vùng nước	Đất sông suối và mặt nước chuyên dùng, mặt nước ven biển.
Đất trống	Đất không có mục đích sử dụng bao gồm đất đồng bằng chưa sử dụng, đất đồi núi chưa sử dụng, núi đá không có rừng.

Giai đoạn đánh giá:

Về giai đoạn được áp dụng để thu thập dữ liệu và xây dựng ma trận xác suất chuyển đổi của các loại lớp phủ được lựa chọn là giai đoạn 2005-2015 (2005, 2010, 2015) bởi đây là giai đoạn các dữ liệu ảnh viễn thám có bước tiến lớn trong việc tăng cường độ chính xác và số lượng ảnh cũng đủ dày để thực hiện phân tích chuỗi số liệu hồi quy. Ngoài ra đây cũng là giai đoạn Thủ tướng chính phủ đã phê duyệt và thực hiện tổng điều tra đất đai (năm 2005, 2010, 2015) và phê duyệt quy hoạch sử dụng đất năm 2020, tầm nhìn tới 2030. Đây cũng là một nguồn dữ liệu đầu vào có tính pháp lý cao và có đủ độ tin cậy nhằm cải thiện các kết quả dự tính xác suất chuyển đổi sử dụng đất.

Giai đoạn đánh giá: Dữ liệu kịch bản nhiệt độ, lượng mưa năm 2030 theo Kịch bản BĐKH&NBD của Viện KH KTTV&BĐKH. Dữ liệu kịch bản thảm phủ năm

2030 được dự tính bằng phương pháp mô phỏng Markov – Cellular Automata dựa trên biến đổi thảm phủ giai đoạn 2005-2015.

4. Câu hỏi nghiên cứu

- Phương pháp nào có thể dự tính định lượng và mô phỏng không gian biến đổi thảm phủ cho một lưu vực sông?

- 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

- Thảm phủ tương lai có thể được dự tính định lượng bằng phương pháp xác suất thống kê và có các quy tắc chuyển đổi, tác nhân và ràng buộc có thể mô phỏng thảm phủ tương lai về mặt không gian.

- 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 so với chỉ chịu tác động riêng rẽ của biến đổi khí hậu.

6. Hướng tiếp cận và phương pháp nghiên cứu của luận án

6.1. Hướng tiếp cận của luận án

- *Tiếp cận đa ngành:* Việc nghiên cứu, đề xuất các giải pháp trong khu vực nghiên cứu cần được xem xét trong mối quan hệ tổng thể về điều kiện tự nhiên (khí hậu, thủy văn, địa hình, địa mạo, môi trường, sinh học, sinh thái học...), điều kiện xã hội (văn hóa lịch sử, phong tục tập quán, quan điểm sử dụng tài nguyên...). Do vậy, việc đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ tới tài nguyên nước cụ thể là dòng chảy bề mặt lưu vực sông Cả cần được tích hợp đa ngành, kiến thức chuyên gia về khoa học tự nhiên (KTTV, sinh học, các ngành khoa học trái đất...), khoa học xã hội và nhân văn (xã hội học, văn hoá, lịch sử, kinh tế, luật, quản lý...).

- *Tiếp cận định tính và định lượng:* Việc phân tích định lượng được thực hiện sau quá trình phân tích định tính nhằm xác định quan hệ giữa các yếu tố tài nguyên nước với các yếu tố ảnh hưởng (thảm phủ, mưa, nhiệt độ, địa hình...).

- *Tiếp cận lịch sử và logic:* Tiếp cận, thực hiện thu thập thông tin, tài liệu lịch sử về các dữ liệu trong khu vực nghiên cứu bằng nhiều phương pháp khác nhau (xem

xét số liệu thứ cấp, điều tra/ phiếu câu hỏi,...), từ đó xác định xác suất thống kê nhiều năm của sự biến đổi các lớp phủ đất.

- *Tiếp cận đánh giá rủi ro theo không gian và thời gian*: Các tác động tới tài nguyên nước cụ thể trong nghiên cứu này là dòng chảy mặt thường thay đổi theo không gian và thời gian. Do đó, việc đánh giá tác động cũng phải xác định rõ sự khác biệt về khu vực địa lý và thời gian, đặc biệt là các tháng trong năm.

- *Tiếp cận nhân – quả*: Phân tích xem xét đối tượng trên cơ sở phân tích nguyên nhân – kết quả. Một nguyên nhân có thể dẫn đến 1 hậu quả duy nhất nhưng cũng có thể dẫn đến một số hậu quả khác nhau. Ngược lại, có thể nhiều nguyên nhân mới dẫn đến 1 hậu quả. Tiến hành phân tích nguyên nhân khác nhau gây tác động tới tài nguyên nước, từ đó đề xuất giải pháp phù hợp.

- *Tiếp cận phân tích, tổng hợp*: Việc nghiên cứu, đánh giá tác động của biến động thảm phủ tới tài nguyên nước của lưu vực nghiên cứu từ nhiều các yếu tố chỉ thị liên quan, vì vậy việc tiếp cận phân tích tổng hợp nhằm đưa ra được các lựa chọn chính xác và phù hợp với điều kiện của địa phương, trong đó lựa chọn ra những yếu tố quan trọng, các lớp phủ đất đặc trưng, có vai trò chính ảnh hưởng tới tài nguyên nước.

6.2. Phương pháp nghiên cứu của luận án

1) Phương pháp thu thập, thống kê, tổng hợp tài liệu

Phương pháp này được thực hiện trên cơ sở kế thừa, phân tích và tổng hợp các nguồn tài liệu, tư liệu, số liệu thông tin có liên quan một cách có chọn lọc, từ đó, đánh giá chúng theo yêu cầu và nội dung nghiên cứu. Nghiên cứu sẽ tiến hành thu thập, tổng hợp và tính toán các dữ liệu đặc trưng của khu vực nghiên cứu. Số liệu được thu thập thường rất nhiều và hỗn độn (bao gồm cả các dữ liệu khảo sát thực địa và các dữ liệu thu thập được từ các nguồn chính thống khác như: hiện trạng sử dụng đất, số liệu viễn thám...), các dữ liệu đó chưa đáp ứng được cho quá trình nghiên cứu. Để có hình ảnh tổng quát về tổng thể nghiên cứu, số liệu thu thập phải được xử lý tổng hợp, trình bày, tính toán các số đo.

2) Phương pháp điều tra khảo sát thực địa

Phương pháp điều tra khảo sát thực địa nhằm thu thập bổ sung các số liệu, tài liệu thực tế tại cái khu vực điển hình trong khu vực nghiên cứu của luận án, làm cơ sở cho việc đánh giá độ chính xác và tính phù hợp của các kết quả, các kết luận trong khi nghiên cứu. Việc khảo sát thực địa được thực hiện vào giai đoạn đầu thực hiện luận án, nhằm lấy các điểm mẫu và phân loại các loại thảm phủ bề mặt khu vực nghiên cứu như: giao thông, đất rừng, mặt nước, lúa – hoa màu, đất trống,... Các dữ liệu thực địa này sẽ được đưa vào mô hình phân tích biến động thảm phủ và phục vụ việc kiểm chứng các kết quả sau này.

3) Phương pháp chuyên gia và kỹ thuật Delphi

Trong các nghiên cứu nói chung, nhất là các nghiên cứu có quy mô lớn, phương pháp chuyên gia được coi là một phương pháp quan trọng và hiệu quả. Phương pháp này huy động được kinh nghiệm và hiểu biết của nhóm chuyên gia liên ngành về lĩnh vực nghiên cứu, từ đó sẽ cho các kết quả có tính thực tiễn và khoa học cao, tránh được những trùng lặp với những nghiên cứu đã có, đồng thời kế thừa các thành quả nghiên cứu đã đạt được. 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 hoặc bằng phiếu lấy ý kiến hoặc thông qua các hội thảo tham vấn ý kiến của các chuyên gia trong các lĩnh vực liên quan.

Kỹ thuật Delphi là một kỹ thuật hỗ trợ quá trình thảo luận nhóm để đưa ra giải pháp cho một vấn đề cụ thể. Kỹ thuật Delphi có nguồn gốc từ phương pháp dự báo tương tác dựa trên bảng trả lời câu hỏi của các chuyên gia. Kỹ thuật Delphi được áp dụng nhằm tạo điều kiện thuận lợi cho việc tham gia tương tác, 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.

4) Phương pháp mô hình hóa

- 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 bản đồ biến động thảm phủ.

- 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. SWAT là mô hình thủy văn bán phân bố, cho phép mô hình hóa nhiều quá trình vật lý trên cùng một lưu vực.

5) Phương pháp viễn thám

Sử dụng dữ liệu viễn thám quá khứ và hiện tại để điều tra và xác định những thay đổi về đặc tính của đối tượng lớp phủ bề mặt. Mỗi đối tượng trên bề mặt Trái Đất sẽ có một đặc trưng riêng về bức xạ, phản xạ hay hấp thụ các tia sóng điện từ. Các đặc trưng này được ghi chụp và được thể hiện dưới dạng ảnh và là các giá trị phản ánh trung thực nhất về sự thay đổi lớp phủ bề mặt tại lưu vực nghiên cứu, là những yếu tố có tác động chính đến dòng chảy bề mặt.

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: Đất rừng, Đất nông nghiệp, Đất 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 thăm 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 tài nguyên nước 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 Đất rừng, Đất nông nghiệp, Đất xây dựng, Vùng nước, Đất trống của lưu vực sông Cả.

- Luận án đã bước đầu 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.

9. Cấu trúc luận án

Ngoài phần Mở đầu và Kết luận, Luận án gồm 3 chương:

Chương 1: Tổng quan về đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông;

Chương này nêu Tổng quan về lưu vực sông Cả, Tổng quan các nghiên cứu trước đây ở trong và ngoài nước về: mô phỏng biến động thảm phủ, đánh giá tác động của thảm phủ tới dòng chảy lưu vực sông, đánh giá tác động của BĐKH tới dòng chảy lưu vực sông, và đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và BĐKH tới dòng chảy lưu vực sông

Chương 2: Phương pháp luận đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông;

Đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy cần giải quyết hai vấn đề là mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và mô phỏng dòng chảy dưới tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu. Chương này trình bày cơ sở khoa học và phương pháp được áp dụng để giải quyết hai vấn đề đó. Đồng thời,

đề xuất quy trình thực hiện và dữ liệu được sử dụng trong luận án cũng được nêu trong chương 2.

Chương 3: Đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Cả.

Chương 3 trình bày kết quả các bước thực hiện chính trong quy trình mô phỏng thay đổi thảm phủ và quy trình đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông Cả. Chương này cũng trình bày đầy đủ việc xử lý số liệu đầu vào, hiệu chỉnh, kiểm định mô hình và đánh giá độ chính xác kết quả mô phỏng. Các kết quả mô phỏng tương lai về thảm phủ và dòng chảy được phân tích, đánh giá và so sánh theo các kịch bản thảm phủ và biến đổi khí hậu.

Kết luận và Kiến nghị.

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

Để đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ đến dòng chảy trong điều kiện biến đổi khí hậu, Luận án cần giải quyết được hai mục tiêu chính: (1) Mô phỏng được sự thay đổi thảm phủ trong quá khứ và dự tính được thảm phủ trong tương lai; (2) Kết hợp cả hai kịch bản thảm phủ và kịch bản biến đổi khí hậu để đánh giá tác động đến tài nguyên nước, cụ thể trong nghiên cứu này sẽ đánh giá tác động đến dòng chảy bề mặt của lưu vực sông Cả.

Chương 1 sẽ đưa ra một số khái niệm được sử dụng trong Luận án; tổng hợp các nghiên cứu đã có trong và ngoài nước về mô phỏng biến động thảm phủ, đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ đến dòng chảy trong điều kiện biến đổi khí hậu, trong đó đi sâu vào dòng chảy bề mặt. Từ đó bước đầu đưa ra các đánh giá tổng quan hướng tới một phương pháp hiệu quả và khả thi có thể áp dụng được cho lưu vực nghiên cứu.

1.1. Một số khái niệm chung

1.1.1. Khái niệm về thảm phủ và sự thay đổi thảm phủ

Có nhiều định nghĩa về thảm phủ (land cover):

Thảm phủ là lớp thực bì của Trái đất và các bộ phận hợp thành khác nhau của nó [106].

Thảm phủ là các quần thể thực vật phủ trên bề mặt Trái đất như một tấm thảm xanh [26].

Định nghĩa của tổ chức Nông Lương Liên Hợp quốc (United Nations Food and Agricultural Organization - FAO): thảm phủ là lớp vỏ vật lý sinh học quan sát được trên bề mặt Trái đất (“the observed biophysical cover on the Earth’s surface”) [68]. Định nghĩa này bao gồm tất cả những gì tồn tại trên bề mặt đất, như: thực vật, nước, băng, thậm chí cả đá và đất trống, thêm vào đó là cả các lớp được tạo ra do hoạt động của con người như nông nghiệp và đô thị.

Ngoài ra, thảm phủ (land cover) khác với sử dụng đất (land use), nhưng có một mối liên hệ chặt chẽ giữa thảm phủ và sử dụng đất. Hai thuật ngữ này trùng lặp

ở một mức nhất định, nhưng có sự khác biệt quan trọng: Sử dụng đất là việc con người sử dụng bề mặt Trái đất. FAO định nghĩa sử dụng đất như sau: “sử dụng đất được đặc trưng bởi các sắp xếp, hoạt động và đầu vào mà con người thực hiện trong một loại thảm phủ nhất định để sản xuất, thay đổi hoặc duy trì nó”. Ví dụ, trong thảm phủ, mặt hồ được coi là nước tự nhiên, nhưng đối với sử dụng đất khi mặt hồ này được sử dụng làm thủy lợi thì lại được coi là nước dùng cho mục đích thủy lợi.

Như vậy, sử dụng đất và thảm phủ sẽ cung cấp một cái nhìn toàn cảnh về một khu vực cụ thể cả về tự nhiên và sử dụng của lớp phủ bề mặt. Dữ liệu về độ che phủ đất ghi lại mức độ bao phủ của một khu vực được bao phủ bởi rừng, đất ngập nước, bề mặt không thấm nước, nông nghiệp cũng như các loại đất và nước khác. Sử dụng đất cho biết cách con người sử dụng cảnh quan - để phát triển, bảo tồn hay sử dụng hỗn hợp. Điều quan trọng là phải phân biệt sự khác biệt này giữa thảm phủ và sử dụng đất, và thông tin có thể được xác định từ mỗi loại.

Thay đổi thảm phủ đất biểu thị sự thay đổi các đặc điểm liên tục nhất định của đất như kiểu thực vật, tính chất của đất, v.v., trong khi thay đổi sử dụng đất bao gồm sự thay đổi cách thức sử dụng hoặc quản lý diện tích đất nhất định của con người. Các thay đổi này thường do tác động chủ yếu bởi phát triển kinh tế - xã hội. Các nguyên nhân tự nhiên cũng có thể dẫn đến thay đổi thảm phủ, nhưng sự can thiệp của con người sẽ chịu trách nhiệm chính tới việc thay đổi sử dụng đất. Do đó, khi nói đến sự thay đổi thảm phủ một cách đầy đủ phải nhắc đến thay đổi thảm phủ và thay đổi sử dụng đất.

Trong Luận án, sự thay đổi thảm phủ (land use/land cover change - LULC) sẽ được hiểu là bao gồm cả sự thay đổi thảm phủ bề mặt (land cover change) và thay đổi sử dụng đất (land use change).

1.1.2. Khái niệm về biến đổi khí hậu

Biến đổi khí hậu là sự thay đổi của khí hậu trong một khoảng thời gian dài do tác động của các điều kiện tự nhiên và hoạt động của con người. Biến đổi khí hậu hiện nay biểu hiện bởi sự nóng lên toàn cầu, mực nước biển dâng và gia tăng các hiện tượng khí tượng thủy văn cực đoan [5].

Biến đổi khí hậu vẫn luôn diễn ra trong một khoảng thời gian dài dưới tác động của các điều kiện tự nhiên, tuy nhiên thời gian gần đây, do tác động của các hoạt động của con người như việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch trong giao thông vận tải và sản xuất công nghiệp, phát thải khí nhà kính ra môi trường, khiến cho hệ thống khí hậu ấm hơn và xảy ra những thay đổi trên diện rộng và nhanh chóng hơn.

Theo Báo cáo của Nhóm công tác I đóng góp cho Đánh giá lần thứ 6 của IPCC AR6 WGI, Trái đất sẽ ấm lên $1,5^{\circ}\text{C}$ trong tất cả các kịch bản. Trong lộ trình phát thải tham vọng nhất, Trái đất sẽ nóng lên $1,5^{\circ}\text{C}$ vào những năm 2030, và vượt quá mức $1,6^{\circ}\text{C}$, và nhiệt độ giảm trở lại xuống $1,4^{\circ}\text{C}$ vào cuối thế kỷ này.

Đối với Việt Nam, theo kịch bản RCP4.5, vào cuối thế kỷ, nhiệt độ trung bình năm tăng $1,9-2,4^{\circ}\text{C}$ ở phía Bắc và $1,5-1,9^{\circ}\text{C}$ ở phía Nam, lượng mưa năm tăng phổ biến từ 10-20%. Theo kịch bản RCP8.5, nhiệt độ trung bình năm tăng $3,5-4,2^{\circ}\text{C}$ ở phía Bắc và $3,0-3,5^{\circ}\text{C}$ ở phía Nam, lượng mưa trung bình năm có thể tăng trên 40% ở một phần diện tích Bắc Bộ, cho tới cuối thế kỷ [5]. Nhiệt độ cực trị và lượng mưa cực trị cũng có xu thế tăng rõ rệt ở cả 2 kịch bản và càng về cuối thế kỷ càng tăng nhiều hơn.

Có thể thấy, biến đổi khí hậu đã chắc chắn xảy ra và với kịch bản lạc quan nhất thì cho đến cuối thế kỷ, Trái đất vẫn nóng lên $1,4^{\circ}\text{C}$. Ở Việt Nam, biến đổi khí hậu thậm chí càng thêm nghiêm trọng với mức tăng thấp nhất là $1,9^{\circ}\text{C}$. Rõ ràng, hệ thống khí hậu ấm lên sẽ dẫn tới các thay đổi về hình thái thời tiết như: các hiện tượng cực đoan gia tăng về tần suất và tính bất định, hạn hán, lũ lụt và nước biển dâng gia tăng về mức độ khắc nghiệt. Điều này càng đặc biệt tác động lớn tới các khu vực có vị trí địa lý đặc thù như Việt Nam.

Tuy nhiên, hiện tại chưa có báo cáo nào có thể hoàn toàn đánh giá được toàn bộ các tác động của tất cả các yếu tố biến đổi khí hậu. Do đó, trong khuôn khổ Luận án chỉ đánh giá tác động của hai yếu tố biến đổi khí hậu có ảnh hưởng lớn và dễ nhận thấy nhất đối với tài nguyên nước lưu vực sông Cả là: nhiệt độ và lượng mưa.

1.1.3. Khái niệm về đánh giá tác động

Trước hết, tác động được định nghĩa là:

- Theo Tổ chức Hợp tác và Phát triển Kinh tế (Organization for Economic Cooperation and Development - OECD), tác động là các ảnh hưởng tiêu cực và tích cực, chính và phụ, lâu dài do sự can thiệp phát triển tạo ra, trực tiếp hoặc gián tiếp, cố tình hoặc vô tình [90].

- Theo Roche, tác động là sự thay đổi lâu dài hoặc đáng kể - tích cực hay tiêu cực, dự định hay không - trong cuộc sống của con người do một hành động hoặc một chuỗi hành động mang lại [99].

Từ đó có thể định nghĩa đánh giá tác động là:

- Đánh giá tác động đánh giá những thay đổi có thể do một can thiệp cụ thể, chẳng hạn như một dự án, chương trình hoặc chính sách, cả những dự định và lý tưởng là những thay đổi ngoài ý muốn [59].

- Đánh giá tác động bao gồm việc đánh giá những thay đổi dài hạn và/hoặc những thay đổi đáng kể mang lại thông qua một can thiệp hoặc một loạt các can thiệp [101].

Các loại đánh giá tác động chính bao gồm đánh giá toàn cầu (cấp độ toàn cầu), đánh giá tác động chính sách (cấp độ chính sách), đánh giá môi trường chiến lược (cấp độ chương trình và kế hoạch) và đánh giá tác động môi trường (cấp độ dự án). Đánh giá tác động cũng có thể tập trung vào các chủ đề cụ thể, chẳng hạn như đánh giá tác động xã hội và đánh giá tác động giới.

Đánh giá tác động không phải là một công cụ hay phương pháp luận. Thay vào đó, nó có thể được thực hiện thông qua nhiều công cụ, phương pháp luận và cách tiếp cận khác nhau

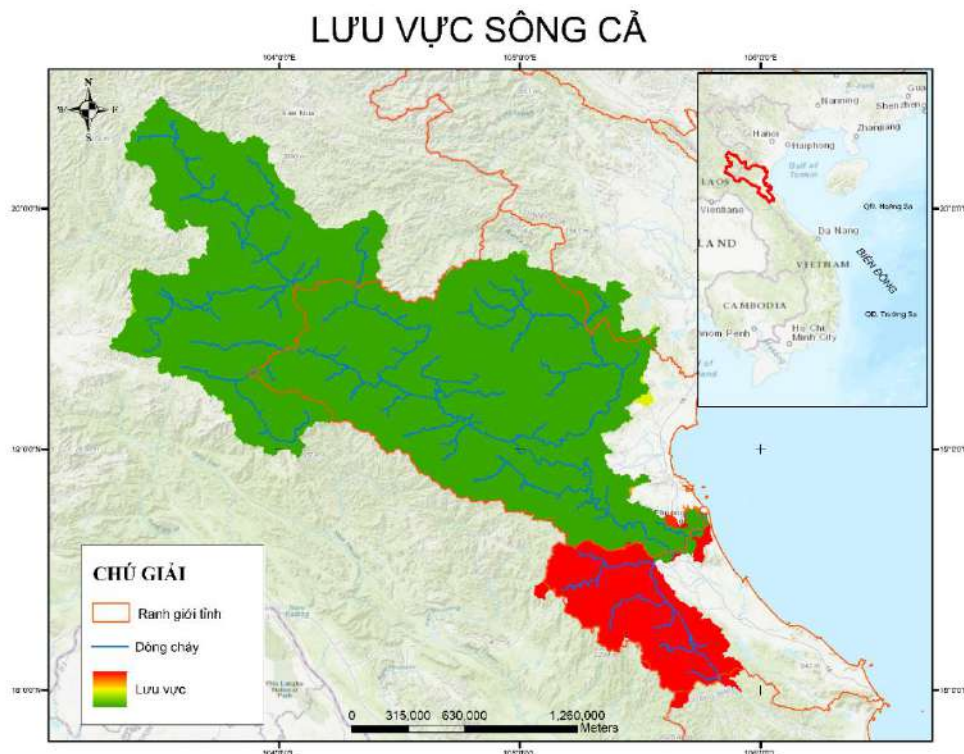
- Xác định phạm vi (ví dụ: lập danh sách kiểm tra)
- Phân tích định tính (ví dụ: chia nhóm trọng điểm)
- Phân tích định lượng (ví dụ: đánh giá vòng đời, lập biểu dòng nguyên vật liệu, mô hình hóa)
- Tổng hợp và so sánh các lựa chọn (ví dụ: phân tích chi phí - lợi ích)
- Phân tích tính liên kết (ví dụ: đánh giá tác động về giới)
- Tham gia và đóng góp ý kiến

- Biểu diễn dữ liệu (ví dụ: GIS)
- Giám sát và đánh giá (ví dụ: lập các chỉ số)

Trong Luận án, phương pháp đánh giá tác động là phân tích định lượng bằng cách kết hợp các phương pháp mô hình hoá, viễn thám, điều tra thực địa và đưa ra kết quả là dòng chảy mặt trong tương lai dưới các tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu.

1.2. Tổng quan lưu vực sông Cả

Hệ thống sông Cả là hệ thống sông liên quốc gia bắt nguồn từ vùng núi cao hơn 2000m của tỉnh Xiêng Khoảng, Lào, chảy theo hướng Tây Bắc – Đông Nam đổ ra biển tại cửa Hội, Việt Nam. Lưu vực sông Cả trải dài 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. Cửa ra của lưu vực tại vị trí $18^{\circ}45'27''$ vĩ độ Bắc và $105^{\circ}46'40''$ kinh độ Đông. Điểm bắt đầu của lưu vực trong lãnh thổ Việt Nam tại $19^{\circ}24'59''$ vĩ độ Bắc và $104^{\circ}04'12''$ kinh độ Đông [30].



Hình 1. Hệ thống Lưu vực sông Cả

Dòng chính của hệ thống sông Cả có chiều dài xấp xỉ 513 km, trong đó có 361 km nằm trong lãnh thổ Việt Nam. Dòng chính sông Cả chảy qua hầu hết các khu vực

phía Tây của tỉnh Nghệ An và được gọi là sông Cả. Tại huyện Anh Sơn, sông Cả nhận thêm dòng phụ là sông Hiếu. Hạ lưu sông Cả là nơi hợp lưu với sông La chảy từ tỉnh Hà Tĩnh và từ đó đổ ra biển được gọi là sông Lam (Hình 1).

Lưu vực sông Cả là một trong những lưu vực sông lớn của Việt Nam, có diện tích 27.200 km², trong đó 9470 km² ở thượng lưu (chiếm 34,8%) nằm trong lãnh thổ Lào, 17.730 km² (65,2%) ở trung và hạ lưu nằm trong phần lớn địa phận 2 tỉnh Nghệ An và Hà Tĩnh và một phần huyện Như Xuân của tỉnh Thanh Hoá [30]. Hàng năm, lưu vực nhận trung bình lượng mưa từ 1100 ÷ 2500 mm. Tại các khu vực nhận lượng mưa lớn như thượng lưu sông Hiếu, sông La, trung bình lượng mưa nhận được có thể lên tới 2000 ÷ 2400 mm. Thảm phủ trên lưu vực bao gồm: 44% rừng, 16% lúa nước, 2% rau và hoa màu, còn 38% là các loại đất khác [69].

Lưu vực sông Cả có rừng tập trung chủ yếu thuộc lãnh thổ bên Lào, 6 huyện miền núi Nghệ An và hai huyện Hương Sơn, Hương Khê thuộc Hà Tĩnh. Phần đầu nguồn bên Lào, do dân cư còn thưa thớt nên rừng chưa bị chặt phá nhiều, điều này có tác động tích cực đến việc điều hòa dòng chảy phần thượng nguồn sông Cả. Trên địa phận Việt Nam, do tốc độ phát triển dân số cao ở miền núi, cùng với tập quán du canh du cư của đồng bào các dân tộc, diện tích rừng bị giảm nhanh. Năm 1943 có khoảng 1,2 triệu ha rừng (~67% diện tích lưu vực trong lãnh thổ VN), đến nay diện tích rừng chiếm khoảng 40% diện tích lưu vực, so với diện tích đất của các huyện miền núi và Hương Khê, Hương Sơn thì diện tích đất có rừng chiếm đến 43% [7].

Với những đặc trưng đó, lưu vực sông Cả - một lưu vực xuyên biên giới -hoàn toàn phù hợp và mang tính đại diện để áp dụng thử nghiệm đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ đến dòng chảy trong điều kiện biến đổi khí hậu, khi mà các nghiên cứu trước đây còn đang để trống dữ liệu về thay đổi thảm phủ ngoài biên giới.

1.3. Tổng quan nghiên cứu về mô phỏng biến động thảm phủ trong và ngoài nước

Mô phỏng biến động thảm phủ đã được nghiên cứu trong nhiều năm, mặc dù đã có nhiều tiến bộ về cả lý thuyết và thực nghiệm nhưng ít nhà nghiên cứu có thể đưa ra mô hình hoạt động với khả năng dự tính chính xác biến động thảm phủ.

Khái niệm chuỗi Markov được đưa ra lần đầu tiên vào năm 1906 bởi nhà khoa học Andrei Andreyevich Markov. Chuỗi Markov diễn tả một chuỗi các sự kiện có thể xảy ra với xác suất của mỗi sự kiện chỉ phụ thuộc vào trạng thái đạt được ngay trong sự kiện trước đó của chuỗi. Từ đó đến nay, chuỗi Markov xuất hiện nhiều trong vật lý, đặc biệt là khoa học thống kê. Chuỗi Markov có thể dùng để mô hình hóa nhiều quá trình trong lý thuyết hàng đợi và thống kê. Do đó, phân tích chuỗi Markov được ứng dụng vào phân tích sự thay đổi sử dụng đất, từ đó dự báo được tình hình sử dụng đất trong giai đoạn kế tiếp [44]. Tuy vậy, phân tích chuỗi Markov chỉ thuần túy là một mô hình toán học cho phép dự tính được xác suất chuyển đổi giữa các trạng thái của hệ được ghi lại dưới dạng một ma trận xác suất chuyển đổi từ trạng thái này sang trạng thái khác, chứ không thể hiện được về mặt không gian của hệ.

Đến đầu thập kỷ 1950, Cellular Automata (hệ tự hành dạng tế bào - CA) bắt đầu được nghiên cứu như là một phương pháp khả thi trong việc mô phỏng hệ sinh thái. Tuy nhiên, cũng phải đến những năm 1980, CA mới được nghiên cứu một cách toàn diện bởi Stephen Wolfram, người đã đưa ra “Lý thuyết của các hệ phức tạp” [118]. Theo hướng đó, mô hình toán học "Hệ tự hành dạng tế bào" đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi. Bằng việc sử dụng máy tính để mô phỏng các phương án phong phú và đa dạng của Hệ tự hành dạng tế bào, đây được xem như một phương pháp nghiên cứu khoa học mới, có hiệu quả và triển vọng nhất để mô tả và giải thích phần lớn các hiện tượng phức tạp của tự nhiên. Vậy là, chuỗi Markov có khả năng dự tính tốt xác suất thay đổi về mặt thống kê, trong khi CA lại là mô hình rất mạnh về việc thể hiện các thay đổi theo không gian.

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

Cho đến nay, phân tích chuỗi Markov và mô hình Cellular Automata đã được nghiên cứu và sử dụng rộng rãi trên thế giới trong việc xây dựng kịch bản thảm phủ tương lai [54], [66], [67], [87], [105], [116]. Trong đó, phân tích chuỗi Markov được sử dụng để dự tính các thay đổi lớp phủ dựa trên ma trận xác suất chuyển đổi đối với từng loại lớp phủ đất (ma trận chuyển đổi là xác suất có điều kiện của hệ thống để chuyển đổi thành một trạng thái mới với xu thế của trạng thái hiện tại của hệ thống). Sau đó, mô hình Cellular Automata (CA) sẽ được sử dụng để tái tạo lại ma trận chuyển đổi Markov thành một tập hợp dữ liệu rõ ràng về mặt không gian. Mô hình CA đưa ra các dự tính về không gian với đầu vào là các xác suất chuyển đổi lớp phủ đất và vị trí trước đây của các loại lớp phủ đất.

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, nhiều nghiên cứu gần đây đã chứng minh sử dụng kỹ thuật viễn thám là phương pháp hiệu quả trong phân loại các lớp thảm phủ mặt đất do tiết kiệm chi phí so với các phương pháp đo, vẽ truyền thống và cung cấp dữ liệu vệ tinh ngoài tầm nhìn của con người. Nền tảng viễn thám cung cấp ảnh vệ tinh đa phổ, đa thời gian và với nhiều độ phân giải không gian khác nhau để đáp ứng được các mức yêu cầu về độ chính xác của các loại bản đồ thảm phủ [47]. Hiện nay, ảnh đa phổ Landsat 8 và Sentinel 2 được sử dụng rất phổ biến bởi các đặc tính và ưu thế nổi trội: Ảnh được cung cấp ở quy mô toàn cầu, độ phân giải không gian khá cao (từ 15 – 60 mét); ảnh đa phổ có thể phục vụ cho nhiều mục đích khác nhau; tần suất bay lặp cao: 2 cảnh 1 tháng đối với ảnh Landsat 8 [115] và 6 cảnh/tháng đối với ảnh Sentinel 2. Landsat 8 và Sentinel 2 có cùng chung dải phổ từ 400 nm – 2300 nm, tuy vậy, số băng phổ lại khác nhau với 13 băng phổ của ảnh Sentinel 2 so với 9 băng phổ của ảnh Landsat 8. Với Sentinel 2, các ảnh có độ phân giải không gian từ 10m (các kênh Red, Green, Blue, NIR) đến 20 m (6 kênh hồng ngoại sóng ngắn và red-edge) và 60 m (3 kênh hiệu chỉnh khí quyển) [124]. LANDSAT 8 có độ phân giải không gian 30 m ở các kênh đa phổ (multispectral) và 15 m ở kênh toàn sắc (panchromatic) [123]. Có thể thấy, cả ảnh Landsat 8 và Sentinel 2 đều chứa các băng phổ có bước sóng phù hợp đối với các nhiệm vụ theo dõi, hiệu chỉnh những biến động trong thay đổi lớp 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 Zanjan, Iran [98] đã ứng dụng các kỹ thuật viễn thám và GIS để phát hiện và đánh giá sự thay đổi sử dụng đất. Nghiên cứu lựa chọn ảnh LANDSAT TM chụp năm 1984 và 2011 để so sánh. Để phát hiện và đánh giá các thay đổi sử dụng đất, việc phân biệt các hình ảnh, phân tích thành phần chính và phương pháp phân loại Fuzzy ARTMAP được áp dụng. Cuối cùng, nghiên cứu so sánh kết quả phân loại độ che phủ đất của ba lần khác nhau và ước tính các thay đổi trong sử dụng đất. Sau đó, kết hợp Cellular Automata với phân tích chuỗi Markov để dự báo các tác động của con người đối với việc thay đổi sử dụng đất đến năm 2020 ở vùng Zanjan. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy khoảng 44% tổng diện tích sử dụng đất đã thay đổi, ví dụ như thay đổi đất nông nghiệp, vườn cây ăn quả và đất trống để định cư, xây dựng các khu công nghiệp và đường cao tốc. Cơ cấu mùa màng cũng thay đổi, như đất trồng cây ăn quả cho đất nông nghiệp và ngược lại.

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) [54] đã sử dụng mô hình Cellular Automata (CA) - Markov và dự tính kịch bản sử dụng đất và che phủ đất trong tương lai, dựa trên xu hướng thảm phủ trong quá khứ của lưu vực Choudwar, India. Bằng cách phân tích các loại hình sử dụng đất và thảm phủ đất trong giai đoạn 1972, 1990, 1999 và 2005 sử dụng các bản đồ vệ tinh, nhóm nghiên cứu đã nhận thấy các yếu tố vật lý, sinh học và kinh tế xã hội bao gồm cả sự phát triển công nghiệp và khu dân cư, đường xá đã ảnh hưởng tới phân bố không gian của các loại hình sử dụng đất và thảm phủ trong lưu vực, dẫn tới sự gia tăng của các khu nông nghiệp và nhà ở. Kết quả nghiên cứu này là một nỗ lực cho thấy sự mở rộng nông nghiệp là động lực chính cho việc mất rừng, đất ngập nước và đầm lầy ở lưu vực sông Choudwar và có tiềm năng sẽ tiếp tục gia tăng trong tương lai.

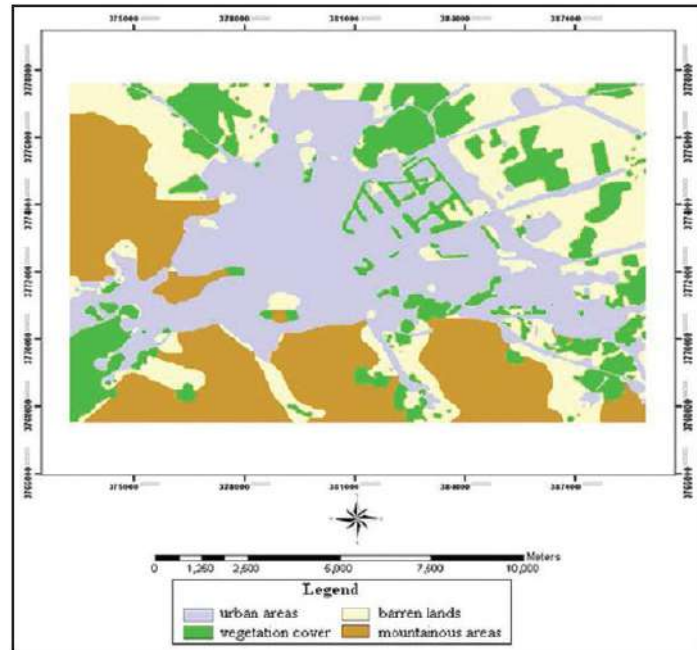
Trung tâm Khoa học Tài nguyên Môi trường thuộc trường Đại học Hubei đã nghiên cứu “Mô hình Markov-Kalman về dự báo biến động sử dụng đất ở lưu vực

XiuHe, Trung Quốc” [119]. Nghiên cứu đã dự tính các biến động tài nguyên đất lưu vực sông XiuHe nhằm đặc tả các loại hình sử dụng đất. Nguồn dữ liệu của nghiên cứu là ảnh LANDSAT 3 thời kỳ 1990, 2000, 2010 và mô hình kết hợp giữa phương pháp Markov và Kalman, hay còn gọi là mô hình lọc Markov-Kalman. Mô hình này được áp dụng để mô phỏng các biến động sử dụng đất trong khu vực nghiên cứu. Dự báo về các loại hình sử dụng đất trong tương lai được đưa ra dựa trên mô hình Markov, và các sai số do ước lượng từ ảnh LANDSAT được hiệu chỉnh bằng mô hình lọc Kalman bằng ảnh LANDSAT. Kết quả thu được là các dự báo định lượng về biến động loại hình sử dụng đất. Nghiên cứu này đã chứng minh được phương pháp Markov-Kalman là hiệu quả trong việc cải thiện tính chính xác của các dự báo về sử dụng đất, đặc biệt là ở lưu vực XiuHe, Trung Quốc.

Hai tác giả Mohammad Sayemuzzaman và Manoj K. Jha thuộc trường đại học Nông nghiệp và Kỹ thuật Bắc Carolina đã nghiên cứu về “Mô hình thay đổi thảm phủ và sử dụng đất ở Bắc Carolina sử dụng chuỗi Markov và mô hình Cellular Automata” [105]. Trước nghiên cứu này không có bất cứ nghiên cứu mô hình hóa nào dự tính được sự thay đổi về sử dụng đất đai trong tương lai (LCLU) trong toàn bộ bang North Carolina. Trong nghiên cứu này, các bản đồ che phủ đất có nguồn gốc từ vệ tinh năm 1992, 2001 và 2006 của Bắc Carolina được tích hợp trong mô hình Markov-Cellular Automata (Markov-CA) kết hợp giữa chuỗi Markov và các kỹ thuật Cellular Automata (CA). Đánh giá đa tiêu chí (Multi-Criteria Evaluation - MCE) đã được sử dụng để tạo ra những hình ảnh phù hợp trong tương lai. Các phân tích của Markov Chain và MCE đã cung cấp khu vực xác suất chuyển tiếp và hình ảnh phù hợp, sau đó được điều chỉnh động bằng Phân bố loại hình đất đa Mục tiêu (Multi-Objective Land Allocation) và Bộ lọc không gian CA. Các tác giả đã thực hiện hai bước kiểm chứng trong nghiên cứu này: 1) Các đặc trưng sử dụng đất liên quan đã được sử dụng để kiểm chứng tính thích hợp của các ảnh viễn thám; 2) Các chỉ số Kappa đã được sử dụng để kiểm chứng tổng thể LCLU đã thay đổi trên bản đồ mô phỏng. Dự báo LCLU của Bắc Carolina cho năm 2030 cho thấy 20% tăng diện tích đất xây dựng, giảm 17% diện tích đất lâm nghiệp, so với năm 1992. Khoảng 7% đất nông nghiệp giảm xuống

năm 2030 so với năm 2001. Không có sự thay đổi đáng kể nào đối với nước và các loại đất khác. Phần lớn diện tích đất được xây dựng (mở rộng đô thị) đã được phát hiện ở phần phía Nam, giữa và giữa-phía Bắc của North Carolina. Mật rừng được dự tính phần lớn ở phía Tây và giữa-Tây.

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” [87] đã đánh giá mô hình biến động thảm phủ/sử dụng đất là rất cần thiết cho quy hoạch và quản lý sử dụng đất. Trong đó, Arak là một trong nhiều thành phố ở Iran đã trải qua sự mở rộng đô thị nhanh chóng trong những thập kỷ gần đây do công nghiệp hóa và tăng trưởng dân số nhanh chóng. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã sử dụng ảnh hàng không và các bức ảnh vệ tinh Landsat TM và IRS-P6 LISS-III để dự tính sự thay đổi thảm phủ/sử dụng đất ở khu vực Arak. Các bản đồ thảm phủ/sử dụng đất được xây dựng với bốn lớp thông tin được nội suy trực quan từ các ảnh hàng không và phương pháp phân loại mạng thần kinh nhân tạo ANN đối với ảnh vệ tinh. Kết quả cho thấy, cả hai phương pháp phân loại đều đưa ra các bản đồ thảm phủ/sử dụng đất với độ chính xác trên 95%. Chuỗi Markov và mô hình Cellular Automata Markov đã được áp dụng để dự tính sự thay đổi, và mô phỏng bản đồ thảm phủ/sử dụng đất cho năm 2025. Nghiên cứu đã chứng minh việc kết hợp các ảnh viễn thám vệ tinh, GIS và mô hình Markov sẽ cung cấp thông tin hữu ích về thảm phủ mặt đất trong tương lai và có thể được sử dụng cho quy hoạch sử dụng đất.

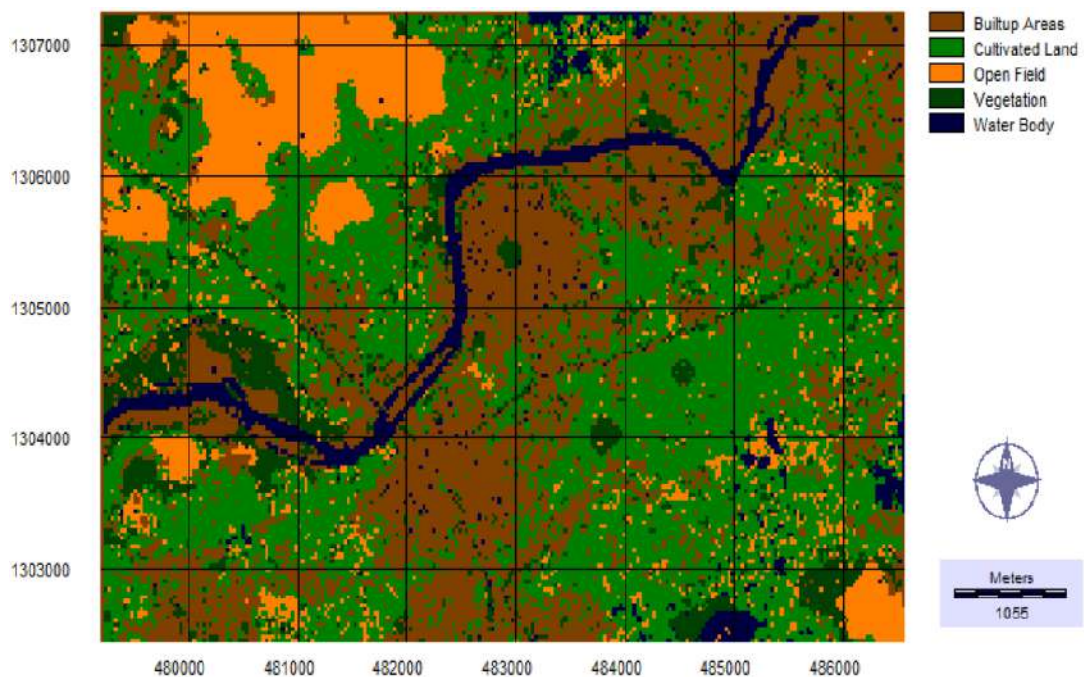


Hình 1.1. Bản đồ mô phỏng thảm phủ năm 2025 ở Arak, Iran

(Nguồn: [87])

Cũng trong năm 2015, 2 tác giả Muhammad Isma'il, Saidu Abubakar thuộc trường Đại học Ahmadu Bello, Nigeria đã nghiên cứu “Dự báo không gian về thay đổi thảm phủ ở làng Wudil bang Kano, Nigeria” [67]. Wudil là một thị trấn cổ ở bang Kano thuộc Tây Bắc Nigeria đang có tốc độ đô thị hoá nhanh chóng. Tuy nhiên thông tin chính xác và định lượng về tỷ lệ và các loại hình đất đô thị hoá là vô cùng cần thiết cho sự phát triển của khu vực trong tương lai của thị trấn thì lại không đầy đủ. Nghiên cứu này sử dụng các kỹ thuật không gian địa lý GIS để phân tích các loại hình thay đổi thảm phủ đất đai trong khu vực từ năm 2000 đến năm 2014. Mặc dù đã có những nghiên cứu cung cấp cái nhìn toàn cảnh về tốc độ tăng trưởng đô thị hiện tại, tuy nhiên vẫn cần ước tính kịch bản tăng trưởng trong tương lai của thành phố. Vì vậy, nghiên cứu này đã sử dụng Phân tích Chuỗi Markov, tích hợp với các ảnh đã phân loại sử dụng đất từ ảnh Landsat của khu vực để dự báo sự thay đổi hiện trạng sử dụng đất của Wudil từ năm 2014 đến năm 2028. Mục tiêu của nghiên cứu nhằm hiểu được các loại hình đất phát triển đô thị trong tương lai của khu vực và khả năng chuyển đổi giữa các lớp sử dụng đất để quy hoạch đô thị trong khu vực. Kết quả cho thấy diện tích xây dựng đã tăng hơn 12% trong khi diện tích đất canh tác giảm khoảng

9% trong suốt thời gian nghiên cứu. Thêm vào đó, những phát hiện cho thấy diện tích xây dựng có xác suất 82,4% trong việc duy trì tình trạng của nó trong 14 năm tới, và khu vực đất trống cũng có xác suất 80,3% thay đổi thành đất xây dựng, nhưng thảm thực vật lại chỉ có xác suất 41,8% để giữ lại tình trạng sử dụng đất hiện tại. Các phát hiện của nghiên cứu này cung cấp đầu vào có giá trị cho việc thiết kế kế hoạch tổng thể trong tương lai cho sự phát triển thích hợp của thị trấn.



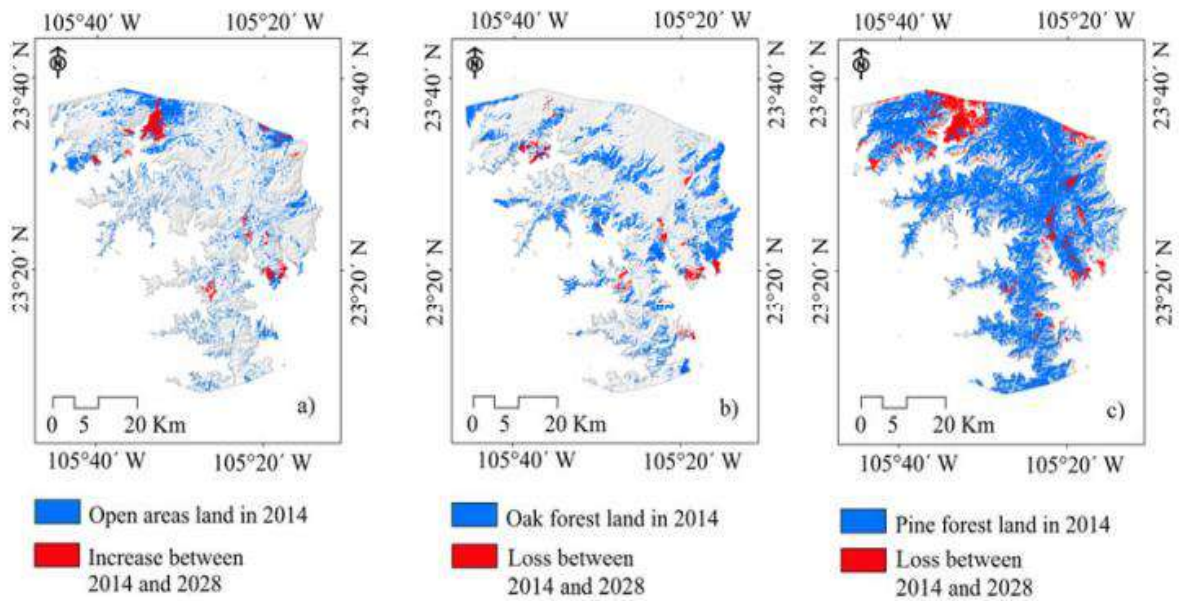
Hình 1.2. Bản đồ thảm phủ/sử dụng đất dự tính ở Wudil năm 2028

(Nguồn: [67])

Năm 2015, trường Đại học Minnesota cũng đã có nghiên cứu “Mô hình chuỗi Markov về thay đổi sử dụng đất” ở Minneapolis-Saint Paul (Twin Cities) [66]. Theo tác giả Iacono M. và nnk, các bộ mô hình có sẵn để dự tính sự thay đổi sử dụng đất ở các vùng đô thị ngày càng trở nên phức tạp trong những năm gần đây. Tuy phức tạp, nhưng khả năng dự tính của các mô hình này vẫn còn tương đối hạn chế. Vì vậy nghiên cứu đã trình bày một ví dụ về một khung mô hình dựa trên khái niệm chuỗi Markov. Mô hình giả định rằng sử dụng đất ở bất kỳ thời điểm nào, được coi là một trạng thái rời rạc, là một hàm số của trạng thái trước đó của chính nó. Xác suất chuyển đổi giữa mỗi cặp trạng thái được ghi lại như là một phần tử của ma trận xác suất

chuyển đổi. Giả sử ma trận này ổn định theo thời gian, nó có thể được sử dụng để dự tính các phân bố sử dụng đất trong tương lai từ dữ liệu hiện tại. Để minh họa cho quá trình này, mô hình chuỗi Markov đã được xây dựng và ước tính cho vùng đô thị Minneapolis-St. Paul, MN, Hoa Kỳ (Twin Cities). Nghiên cứu sử dụng một bộ dữ liệu sử dụng đất lịch sử trong các năm từ năm 1958 tới năm 2005, mô hình này được chạy thử bằng dữ liệu lịch sử để dự tính các trạng thái gần đây của các loại hình sử dụng đất và sau đó được sử dụng để dự tính sự phân bố sử dụng đất trong tương lai vài thập kỷ tới. Nghiên cứu cũng sử dụng bộ dữ liệu cấp độ ô lưới để ước tính tỷ lệ sử dụng đất khu vực dành cho các loại hình đất giao thông, bao gồm các đường cao tốc chính, sân bay và đường sắt.

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” [116]. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã mô phỏng và phân tích động lực không gian và thời gian của việc sử dụng đất rừng ôn đới ở khu vực Pueblo Nuevo, Durango, Mexico. Dữ liệu được sử dụng từ Multispectral Scanner (MSS) 1973, Thematic Mapper (TM) 1990, và Operational Land Imager (OLI) 2014. Sau đó các dữ liệu này được áp dụng các phương pháp phân loại theo giám sát để tạo ra bản đồ sử dụng đất trong những năm này. Để kiểm chứng việc phân loại sử dụng đất bằng ảnh viễn thám, nghiên cứu đã sử dụng hệ số Kappa. Hệ số Kappa cho kết quả lần lượt là 91%, 92% và 90% cho năm 1973, 1990 và 2014. Việc phân tích các thay đổi được đánh giá bằng chuỗi Markov và Cellular Automata (CA) dựa trên các kỹ thuật mô hình xác suất. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng, chuỗi Markov và CA cho thấy sự thay đổi liên tục trong sử dụng đất rừng. Lớp bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi những thay đổi này là rừng thông. Sự thay đổi về diện tích rừng ôn đới của khu vực nghiên cứu được dự báo cho đến năm 2028, cho thấy diện tích rừng thông có thể liên tục giảm xuống. Kết quả của nghiên cứu này có thể cung cấp thông tin định lượng, và là cơ sở để đánh giá tính bền vững trong việc quản lý các hệ sinh thái rừng ôn đới và thực hiện các hành động để giảm thiểu sự xuống cấp của chúng.



Hình 1.3. Mô phỏng thay đổi sử dụng đất giai đoạn 2014-2028

a) Đất trồng b) Rừng sồi c) Rừng thông

(Nguồn: [116])

Như vậy có thể thấy, M-CA là phương pháp hữu hiệu và tin cậy để mô phỏng thâm phủ theo không gian, thời gian, khi mà số liệu khu vực nằm ngoài lãnh thổ Việt Nam và xuyên biên giới là thiếu hụt trong đánh giá tác động đến dòng chảy bề mặt.

1.3.2. Các nghiên cứu trong nước về mô phỏng biến động thâm phủ

Các công trình nghiên cứu biến động sử dụng đất trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng thường được công bố thành hai hướng chính. Thứ nhất, hướng nghiên cứu ứng dụng bao gồm các kỹ thuật, thuật toán chiết xuất thông tin từ dữ liệu viễn thám và mô hình hóa quá trình biến động sử dụng đất. Thứ hai là hướng nghiên cứu mối quan hệ giữa biến động sử dụng đất, lớp phủ với các yếu tố kinh tế, xã hội và chính sách. Đối với hướng thứ nhất, các nghiên cứu thường dùng các dữ liệu bản đồ và trong rất nhiều trường hợp, dữ liệu ảnh vệ tinh là nguồn thông tin chủ yếu. Đây là lĩnh vực mà các tác giả trong nước có nhiều nghiên cứu hơn cả như các công trình ứng dụng tư liệu ảnh viễn thám và công nghệ GIS để xác định biến động sử dụng đất hoặc biến động lớp phủ do quá trình đô thị hóa, phá rừng để mở rộng sản xuất nông nghiệp.

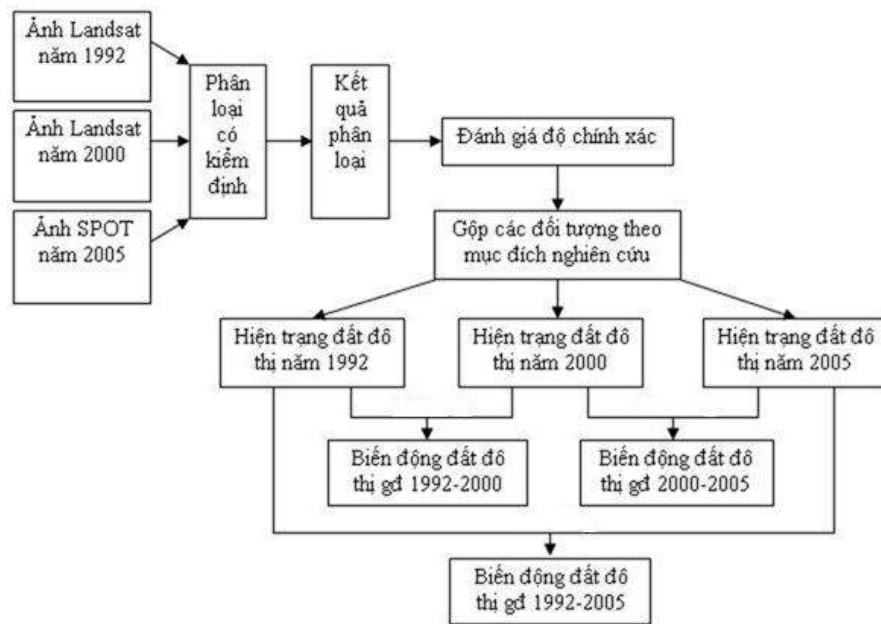
Đầu tiên có thể kể đến công trình nghiên cứu về biến động lớp phủ bề mặt đất được Nguyễn Đình Dương và cộng sự [53] nghiên cứu trên phạm vi cả nước từ năm 2001 - 2003 từ tư liệu ảnh MODIS hay sự thay đổi lớp phủ rừng huyện Tánh Linh tỉnh Bình Thuận 1989 - 1998 bằng ảnh LANDSAT TM [52].

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 tỉnh Thái Bình” [8].

Một số nghiên cứu nhằm đánh giá biến động đất đai và xây dựng bản đồ biến động sử dụng đất từ tư liệu viễn thám và công nghệ GIS [28], [9], [18].

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 [27]. Đề tài “Tìm hiểu sự thay đổi lớp thảm thực vật và các vấn đề quản lý tài nguyên tại xã Mậu Đức, huyện Con Cuông, tỉnh Nghệ An” do Trần Nguyên Bằng, Võ Hữu Công, Nông Hữu Dương, Nguyễn Quang Hà, Trần Trung Kiên, Nguyễn Thị Minh Nguyệt – Trung tâm Sinh thái Nông nghiệp.

Các đề tài nghiên cứu về lớp phủ mặt đất và biến động đất đô thị cũng đã bước đầu mang lại những kết quả. Như trong đề tài “Thành lập bản đồ thảm thực vật trên cơ sở phân tích, xử lý ảnh viễn thám” tại khu vực Tòa Chùa – Lai Châu [24], tác giả đã dùng phương pháp phân loại có kiểm định đối với dữ liệu ảnh Landsat năm 2006 để phân ra 7 lớp thực phủ khác nhau với chỉ số Kappa $\sim 0,7$. Trong đề tài “Ứng dụng viễn thám theo dõi biến động đất đô thị của thành phố Vinh, tỉnh Nghệ An” [18] dùng phương pháp phân loại gần đúng nhất để phân ra 5 lớp đối tượng. Điểm đáng chú ý của đề tài này là sử dụng kết hợp nhiều loại ảnh viễn thám như Landsat (1992, 2000) và SPOT (2005) để cho ra kết quả giải đoán, đồng thời có sự so sánh về độ chính xác, chi tiết giữa các loại ảnh. Với chỉ số Kappa $\sim 0,9$, dữ liệu ảnh SPOT có độ chính xác sau phân loại cao hơn hẳn so với Landsat (Kappa $\sim 0,7$).



Hình 1.4. Sơ đồ xử lý dữ liệu viễn thám trong theo dõi biến động đất đô thị TP Vinh, Nghệ An

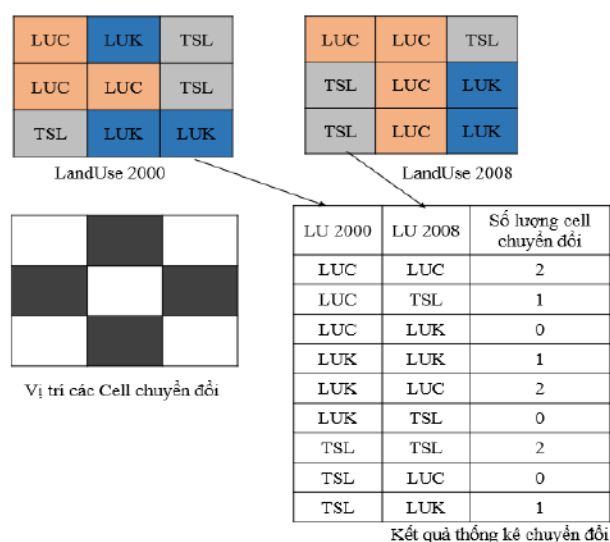
Nguồn: [18]

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” [1] 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” [15], 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. Đề tài đã phân loại được 9 loại lớp phủ với chỉ số Kappa $\sim 0,9$. Để đánh giá độ chính xác, tác giả đã sử dụng kết hợp cả dữ liệu mẫu khảo sát, điều tra thực địa với bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm gần nhất.

Nghiên cứu sự thay đổi lớp phủ thảm thực vật rừng tại vườn Quốc gia Bạch Mã tỉnh Thừa Thiên Huế của tác giả Đặng Ngọc Quốc Hưng và Hồ Đắc Thái Hoàng bằng phương pháp giải đoán ảnh viễn thám có kiểm định. Ảnh sử dụng cho phân loại ảnh số có kiểm định là ảnh Landsat các năm 1989, 2001, 2004, và năm 2007. Sử dụng phần mềm Erdas để giải đoán ảnh vệ tinh. Sau đó phân tích, đánh giá sự thay đổi lớp

phủ thảm thực vật rừng giai đoạn từ năm 1989–2001, 2001–2004, 2004–2007 bằng phương pháp chồng ghép, phân tích bằng phần mềm Arcview 3.2.

Năm 2015, các tác giả trường đại học Cần Thơ cũng đã có nghiên cứu “Mô hình Markov-Cellular Automata trong mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất các tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long” [21]. Nghiên cứu đã xây dựng mô hình mô phỏng thay đổi sử dụng đất các tỉnh ven biển Đồng bằng sông Cửu Long dựa trên phương pháp Markov - Cellular Automata kết hợp với phân tích đặc tính thích nghi đất đai trên hệ nền mô phỏng đa tác tử GAMA.



Hình 1.5. Phương pháp lập ma trận xác suất chuyển đổi

Nguồn: [21]

Kết quả xây dựng được mô hình mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất của 8 tỉnh ven biển vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Mô hình được kiểm chứng kết quả mô phỏng với bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2008 của các tỉnh. Nghiên cứu cũng đã áp dụng mô hình mô phỏng kịch bản thay đổi sử dụng đất đến năm 2030, 2050. Tuy nhiên, kết quả kiểm chứng cho thấy sự sai lệch giữa diện tích mô phỏng và thực tế còn cao: “Đánh giá kết quả mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất đến năm 2008 qua chỉ số Tỷ lệ phần trăm độ lệch tuyệt đối (Percent absolute deviation - PAD) giữa diện tích từng loại đất mô phỏng đến năm 2008 và diện tích thực của các kiểu sử dụng đất năm 2008 là 34,25% hay nói khác hơn là độ chính xác toàn cục mô phỏng của mô hình là 65,75%” [21]. Nguyên nhân sai lệch lớn do nguồn dữ liệu đầu vào để xây

dựng mô hình Bản đồ hiện trạng sử dụng đất các năm 2000, 2008 (bản đồ sử dụng đất năm 2005 được cập nhật vào năm 2008) thu thập từ nhiều nguồn khác nhau, các lớp không chồng khít với nhau làm kết quả tính toán ma trận xác suất chuyển đổi kém chính xác, ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng.

1.4. Tổng quan nghiên cứu về đánh giá tác động của thảm phủ tới dòng chảy lưu vực sông

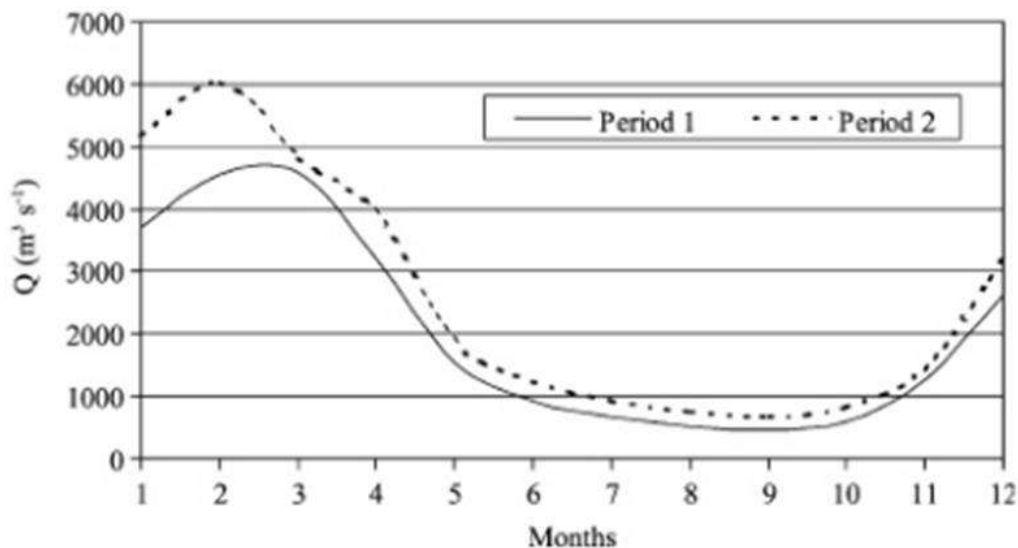
1.4.1. Các nghiên cứu trên thế giới về đánh giá tác động của thảm phủ tới dòng chảy lưu vực sông

Trên thế giới, việc nghiên cứu về tác động của sự thay đổi sử dụng đất đến chu trình thủy văn của lưu vực đã trở thành chủ đề được quan tâm trong những năm qua. Nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm định lượng tác động của nạn phá rừng, chuyển đổi diện tích rừng sang đất nông nghiệp đến dòng chảy lưu vực Bosch J.M. và Hewlett J.D. đã nghiên cứu đánh giá các lưu vực để xác định ảnh hưởng của thay đổi thảm thực vật đến thủy lợi và thoát hơi nước. Đánh giá 94 thí nghiệm lưu vực cho thấy sự thay đổi hướng dòng chảy sau các hoạt động lâm nghiệp có thể được dự tính với độ chính xác hợp lý vì 93/94 kết quả thí nghiệm đều chỉ ra rằng việc giảm sản lượng nước liên quan tới việc giảm độ che phủ hoặc tăng sản lượng nước liên quan tới sự gia tăng của độ che phủ.

Năm 1987, Peck A.J. và Williamson D.R cũng đưa ra nghiên cứu ảnh hưởng của việc mất rừng đối với nước ngầm [94]. Các tác giả đã nghiên cứu hệ thống nước ngầm trên 5 lưu vực trong thời kỳ 10 năm. Trong đó có 03 lưu vực kể từ năm thứ 3, lớp thảm phủ rừng hoàn toàn hoặc một phần bị chuyển đổi thành đất đồng cỏ hoặc các loại cây trồng phù hợp với điều kiện địa phương. Kết quả nghiên cứu cho thấy, ở các lưu vực có lượng mưa lớn hơn, đường bề mặt chiết áp dưới lớp phủ rừng thay đổi từ 1-4 m sau mỗi mùa lũ. Ngược lại, ở các lưu vực có lượng mưa trung bình, đường bề mặt chiết áp này hiếm khi thay đổi nhiều hơn 1 m. Trong khi đó, đối với các lưu vực đã hoàn toàn chuyển đổi sang đất nông nghiệp, đường bề mặt chiết áp có xu hướng chuyển dịch lên trên trung bình ~2,6 m mỗi năm. Điều này tương đương với việc tầng chứa nước sẽ được bổ sung 6-12% trên tổng lượng mưa hàng năm. Các lưu

vực chỉ chuyển đổi một phần rừng thành đất nông nghiệp có sự thay đổi đường bề mặt chiết áp chậm hơn $\sim 0,9$ m mỗi năm. Kết quả nghiên cứu đã chứng minh việc thay đổi thảm phủ bề mặt có ảnh hưởng lớn tới các yếu tố tài nguyên nước của lưu vực sông, cả về tài nguyên nước trên bề mặt và dưới bề mặt.

Đối với lưu vực vùng nhiệt đới, Costa và các cộng sự (2003) phát hiện ra rằng nếu tỉ lệ chuyển đổi đất rừng thành đất nông nghiệp khoảng 30% diện tích lưu vực thì lưu lượng trung bình năm sẽ tăng thêm khoảng 24% [50]. Tác giả đã phân tích chuỗi thời gian 50 năm của một vùng nhiệt đới, sông Tocantins tại Porto Nacional (175.360 km²) cũng như lượng mưa trên khu vực thoát nước này, trong giai đoạn có sự thay đổi đáng kể về độ che phủ đất trong lưu vực (1949 - 1998).



Hình 1.6. Lưu lượng nước trung bình cho 2 giai đoạn của sông Tocantins

(Nguồn: [50])

Dựa trên dữ liệu điều tra nông nghiệp, tác giả ước tính rằng, vào năm 1960, khoảng 30% lưu vực được sử dụng cho nông nghiệp. Đến năm 1995, diện tích nông nghiệp đã tăng đáng kể, với khoảng 49% diện tích đất được sử dụng làm đồng cỏ. Ban đầu, tác giả so sánh giai đoạn 1 với những thay đổi nhỏ trong độ che phủ đất (giai đoạn 1 từ 1949 - 1968) với giai đoạn 2 có những thay đổi lớn hơn về độ che phủ đất (giai đoạn 2 từ 1979 - 1998). Phân tích chỉ ra rằng, trong khi lượng mưa trên lưu vực không khác biệt về mặt thống kê giữa giai đoạn 1 và giai đoạn 2 thì lưu lượng trung

bình hàng năm trong giai đoạn 2 lớn hơn 24% so với giai đoạn 1. Các phân tích tiếp theo trình bày thêm bằng chứng về sự thay đổi của lớp phủ thực vật đã làm thay đổi phản ứng thủy văn của khu vực này. Đặc biệt, có thể xuất hiện những thay đổi lớn hơn nữa trong chế độ thủy văn của sông Tocantins khi áp lực thay đổi diện tích đất tiếp tục gia tăng,

Theo Nisbet (2001), rừng có thể có tác dụng làm giảm dòng chảy mặt và chống xói mòn tốt; tuy nhiên các hoạt động tác động vào rừng như: làm đường giao thông, làm đất khi trồng rừng, chăm sóc rừng, khai thác ...có thể dẫn tới làm tăng dòng chảy mặt và xói mòn cho lưu vực.

Farley và cộng sự (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% [57]. Tác động làm giảm dòng chảy kiệt của rừng trồng còn thể hiện rõ hơn cả lượng dòng chảy trung bình năm. Nhiều nghiên cứu khác cũng cho thấy việc trồng rừng đã làm giảm lượng nước bình quân và dòng chảy trong mùa khô của lưu vực. Trong không ít trường hợp, dòng chảy kiệt bị giảm đáng kể sau khi trồng rừng. Nghiên cứu của Ge Sun cũng chỉ ra việc trồng rừng ở Trung Quốc cũng làm giảm lưu lượng dòng chảy trong khoảng từ 50 mm/năm đối với vùng khô cho đến 300 mm/năm đối với vùng ẩm ướt. Tương đương với việc lượng nước trung bình năm sụt giảm ở mức 20 - 40% [112]. Tuy nhiên, trong một số trường hợp nó lại làm tăng dòng chảy ngầm và dòng chảy kiệt nhờ việc làm tăng tính thấm nước của đất.

Theo Zhang và cộng sự (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 lưu vực như sông, suối, hồ... Mặt khác, rừng trồng có ảnh hưởng đối với dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm cho nên nó gây ảnh hưởng đối với độ mặn của nước sông suối trong lưu vực. Ở những nơi lượng muối phân bố nhiều ở tầng lớp đất mặt thì ảnh hưởng đó sẽ thể hiện rõ chỉ trong vòng 2 - 5 năm sau khi trồng rừng. Tuy nhiên, đối với vùng mà sự phân bố nguồn mặn chủ yếu ở tầng nước ngầm thì ảnh hưởng đó sẽ chậm hơn rất

hiều tùy thuộc vào đặc điểm của hệ thống nước ngầm nơi đó. Ngoài ra, những khoảng trống ở phần trên sườn dốc có thể gây ra ảnh hưởng đối với sản lượng nước thấp hơn ở phần dưới sườn dốc.

Theo M. Guardiola và cộng sự (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. Mặc dù, việc trồng rừng và những biện pháp bảo tồn đất có những tác dụng nhất định trong việc giảm đỉnh lũ nhưng ít có trường hợp nào cho thấy các biện pháp đó có tác dụng làm tăng dòng chảy kiệt.

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

Nước ta, đặc biệt là khu vực Bắc Trung Bộ trong 20 năm trở lại đây có sự phát triển nhanh chóng về kinh tế - xã hội, kéo theo đó là các ảnh hưởng tới thảm phủ bề mặt: độ che phủ đất nông nghiệp, suy giảm độ che phủ rừng và tốc độ đô thị hóa ngày càng tăng khiến các lưu vực ở đây cũng đang đối mặt với sự thay đổi mạnh mẽ. Chính vì vậy vấn đề quản lý tài nguyên nước đã, đang và vẫn sẽ là một vấn đề cấp thiết trong thời gian tới.

Những năm qua, đã có nhiều nghiên cứu về ứng dụng các mô hình đánh giá chế độ thủy văn ở nước ta. Tuy nhiên, để đánh giá, mô phỏng mối quan hệ giữa đất và nước trong lưu vực, nổi bật nhất vẫn phải kể đến mô hình SWAT (Soil and Water Assessment Tool). SWAT là mô hình thủy văn bán phân bố được xây dựng bởi Cục nghiên cứu nông nghiệp (Agricultural Research Service) thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (United States Department of Agriculture) và Trung tâm nghiên cứu nông nghiệp (Texas A&M AgriLife Research) thuộc Đại học Texas A&M, Hoa Kỳ vào đầu những năm 1990 với mục đích dự báo những ảnh hưởng của quản lý sử dụng đất đến tài nguyên nước, sự bồi lắng và lượng hóa chất sinh ra từ hoạt động nông nghiệp trên những lưu vực rộng lớn và phức tạp trong khoảng thời gian dài.

Mô hình SWAT được xây dựng dựa trên cơ sở về mặt vật lý, bên cạnh đó kết hợp các phương trình hồi quy mô tả mối quan hệ giữa những biến đầu vào và đầu ra,

mô hình yêu cầu thông tin về thời tiết, thuộc tính của đất, tài liệu địa hình, thăm phủ, và việc sử dụng đất trên lưu vực. Những quá trình vật lý liên quan đến sự chuyển động nước, sự chuyển động bùn cát, quá trình canh tác, chu trình chất dinh dưỡng,... đều được mô tả trực tiếp trong mô hình SWAT qua việc sử dụng dữ liệu đầu vào này. Mô hình chia lưu vực ra làm các vùng hay các lưu vực nhỏ. Phương pháp sử dụng các lưu vực nhỏ trong mô hình khi mô phỏng dòng chảy là rất tiện lợi khi mà các lưu vực này có đủ số liệu về sử dụng đất cũng như đặc tính của đất.

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 [25]. Các tác giả đã nêu rõ vai trò điều hòa dòng chảy và hỗ trợ phòng chống lũ của rừng. Kết quả tính toán cho thấy khi lớp phủ rừng tăng (từ năm 1993 đến năm 2000) thì tổng lượng dòng chảy năm của lưu vực giảm đi trung bình khoảng 31.106 m^3 và lưu lượng đỉnh lũ cũng giảm. Các tác giả đã nhận định SWAT là một mô hình có thể vận dụng linh hoạt, dễ hiệu chỉnh và cho kết quả mô phỏng tốt, có thể áp dụng cho mọi loại lưu vực, không hạn chế diện tích và có thể cung cấp đầu vào cho nhiều bài toán khác nhau như các mô hình thủy lực, tính toán cân bằng nước v.v. Mô hình này còn có thể mô phỏng xói mòn bề mặt lưu vực, vận chuyển bùn cát, các chất hóa học, hữu cơ v.v.

Cũng trong năm 2003, tác giả Phạm Thị Hương Lan (Đại học Thủy lợi) [13] 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. Ở nghiên cứu này tác giả đã đưa các thông số và số liệu thống kê về sử dụng đất, diện tích và chất lượng rừng, và áp dụng thử nghiệm thí điểm cho lưu vực sông Nậm Mực thuộc lưu vực sông Đà để đánh giá các phương án quy hoạch.

Trong các nghiên cứu khác cùng giai đoạn 2003-2004, Vũ Văn Tuấn và Phạm Thị Hương Lan đã ứng dụng thử nghiệm mô hình SWAT và phương pháp thực

nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của rừng tới một số đặc trưng thủy văn của các lưu vực nhỏ [29], cụ thể trong nghiên cứu này là lưu vực Mù Căng Chải vùng Tây Bắc. Kết quả cho thấy rừng có tác dụng điều tiết dòng chảy, nhưng ở các lưu vực nhỏ tác động điều tiết này thể hiện rõ rệt đối với dòng chảy kiệt hơn là với dòng chảy lũ, và việc thay đổi diện tích rừng ở vùng thượng lưu có ảnh hưởng rõ rệt hơn ở vùng hạ lưu. Tuy nhiên các tác giả cũng đánh giá đây mới chỉ là nghiên cứu thử nghiệm bước đầu và để có thể thực sự khái quát các xu thế tác động này thành quy luật chung, cần tiến hành ở các lưu vực có các đặc trưng khác nhau và với phương pháp cũng như số liệu hoàn thiện hơn.

Năm 2004-2006, đề tài “Nghiên cứu xây dựng khung hỗ trợ ra quyết định trong quản lý tài nguyên nước lưu vực sông Cả” do TS. Hoàng Minh Tuyên chủ nhiệm đã áp dụng SWAT mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Cả [30]. Bộ mô hình SWAT chứa các thông số chính liên quan tới đất, nước ngầm, thông số vật lý của các HRU, và thông số liên quan tới quản lý lưu vực. Toàn bộ lưu vực lấy 9 trạm khí tượng đại diện cho các vùng để tính toán. Kết quả đưa ra 03 kịch bản về sự tác động của biến đổi khí hậu và thay đổi rừng trên lưu vực đã được tính toán. Chuỗi số liệu dòng chảy và ETo ngày được xuất ra là đầu vào quan trọng cho mô hình IQQM. Trong nghiên cứu này, lưu vực sông Cả được chia thành 29 tiểu lưu vực, và đánh giá chủ yếu cho 8 lưu vực có phân bố rừng, các giả thiết kịch bản về sự thay đổi lớp phủ rừng mang tính định tính.

Năm 2005, tác giả Ngô Đình Quế, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam đã thực hiện nghiên cứu “Đánh giá tác động của rừng đến dòng chảy và xói mòn đất trên một số lưu vực sông miền Trung và Tây Nguyên” [22]. Đây là một phần kết quả của dự án điều tra cơ bản “Điều tra, đánh giá tác động của rừng ở miền Trung và Tây Nguyên đến một số yếu tố môi trường làm cơ sở xây dựng tiêu chuẩn môi trường Lâm nghiệp”. Kết quả của nghiên cứu đã đánh giá được tác dụng điều tiết dòng chảy và hạn chế xói mòn đất của rừng tự nhiên tại hai lưu vực sông Rào Nậy, tỉnh Quảng Bình và sông Pơ Cô, tỉnh Kon Tum bằng cách sử dụng mô hình SWAT.

Bảng 1.1. Ảnh hưởng của độ che phủ rừng đến dòng chảy sông Rào Nậy

TT	Chỉ tiêu	Năm		
		1982	1992	2002
1	Độ che phủ rừng trên lưu vực (%)	70	61	59
2	Chênh lệch lưu lượng đỉnh lũ trung bình năm giữa các thời kỳ (%)	100,0	106,0	107,6
3	Chênh lệch lưu lượng dòng chảy mùa kiệt giữa các thời kỳ (%)	100	88	84

Bảng 1.2. Ảnh hưởng của biến động lớp thảm phủ rừng tới lớp dòng chảy bề mặt

Loại rừng	Giai đoạn 1982-1992		Giai đoạn 1992-2002	
	Biến động diện tích %	Biến động dòng chảy %	Biến động diện tích %	Biến động dòng chảy %
Rừng giàu	+ 82,2	- 86,1	-51,2	+61,1
Rừng trung bình	- 81,8	+ 51,1	+477,8	-91,1
Rừng nghèo	+ 18,2	- 1,8	-76,4	+21,8
Rừng lồ ô, tre nứa	+16,2	- 2,0	-41,9	+12,0
Rừng trồng	+50,2	- 8,6	+135,4	-18,6

Nguồn: [22]

Từ kết quả tính toán cho thấy một số nhận xét sau:

- Trong giai đoạn 1982-1992 thì rừng giàu và trung bình có ảnh hưởng nhiều nhất đến lớp dòng chảy bề mặt trên lưu vực. Diện tích rừng giàu tăng lên 82,2% thì lưu lượng dòng chảy mặt giảm 86,1%, tính trung bình thì cứ tăng 1% diện tích rừng giàu thì lượng dòng chảy mặt sẽ giảm đi trên 1%. Trong khi đó diện tích rừng trung bình giảm 81,8% thì lượng dòng chảy mặt tăng 51,1%. Các dạng rừng khác như rừng nghèo, lồ ô và rừng trồng có ảnh hưởng không lớn tới dòng chảy mặt trên lưu vực.

- Giai đoạn 1992-2002 có sự biến động rất lớn về diện tích các dạng rừng, đặc biệt là rừng trung bình và rừng trồng. Điều đáng lưu ý là diện tích rừng giàu đã giảm đi 51,2% diện tích và kết quả đã làm dòng chảy tăng lên 61,1%; diện tích rừng trung bình đã tăng lên 477,8% làm dòng chảy mặt giảm đi 91,1%. Sự thay đổi diện tích các loại rừng khác đã làm tăng hoặc giảm dòng chảy mặt trên dưới 20%.

Năm 2009, trong một nghiên cứu điển hình của Nguyễn Ý Như, Nguyễn Thanh Sơn, Khoa Khí tượng Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học Tự

nhiên, ĐHQGHN 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 [17] 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. Quá trình thay đổi sử dụng đất diễn ra liên tục, ở quy mô lưu vực, tác động đến các quá trình thủy văn ảnh hưởng lần lượt đến hệ thống sinh thái, môi trường và kinh tế. Vì thế, việc hiểu biết tốt hơn về tác động thay đổi sử dụng đất đối với quá trình thủy văn lưu vực có tầm quan trọng đối với tính toán dòng chảy và đưa ra các biện pháp giảm nhẹ tác động tiêu cực, trở thành một trong những vấn đề quyết định đối với quy hoạch, quản lý và phát triển bền vững của lưu vực.

Nghiên cứu này sử dụng mô hình SWAT để đánh giá tác động tiềm năng của thay đổi sử dụng đất đối với sự hình thành dòng chảy dưới số liệu mưa thực tế. Kết quả nghiên cứu này có thể được tổng hợp thành ba điểm chính: 1) sự thay đổi SĐĐ tác động không đáng kể đến dòng chảy năm, nhưng có khả năng điều tiết dòng chảy mùa khá mạnh; 2) việc lựa chọn loại cây trồng cũng có tác động đáng kể đến phân phối dòng chảy mùa (ví dụ thông là loại cây có khả năng điều tiết dòng chảy khá mạnh, giảm sự hình thành dòng chảy mặt và tăng khả năng giữ nước của đất); 3) dựa vào các đặc điểm của lưu vực, các nhà hoạch định chính sách có thể xây dựng được các phương án để đạt được hiệu quả sử dụng đất tối đa, đảm bảo phát triển bền vững.

Năm 2014, 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 [2]. Để đánh giá ảnh hưởng của biến động sử dụng đất đến cân bằng nước trên lưu vực, nghiên cứu tiến hành thiết lập dữ liệu cho Mô hình SWAT với hai kịch bản sử dụng đất cho hai giai đoạn 2000 và 2010. Dữ liệu về địa hình, thổ nhưỡng và các dữ liệu về thời tiết được giữ nguyên trong giai đoạn mô phỏng từ năm 2000 đến năm 2012. Kết quả mô phỏng được sử dụng để đánh giá tác động của việc thay đổi sử dụng đất đến những thay đổi dòng chảy ở quy mô lưu vực và định lượng sự ảnh hưởng của những thay đổi trong loại hình sử dụng đất đến dòng chảy ở quy mô tiểu lưu vực.

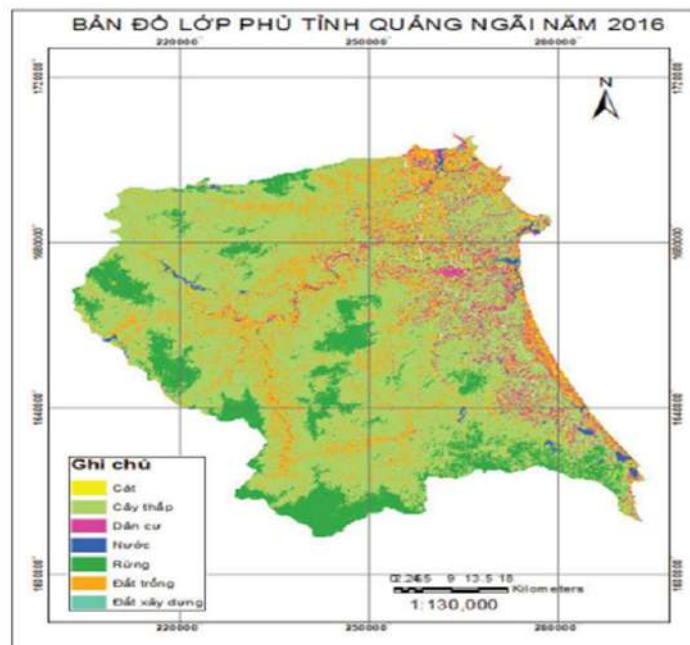
Năm 2014, nghiên cứu “Ứng dụng GIS và mô hình SWAT đánh giá ảnh hưởng thay đổi sử dụng đất đến lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Vu Gia” của tác giả Nguyễn Thị Hồng [10] thuộc trường đại học Quốc gia Hà Nội và các thầy cô từ trường đại học Lâm nghiệp, đại học Nông Lâm TP HCM đã khẳng định một trong những nguyên nhân chính gây nên hiện tượng biến đổi dòng chảy, ảnh hưởng đến lưu lượng dòng chảy trên lưu vực sông là do tác động của con người thông qua hoạt động sử dụng đất. Các tác giả đã sử dụng công nghệ GIS kết hợp với mô hình SWAT để xem xét và đánh giá các biến động trong sử dụng đất năm 2005 và 2010 ảnh hưởng tới lưu lượng dòng chảy trên lưu vực sông Vu Gia như thế nào. Kết quả của nghiên cứu là các giá trị hoàn toàn định lượng được về mức tăng hoặc giảm của các yếu tố dòng chảy. Điều đó cũng chứng tỏ việc tích hợp GIS và mô hình SWAT trong đánh giá tác động của biến động sử dụng đất tới lưu lượng dòng chảy và cân bằng nước là hoàn toàn khả thi.

Các lưu vực sông của Việt Nam rất thiếu các số liệu quan trắc về lưu lượng dòng chảy, do đó trong các nghiên cứu về dòng chảy lũ trên lưu vực thường sử dụng mô hình thủy văn để tính toán lưu lượng lũ. Thông thường mô hình thủy văn được thiết lập cho lưu vực nghiên cứu với các dữ liệu đầu vào là dữ liệu về khí tượng, thủy văn. Mô hình được hiệu chỉnh thông qua việc dò tìm bộ thông số, sau đó bộ thông số này được kiểm định lại qua một số trận lũ ở những thời điểm khác nhau, nếu kết quả tính toán ở bước kiểm định đạt yêu cầu thì đó là bộ thông số mô hình phù hợp cho lưu vực. Bộ thông số này được sử dụng để tính toán cho những thời gian lũ khác nhau trên lưu vực cũng như áp dụng cho lưu vực tương tự. Như vậy, cách tiếp cận này có hạn chế là khi tính toán dòng chảy lũ cho những thời điểm khác nhau (cách nhau một vài năm hay hàng chục năm) thì khi đó các điều kiện mặt đệm lưu vực đã thay đổi không giống nhau, dẫn đến kết quả tính toán sẽ không đảm bảo, cần điều chỉnh lại các thông số của mô hình. Vấn đề đặt ra là cần điều chỉnh các thông số đó theo hướng nào, tăng hay giảm thông số nào và căn cứ vào đâu để điều chỉnh lại các thông số cho phù hợp. Khi có dữ liệu phân tích từ ảnh viễn thám, sẽ thành lập được bản đồ hiện trạng lớp phủ theo thời gian, từ bản đồ này sẽ phân tích biến động thành phần lớp phủ

theo thời gian. Kết quả biến động thảm phủ sẽ giúp vi chỉnh lại các thông số của mô hình thủy văn phù hợp với từng khoảng thời gian cụ thể. Từ đó tác giả Nguyễn Thị Thu Huyền của Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam đã có nghiên cứu “Ứng dụng ảnh viễn thám kết hợp mô hình thủy văn trong nghiên cứu dòng chảy lũ lưu vực sông Vệ tỉnh Quảng Ngãi” [12]. Nghiên cứu tập trung vào:

(1) Sử dụng ảnh viễn thám để phân tích, đánh giá sự thay đổi thảm phủ trên lưu vực sông Vệ;

(2) Nghiên cứu điều chỉnh các thông số của mô hình thủy văn cho lưu vực sông Vệ dựa vào dữ liệu phân tích từ ảnh viễn thám.



Hình 1.7. Thảm phủ trên lưu vực sông Vệ năm 2016

Nguồn: [12]

1.5. Tổng quan nghiên cứu về đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông

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

Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới tài nguyên nước bao gồm dòng chảy, độ ẩm của đất, nước ngầm và các thông số thủy văn khác về cơ bản liên quan đến việc đưa ra các dự báo về các biến khí hậu (ví dụ: lượng mưa, nhiệt độ, độ ẩm và

áp suất mực nước biển trung bình) ở quy mô toàn cầu, quy mô địa phương. Dự báo các biến khí hậu trên toàn cầu đã được thực hiện với các mô hình khí hậu toàn cầu (GCM), cung cấp các dự báo ở quy mô không gian lớn. Sau đó, các dự báo khí hậu quy mô lớn như vậy phải được hạ quy mô để có được các dự báo thủy văn quy mô nhỏ hơn với mối liên hệ thích hợp giữa các vùng khí hậu địa phương.

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 (RCM) kết hợp với mô hình thủy văn SWAT [70]. Mô hình SWAT được hiệu chỉnh dựa trên dữ liệu đo dòng chảy thực tế của cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ. Hiệu quả mô phỏng kết hợp của SWAT và RCM được kiểm tra bằng cách sử dụng dữ liệu thời tiết quan trắc được làm điều kiện biên trong RCM. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự kết hợp của mô hình SWAT và RCM cho kết quả tốt, đặc biệt đối với dữ liệu năm. Các tác động tiềm tàng của biến đổi khí hậu tới tài nguyên nước và các thành phần thủy văn khác đã được định lượng bằng mô hình SWAT với các kịch bản khí hậu hiện tại và tương lai. Lượng mưa tăng 21% trong tương lai được mô phỏng bởi RCM tạo ra lượng tuyết rơi tăng 18%, lượng nước chảy bề mặt tăng 51% và lượng nước ngầm tăng 43%, dẫn đến tổng sản lượng nước trung bình năm ở Thượng lưu sông Mississippi tăng 50%. Phân tích sự không chắc chắn cho thấy rằng sự thay đổi mô phỏng trong dòng chảy về cơ bản đã vượt quá độ lệch mô hình của hệ thống mô hình kết hợp (với độ lệch lớn nhất là 18%).

Karim C. Abbaspour năm 2009 đã nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu tới tài nguyên nước ở Iran [32]. 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 hàng năm ở cấp độ lưu vực. Các kịch bản khí hậu trong tương lai cho giai đoạn 2010–2040 và 2070–2100 được tạo ra từ Mô hình Canadian Global Coupled Model (CGCM 3.1) cho các kịch bản A1B, B1 và A2, đã được hạ quy mô cho 37 trạm khí hậu trên khắp cả nước. Mô hình thủy văn sau đó được áp dụng cho các giai đoạn này để phân tích ảnh hưởng của khí hậu trong tương lai đến tài nguyên nước trên toàn quốc. Kết quả cho thấy đối với các kịch bản trong tương lai, các vùng ẩm ướt của Iran sẽ nhận

được nhiều mưa hơn trong khi các vùng khô hạn sẽ nhận được ít hơn. Phân tích cường độ mưa hàng ngày cho thấy lũ lụt thường xuyên hơn và cường độ lớn hơn ở các vùng ẩm ướt và hạn hán kéo dài hơn ở các vùng khô hạn. Khi nghiên cứu đến cấp tỉnh, sự khác biệt trong các dự tính do ba kịch bản trong tương lai nhỏ hơn độ không chắc chắn trong mô hình thủy văn. Tuy nhiên, ở cấp độ tiểu lưu vực, ba kịch bản khí hậu tạo ra các kết quả khá khác nhau ở các vùng khô hạn, còn kết quả ở các vùng ẩm ướt tương đối giống nhau.

Hạn chế của nghiên cứu này cũng như các nghiên cứu trước đây là đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và sự thay đổi tài nguyên nước trong khu vực chỉ dựa trên một số lượng hạn chế mô hình khí hậu toàn cầu (GCM). Việc đưa ra kết luận về tác động của biến đổi khí hậu đối với thủy văn khu vực bằng cách sử dụng một GCM cụ thể có thể không đưa ra một kết quả mô phỏng tốt với những thay đổi trong tương lai. Dự kiến sẽ có độ không chắc chắn cao trong các nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu nếu dựa vào kết quả mô phỏng của một GCM đơn lẻ.

Nghiên cứu toàn diện đầu tiên về các tác động tiềm tàng của biến đổi khí hậu đối với tài nguyên nước, kết hợp các kết quả từ 11 GCM và hai kịch bản phát thải, được thực hiện bởi Beyene và các cộng sự [46]. Các kết quả nghiên cứu cho lưu vực sông Nile có liên quan đến khu vực Hồ Tana. Đầu tiên, các dự báo về sự thay đổi lượng mưa đối với lưu vực phụ có sự khác biệt đáng kể giữa các GCM khác nhau. Thứ hai, kết quả đa mô hình cho Báo cáo đặc biệt về các kịch bản phát thải (SRES) kịch bản A2 cho thấy lượng mưa hàng năm ở lưu vực sông Blue Nile tăng 15% trong giai đoạn 2010–2039, giảm 2% trong giai đoạn 2040–2069, và một lần nữa tăng 6% vào cuối thế kỷ (2070–2100). Những thay đổi kết hợp về lượng mưa và khả năng thoát hơi nước dẫn đến dòng chảy được mô hình hóa tăng lên trong giai đoạn 2010–2039 và suy giảm trong các giai đoạn 2040–2069 và 2070–2100.

Kết quả của Beyene và cộng sự đặc biệt thú vị vì chúng không phù hợp với giả định phổ biến rằng những thay đổi theo tỷ lệ trong lượng mưa và khả năng bốc hơi sẽ gần như tuyến tính với sự gia tăng nhiệt độ toàn cầu. Ví dụ, giả định “mở rộng quy mô” này đã được sử dụng bởi Kingston và Taylor [75] để điều tra các tác động

của hiện tượng ấm lên toàn cầu từ 0,5°C đến 6°C ở lưu vực sông Mitano ở Thượng lưu sông Nile ở Uganda. Do đó, kết quả của Beyene và cộng sự đã có những tác động sâu rộng đối với việc nghiên cứu các tác động của biến đổi khí hậu.

Từ những nghiên cứu bản lề đó, Shimelis G. Setegn và cộng sự (2011) đã khảo sát các tác động có thể có của biến đổi khí hậu đối với tài nguyên nước ở lưu vực Hồ Tana, Ethiopia, bằng cách phân tích kết quả đầu ra từ các mô hình GCM [107]. Để có dấu hiệu về tính nhất quán của những thay đổi dự kiến trong khu vực, trước tiên, bài báo so sánh những thay đổi dự kiến về lượng mưa và nhiệt độ trên 15 mô hình trong hai mùa và ba khoảng thời gian. Sau đó, điều tra xem những thay đổi về nhiệt độ hàng ngày và lượng mưa có thể chuyển thành những thay đổi trong dòng chảy và các thành phần thủy văn khác, sử dụng kết quả đầu ra từ chín mô hình khí hậu trong hai khoảng thời gian (2046–2065 và 2080–2100). Bài báo đã tạo các dự báo khí hậu hàng ngày bằng cách sửa đổi các tập dữ liệu lịch sử để thể hiện những thay đổi trong khí hậu GCM. Mô hình Công cụ Đánh giá Nước về Đất (SWAT) dựa trên vật lý được sử dụng để xác định tác động của biến đổi khí hậu đối với nguồn nước mặt và nguồn nước ngầm sẵn có trong Lưu vực Hồ Tana. Mô hình SWAT đã được hiệu chỉnh và xác nhận bằng cách sử dụng dữ liệu lịch sử từ bốn con sông chảy vào Hồ Tana: sông Gumera, Gilgel Abay, Megech và Ribb.

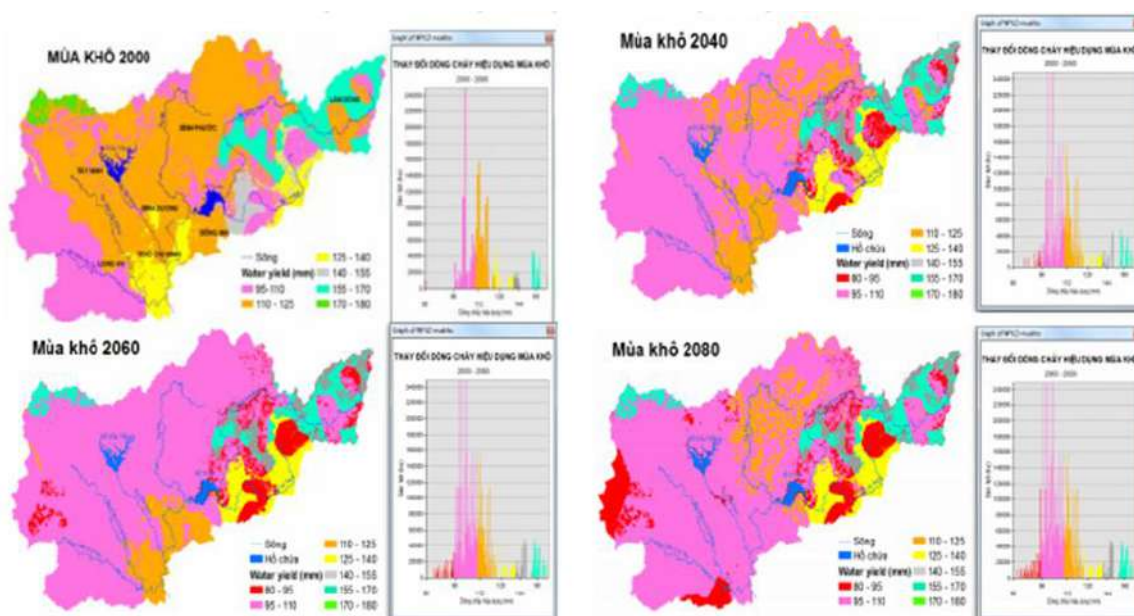
Nghiên cứu còn một thiếu sót đáng kể là các kịch bản được sử dụng đã không xem xét những thay đổi tiềm năng trong việc sử dụng đất hoặc độ che phủ đất. Do đó, đặc biệt lưu ý điều tra kỹ lưỡng về tác động tổng hợp của khí hậu và sử dụng đất hoặc thay đổi độ che phủ đất lên các quá trình thủy văn và sự biến đổi nguồn nước, những yếu tố này rất quan trọng đối với kinh tế và sinh kế của người dân trong khu vực nghiên cứu.

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. Nghiên cứu này cho thấy rằng, theo thời gian, thay đổi sử dụng đất do sự định cư gia tăng trong lưu vực sẽ dẫn đến giảm độ che phủ rừng (tự nhiên và

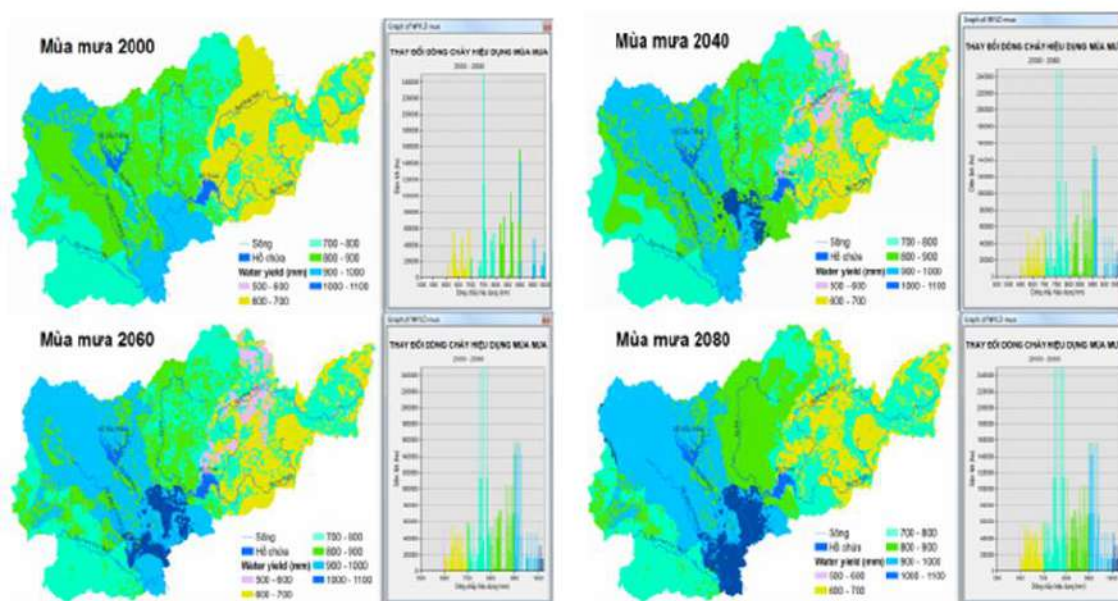
rừng trồng) từ khoảng 37% năm 1989 xuống còn 26% vào năm 2019 [74]. Thêm vào đó, dưới tác động của BĐKH, lượng mưa cũng giảm nhiều hơn. Hệ quả của thay đổi sử dụng đất và biến đổi khí hậu là những thay đổi trong phản ứng thủy văn trên lưu vực như: tăng dòng chảy bề mặt, giảm dòng chảy cơ sở, dẫn tới thay đổi lớn về mực nước tại các đập Elegirini và Two Rivers trong mùa khô và mùa mưa. Mô hình hóa các kịch bản quản lý lưu vực cho thấy lượng nước ngầm tăng thêm 17% và lượng dòng chảy mặt giảm 9%. Do đó, nếu các hoạt động trồng rừng, tái trồng rừng và làm ruộng bậc thang của nông dân (mặc dù quy mô nhỏ) để tăng lớp phủ thực vật trong lưu vực được tuân thủ, thì các hệ quả phản ứng thủy văn của lưu vực sẽ ít dần theo thời gian, mặc dù sự biến đổi khí hậu ngày càng tăng.

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

Ở Việt Nam, năm 2012, tác giả Nguyễn Kỳ Phùng với nghiên cứu “Ứng dụng mô hình SWAT đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Đồng Nai” [19] đã ứng dụng mô hình SWAT để mô phỏng sự thay đổi dòng chảy lưu vực sông Đồng Nai trong điều kiện biến đổi khí hậu. Nghiên cứu sử dụng bản đồ DEM, bản đồ phân cấp độ dốc; bản đồ thổ nhưỡng, bản đồ phân loại sử dụng đất và chuỗi số liệu về khí hậu tạo cơ sở dữ liệu đầu vào cho mô hình SWAT và kịch bản biến đổi khí hậu được lựa chọn là kịch bản phát thải trung bình B2.



Hình 1.8. Mức thay đổi dòng chảy hiệu dụng vào mùa khô theo không gian so với thời kỳ 1980-1999, kịch bản B2



Hình 1.9. Mức thay đổi dòng chảy hiệu dụng vào mùa mưa theo không gian so với thời kỳ 1980-1999, kịch bản B2

Nguồn: [19]

Kết quả của nghiên cứu cho thấy: Ảnh hưởng của BĐKH làm cho lượng dòng chảy năm lưu vực sông Đồng Nai trong tương lai 2020 đến 2100 tăng từ 0,5% đến 3,85% và có sự khác nhau giữa các tiểu lưu vực; lưu lượng trung bình các tháng mùa

khô giảm từ -9,6% đến -0,05% ngược lại các tháng mùa mưa tăng từ 0,013% đến 5,256%. Tác giả cũng đã kết luận “Nghiên cứu bước đầu đã đánh giá được tác động của BĐKH lên dòng chảy lưu vực sông Đồng Nai theo các kịch bản trong tương lai bằng mô hình SWAT... Tuy nhiên muốn nâng cao độ chính xác của mô hình thì cần bản đồ DEM, bản đồ thảm phủ và bản đồ sử dụng đất có độ chính xác cao hơn” [19].

Năm 2015, tác giả Nguyễn Hoàng Minh đã nghiên cứu đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới tài nguyên nước lưu vực sông Lô [16]. 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. Số liệu mưa, bốc hơi của 16 trạm khí tượng, lưu lượng của 6 trạm thủy văn (Bảo Yên, Chiêm Hóa, Đạo Đức, Hàm Yên, Ghềnh Gà và Vụ Quang) và số liệu nhu cầu nước của các ngành (trồng trọt, chăn nuôi, thủy sản, công nghiệp, dịch vụ và sinh hoạt) trên lưu vực từ năm 1995-2000 đã được sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình. Hai hồ chứa lớn (Tuyên Quang và Thác Bà) được đưa vào để mô phỏng. Theo kết quả tính toán, nhu cầu nước sử dụng trong giai đoạn 2020 đến 2100 khoảng 2,12 đến 2,28 tỷ m³/năm. Từ đó tác giả xác định xu thế lượng nước thiếu hụt trên mỗi lưu vực con và toàn lưu vực. Việc đánh giá lượng nước thiếu hụt đã được xét tới khi có sự tham gia điều tiết của hồ chứa và thủy điện trên toàn hệ thống. Lượng nước thiếu hụt tăng dần từ giai đoạn hiện trạng tới các giai đoạn trong tương lai theo kịch bản BĐKH. Về mùa lũ, dòng chảy lũ tăng lên theo các kịch bản biến đổi khí hậu làm mực nước sông ở hạ lưu sông Lô tăng lên ở tất cả các kịch bản BĐKH. Sự gia tăng lớn nhất là theo kịch bản A2, tiếp theo là kịch bản B2, kịch bản B1 là nhỏ nhất. Vào mùa lũ, do có hệ thống đê bảo vệ và hệ thống hồ chứa cắt lũ nên hạ lưu không bị ngập lụt do nước sông tràn vào. Về mùa kiệt, do dòng chảy đến mùa kiệt và lượng mưa vào mùa khô có xu thế giảm dẫn đến mức độ hạn hán tăng lên so với giai đoạn hiện trạng, đặc biệt là lưu vực đến trạm thủy văn Chiêm Hóa sẽ tăng mức hạn từ hạn nặng thành hạn đặc biệt.

Đối với lưu vực sông Ba, năm 2013, tác giả Huỳnh Thị Lan Hương đã đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy trên lưu vực sông Ba [11]. Tính toán được thực hiện theo 3 kịch bản phát thải là: cao A2, trung bình B2 và thấp B1. Mô

hình NAM được sử dụng để tính toán dòng chảy đến các trạm An Khê và Củng Sơn. Số liệu đo đạc giai đoạn 1980-1999 được dùng để hiệu chỉnh và kiểm nghiệm mô hình, trong đó giai đoạn 1980-1989 được dùng để hiệu chỉnh và giai đoạn 1990-1999 được dùng để kiểm nghiệm. Đầu vào cho mô hình NAM bao gồm: Lượng mưa trung bình lưu vực (TBLV) được tính từ lượng mưa của các trạm đo mưa theo phương pháp trọng số; lượng bốc hơi tiềm năng được tính từ các yếu tố khí tượng; và dòng chảy thực đo đến các trạm thủy văn thời kỳ nền. Các bộ thông số của mô hình sau khi đã hiệu chỉnh và kiểm nghiệm được sử dụng để tính toán dòng chảy cho các thời kỳ trong tương lai (2020-2039, 2040-2059, 2060-2079, 2080-2099) với số liệu đầu vào của mô hình, bao gồm, lượng mưa tại các trạm đo mưa và nhiệt độ tại các trạm khí tượng trong tương lai được lấy từ kịch bản BĐKH 2012: cao A2, trung bình B2 và thấp B1. Kết quả tính toán cho thấy dòng chảy ở thượng lưu sông Ba ít biến đổi hơn so với hạ lưu. Dòng chảy năm và dòng chảy mùa cạn có xu thế giảm, trong khi đó dòng chảy mùa lũ có xu thế tăng. Tuy nhiên, mức tăng dòng chảy lũ chỉ xảy ra trong các tháng giữa mùa lũ (X, XI). Trong các tháng còn lại, dòng chảy đều có xu thế giảm. Tháng XI có lưu lượng nước tăng nhiều nhất (13,89%) và tháng VI có lưu lượng nước giảm nhiều nhất (41,96%).

Tương tự như nghiên cứu trên nhưng sử dụng kịch bản biến đổi khí hậu năm 2016 nhóm nghiên cứu của tác giả Lê Văn Quy (2020) cũng đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến chế độ dòng chảy lưu vực sông Ba [23]. Nghiên cứu cũng ứng dụng mô hình thủy văn thông số tập trung NAM để đánh tính toán và mô phỏng quá trình dòng chảy trên toàn lưu vực sông Ba điển hình là mô phỏng dòng chảy đến trạm thủy văn An Khê và Củng Sơn. Trên cơ sở đó sẽ tiến hành phân tích, đánh giá các yếu tố khí tượng (nhiệt độ, bốc hơi, lượng mưa) và thủy văn (dòng chảy tháng, dòng chảy năm, dòng chảy mùa lũ, dòng chảy mùa cạn) trên lưu vực sông Ba theo 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5. Kết quả nghiên cứu khá tương đồng với nghiên cứu của tác giả Huỳnh Thị Lan Hương, các kịch bản BĐKH tác động đến dòng chảy tương đối lớn tại trạm An Khê và Củng Sơn với kịch bản RCP4.5 và RCP8.5, dòng chảy có xu hướng giảm vào mùa kiệt với mức giảm lưu lượng lớn nhất thường vào tháng VI, VII

và có xu hướng tăng vào mùa lũ với mức tăng lưu lượng lớn nhất thường vào X, XI. Mức độ ảnh hưởng của BĐKH đến dòng chảy mùa cạn lớn hơn so với mùa lũ.

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 Cả [65]. Tác giả sử dụng mô hình MIKE-NAM với đầu vào là các dữ liệu nhiệt độ từ 06 trạm khí tượng Tương Dương, Quỳnh Châu, Tây Hiếu, Đô Lương, Vinh và Hương Khê (1986-2005), mưa ngày từ 14 trạm thủy văn Cửa Rào, Tương Dương, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Con Công, Tây Hiếu, Dừa, Đô Lương, Nam Đàn, Sơn Diệm, Hòa Duyệt, Hương Khê, Linh Cảm, Vinh (1986-2005). Mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định bởi số liệu lưu lượng dòng chảy từ 02 trạm thủy văn Dừa, Nghĩa Khánh (1986-2005) và 02 trạm Hòa Duyệt, Sơn Diệm (1997-2005). Các dữ liệu mưa, nhiệt trung bình ngày, tối cao, tối thấp 3 thời kỳ 2016-2035, 2046-2065, 2080-2099 của 2 kịch bản RCP4.5, RCP 8.5 được sử dụng để tính toán dòng chảy theo các kịch bản BĐKH. Kết quả tính toán cho thấy, BĐKH tác động tới phân phối dòng chảy mùa lũ trên mọi khu vực của lưu vực sông Cả, thay đổi lớn nhất tại lưu vực sông Hiếu và giảm dần từ phía Bắc xuống phía Nam lưu vực sông Cả. BĐKH khiến cho mùa lũ đến sớm hơn và kết thúc muộn hơn trong một vài thời kỳ theo cả 02 kịch bản RCP 4.5 và 8.5. Tuy vậy, tác giả cũng nhận định, kết quả nghiên cứu chỉ dựa trên một mô hình thủy văn và một kịch bản BĐKH cũng có thể dẫn tới tính không chắc chắn. Do đó, các nghiên cứu tiếp theo cần thiết phải sử dụng một tổ hợp mô hình thủy văn và mô hình khí hậu để kiểm chứng các kết quả nghiên cứu này.

1.6. Tổng quan nghiên cứu về đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông

Hiện nay, tại Việt Nam, vấn đề đánh giá tác động kết hợp của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông vẫn chưa được nghiên cứu nhiều, và chủ yếu được thực hiện bởi các nghiên cứu ngoài nước. Trong đó, có hai hướng nghiên cứu chính về vấn đề này: (1) đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy theo các dữ liệu trong quá khứ; (2) dự tính thảm phủ tương lai kết hợp với các kịch bản BĐKH để tính toán dòng chảy tương lai.

Về hướng nghiên cứu (1), có thể kể đến như nghiên cứu “Ảnh hưởng của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy mặt trong vùng chuyển tiếp nửa ẩm và nửa khô hạn ở Tây Bắc Trung Quốc” của Jing Yin và nnk [120]. Điểm nổi bật của nghiên cứu là định lượng được tác động kết hợp và riêng rẽ của thay đổi LULC và biến đổi khí hậu đối với dòng chảy bề mặt. Nghiên cứu sử dụng dữ liệu thảm phủ giai đoạn 1970s-1980s, 1980s-1990s, và 1990s-2000s thành lập từ ảnh viễn thám, và dữ liệu khí tượng giai đoạn 1970-2005 để mô phỏng dòng chảy mặt lưu vực Jinghe, Trung Quốc giai đoạn 1970s-2000s. Nghiên cứu đã mô phỏng dòng chảy mặt theo các kịch bản hoặc chỉ có thay đổi LULC (LULC năm 1980s) hoặc chỉ có biến đổi khí hậu (dữ liệu khí tượng năm 1980s) so sánh với kịch bản nền là LULC và dữ liệu khí tượng những năm 1970s, thực hiện tương tự như vậy với giai đoạn 1980s-1990s, và 1990s-2000s. Kết quả mô phỏng đã cho thấy sự đóng góp khác nhau của thay đổi LULC và biến đổi khí hậu tới thay đổi dòng chảy lưu vực sông nghiên cứu: thay đổi LULC đóng góp lần lượt 44%, và 71% tới các thay đổi dòng chảy giai đoạn 1980s-1990s và 1990s-2000s. Với kịch bản kết hợp cả hai thay đổi LULC và biến đổi khí hậu, dòng chảy mặt tại đây tăng $29,75 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ giai đoạn 1970s-1980s, và giảm $28,24 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ giai đoạn 1980s-2000s. Tuy vậy, nghiên cứu còn tồn tại tính không chắc chắn khi mô phỏng do độ phân giải thấp của dữ liệu viễn thám, và hạn chế về mật độ của các trạm đo mưa giai đoạn 50 năm về trước.

Với phương pháp tương tự, nghiên cứu năm 2020 của Huilan Zhang và nnk “Đánh giá toàn diện về tác động của biến đổi khí hậu, thay đổi thảm phủ đối với dòng chảy và lưu lượng trầm tích” sử dụng dữ liệu giai đoạn 1974-1995 để mô phỏng giai đoạn 1980-2003 [122]. Nghiên cứu được thực hiện cho lưu vực sông Minjiang, Trung Quốc và cho kết quả ngược lại với nghiên cứu của JingYin: biến đổi khí hậu và thay đổi LULC có tỷ lệ đóng góp 5:1 và 3:1 lần lượt với các thay đổi về dòng chảy và lưu lượng trầm tích, chứng minh biến đổi khí hậu có ảnh hưởng trọng yếu hơn nhiều so với thay đổi LULC.

Cũng trong hướng nghiên cứu này, Leticia Tondato Arantes và nnk năm 2021 đã nghiên cứu “Dòng chảy bề mặt liên quan đến biến đổi khí hậu và thảm phủ ở Đông

Nam Brazil” [40]. Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) và đánh trọng số 6 nhân tố ảnh hưởng: độ dốc, tổng lượng mưa năm, thảm phủ, thổ nhưỡng, địa hình, hệ thống tầng nước ngầm giai đoạn 2001-2017. Sau đó mô phỏng sự thay đổi dòng chảy với sự thay đổi của thảm phủ riêng rẽ và kết hợp thay đổi lượng mưa năm (đại diện cho biến đổi khí hậu). Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy sự thay đổi lớn về dòng chảy giai đoạn này và nhân tố biến đổi khí hậu có ảnh hưởng quan trọng hơn thay đổi thảm phủ tại lưu vực Rio Claro, Brazil.

Về hướng nghiên cứu (2), đa phần các nghiên cứu đều sử dụng các mô hình họ Markov để dự tính thảm phủ tương lai, sau đó kết hợp cùng các kịch bản BĐKH và đưa vào mô hình SWAT đã hiệu chỉnh để đánh giá tác động riêng rẽ hoặc kết hợp của BĐKH và thay đổi thảm phủ tới thay đổi dòng chảy tương lai.

Nghiên cứu năm 2020 “Đánh giá tác động thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đối với dòng chảy bề mặt của lưu vực nhiệt đới ẩm ở Tây Ghats, Ấn Độ” của tác giả Rakesh Kumar Sinha và nnk [109] đã dự tính thảm phủ năm 2030 và 2050, kết hợp kịch bản BĐKH RCP4.5, RCP8.5 3 thời kỳ 2011-2040, 2041-2070, 2071-2099 để đánh giá các thay đổi dòng chảy bề mặt trong tương lai. Kết quả mô phỏng cho thấy, đối với kịch bản chỉ có thay đổi thảm phủ giai đoạn 2000-2050 thì lưu lượng dòng chảy trung bình năm tăng, đối với kịch bản chỉ có biến đổi khí hậu thì lưu lượng dòng chảy trung bình năm giảm, đối với kịch bản kết hợp thì lưu lượng cũng giảm. Tuy nhiên, nghiên cứu sử dụng thảm phủ 2000-2014 để dự tính thảm phủ 2030 và tiếp tục sử dụng thảm phủ 2014 và thảm phủ mô phỏng 2030 để dự tính thảm phủ 2050, do đó còn tồn tại tính không chắc chắn lớn.

Cũng trong năm 2020, nghiên cứu “Phản ứng thủy văn lưu vực sông đối với thay đổi kết hợp thảm phủ và biến đổi khí hậu ở cao nguyên Ethiopia: Lưu vực Finchaa” của tác giả W. T. Dibaba và nnk [51] cũng sử dụng mô hình Markov-Cellular Automata để mô phỏng các thay đổi thảm phủ giai đoạn 2002-2017 và dự tính thảm phủ 2036, 2055. Tiếp theo, lượng mưa và nhiệt độ tối cao tối thấp giai đoạn 2021-2050, 2051-2080 của 4 mô hình RCM theo 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 cùng với thảm phủ tương lai được đưa vào mô hình SWAT đã hiệu chỉnh để đánh giá. Về

kết quả mô phỏng, theo kịch bản chỉ có thay đổi thảm phủ, lượng nước mặt tăng, nhưng lượng nước ngầm giảm; theo kịch bản chỉ có biến đổi khí hậu thì dòng chảy giảm ở cả 2 thời kỳ. Đối với kịch bản kết hợp thì dòng chảy vẫn giảm nhưng lượng giảm ít hơn khi chỉ có tác động đơn lẻ của biến đổi khí hậu, chứng tỏ tác động của BĐKH vẫn chiếm ưu thế hơn so với tác động của thay đổi LULC.

Tương tự như vậy, nghiên cứu “Tác động của biến đổi khí hậu cũng như thay đổi thảm phủ đối với lưu lượng dòng chảy tại lưu vực Haraz” của tác giả Zahra Emlaei và nnk công bố năm 2022 [56] cũng mô phỏng dòng chảy 4 giai đoạn 1992-2007, 2008-2016, 2016-2026, và 1992-2026 theo các kịch bản chỉ có thay đổi thảm phủ hoặc chỉ có biến đổi khí hậu và kết hợp. Kết quả nghiên cứu cho thấy, biến đổi khí hậu đóng vai trò quan trọng hơn trong việc thay đổi lưu lượng dòng chảy ở giai đoạn 1992-2007, 2007-2016. Tuy nhiên, trong tương lai 2016-2026, tác động từ thay đổi LULC lớn hơn biến đổi khí hậu đối với các tiểu lưu vực phía Bắc.

Điều này cho thấy, với việc đánh giá riêng rẽ và kết hợp tác động của biến đổi khí hậu và thay đổi thảm phủ tới các lưu vực, còn tồn tại các kết quả khác nhau về sự đóng góp của 2 nhân tố này tới thay đổi dòng chảy và phụ thuộc nhiều vào điều kiện của từng lưu vực nghiên cứu.

1.7. Tiểu kết chương 1

Có thể thấy, thảm phủ thay đổi có ảnh hưởng rõ rệt tới dòng chảy các lưu vực sông qua thay đổi địa hình, tính chất đất, sự thấm hút, bốc thoát, sử dụng nước,..., còn BĐKH có ảnh hưởng tới nhiệt độ, thời gian, lượng mưa,... dẫn tới thay đổi về tỷ lệ dòng chảy, tăng khả năng xảy ra và mức độ trầm trọng của hạn hán, lũ lụt. Các nghiên cứu đã chỉ ra những thay đổi tương đối nhỏ về nhiệt độ và lượng mưa cũng có thể gây tác động lớn đối với dòng chảy. Với lượng mưa không đổi, dòng chảy giảm khoảng 3-12% nếu nhiệt độ tăng 2°C, và 7-21% khi nhiệt độ tăng 4°C [11]. Vì vậy, việc đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy là một vấn đề rất cấp thiết.

Qua tổng quan các nghiên cứu trong nước, có thể thấy đa phần các nghiên cứu hoặc dừng lại tại việc xây dựng các biến động thảm phủ, chưa đưa ra các kịch bản

thảm phủ, hoặc chỉ đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi thảm phủ tới tài nguyên nước, hoặc chỉ đánh giá tác động của biến đổi khí hậu tới tài nguyên nước, chưa thực sự có nghiên cứu nào đánh giá kết hợp sự thay đổi của cả hai yếu tố trên ảnh hưởng như thế nào tới tài nguyên nước, cụ thể là dòng chảy. Đối với quốc tế, các nghiên cứu ngoài nước đã giải quyết vấn đề này về mặt lý thuyết, tuy nhiên về mặt áp dụng thực tế, để có thể xây dựng mô hình mô phỏng thì lại phụ thuộc vào khả năng hiểu biết của từng nhóm nghiên cứu đối với mỗi lưu vực cụ thể.

Các nghiên cứu ngoài nước chỉ ra rằng, việc xây dựng mô hình mô phỏng Markov-Cellular Automata là rất phổ biến trên thế giới trong việc mô phỏng biến động thảm phủ và đưa ra các kịch bản thảm phủ tương lai. Tuy nhiên, nếu chỉ sử dụng một mình mô hình Markov thì không đủ vì nó không xem xét về mặt phân bố không gian trong mỗi loại LULC và xác suất chuyển đổi cũng không phải là không đổi giữa các trạng thái LULC; do đó, mô hình Markov chỉ có thể dự báo được sự thay đổi LULC về mặt định lượng [54]. Sự thiếu hụt này của mô hình Markov có thể được bù đắp thông qua việc tích hợp với các mô hình khác có xét tới thành phần không gian [60]. Ưu điểm nổi bật của mô hình này là khả năng dự báo được các thay đổi của thảm phủ có thể xảy ra trong tương lai bao hàm cả các biến động thảm phủ tự nhiên và các thay đổi do con người trong sử dụng đất theo xác suất.

Ahmed 2013 cũng đã đánh giá kiểm định khả năng của 03 mô hình mô phỏng thay đổi thảm phủ họ Markov: Mô hình Xích Markov ngẫu nhiên (Stochastic Markov), Hệ tự hành dạng tế bào Markov (Markov-Cellular Automata), Mạng nơ-ron đa tầng Markov (Multi Layer Perceptron Markov). Kết quả mô phỏng của 3 mô hình được kiểm chứng bằng nhiều phương pháp khác nhau và cho thấy mô hình nơ-ron đa tầng Markov (MLP_Markov) là mô hình có kết quả mô phỏng tốt nhất [34]. Tuy vậy, có thể thấy giữa 2 mô hình CA_Markov và MLP_Markov đều có kỹ năng mô phỏng khá tương đương nhau, không sai khác quá lớn. Mà về thực tế, khi áp dụng mô hình MLP_Markov cần phải xây dựng rất nhiều quy tắc chuyển đổi cho mỗi nơ-ron của từng lớp phủ, tức là lượng công việc rất lớn và đòi hỏi lượng lớn dữ liệu. Do đó, trong trường hợp của Luận án là áp dụng cho một lưu vực lớn như lưu vực sông Cả thì việc sử dụng mô hình lai Markov-Cellular Automata kết hợp các lý thuyết về

Chuỗi Markov, Hệ tự hành dạng tế bào, Đánh giá đa tiêu chí và Kết hợp tuyến tính có trọng số là một cách tiếp cận phù hợp hơn để mô phỏng biến động LULC cả về trạng thái và không gian.

Kết quả của các nghiên cứu đã chứng minh việc áp dụng lý thuyết Markov để xây dựng và đưa ra dự báo xác suất về biến đổi lớp phủ, đồng thời sử dụng mô hình Cellular Automata để biểu diễn các con số toán học này về mặt phân bố không gian là hoàn toàn khả thi. Độ chính xác mô phỏng của mô hình phụ thuộc vào việc tính toán ma trận xác suất chuyển đổi các loại đất, và yêu cầu dự báo là xác suất xảy ra các thay đổi này là không thay đổi cho tới thời điểm dự báo, nhưng các nghiên cứu cũng đã kiểm chứng rằng với việc sử dụng ảnh viễn thám kết hợp các dữ liệu sử dụng đất có thời đoạn khoảng 20 năm để xây dựng mô hình mô phỏng kịch bản thảm phủ tương lai vẫn đạt được độ chính xác lên tới hơn 90% [116], [105], [87].

Cũng có thể thấy, các nghiên cứu về ứng dụng các mô hình đánh giá chế độ thủy văn đã rất phổ biến và có độ chính xác cao. Trong đó, có thể kể đến các mô hình đã được sử dụng như: Mô hình MARINE, SSARR, TANK, bộ mô hình MIKE,... Tuy nhiên, để đánh giá, mô phỏng mối quan hệ giữa đất và nước trong lưu vực, nổi bật nhất vẫn phải kể đến mô hình SWAT (Soil and Water Assessment Tool). SWAT cũng cho phép mô phỏng tác động của thay đổi dữ liệu đầu vào như sử dụng đất, quản lý đất đai và khí hậu. Với các ưu điểm như vậy, mô hình SWAT là rất phù hợp để mô phỏng, đánh giá dòng chảy của một lưu vực lớn như lưu vực sông Cả dưới tác động đồng thời của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu.

Tóm lại, các tài liệu trong và ngoài nước đều cho thấy, việc đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy là một vấn đề rất quan trọng đối với nước ta hiện nay. Và các kết quả nghiên cứu đều chỉ hướng về việc xây dựng mô hình mô phỏng sự thay đổi thảm phủ, đưa ra kịch bản thảm phủ tương lai bằng Markov-Cellular Automata và sử dụng mô hình SWAT đánh giá kết hợp tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy là phương án phù hợp để giải quyết bài toán Luận án đặt ra.

CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP LUẬN ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN DÒNG CHẢY LƯU VỰC SÔNG

Như đã nói ở trên, để đánh giá tác động của sự thay đổi thẩm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy cần giải quyết hai vấn đề là mô phỏng sự thay đổi thẩm phủ và mô phỏng dòng chảy dưới tác động của thay đổi thẩm phủ và biến đổi khí hậu. Chương này sẽ trình bày rõ ràng cơ sở khoa học và phương pháp được áp dụng để giải quyết hai vấn đề đó.

2.1. Phương pháp mô phỏng thẩm phủ dựa trên chuỗi Markov và hệ tự hành dạng tế bào Cellular Automata

2.1.1. Phân loại thẩm phủ

Các phương pháp phân loại thẩm phủ từ ảnh vệ tinh đã được nghiên cứu trong nhiều năm và phổ biến được chia thành hai loại chính: phân loại không giám sát (unsupervised classification) và phân loại có giám sát (supervised classification). Chúng là các phương pháp phân loại cô lập pixel dựa trên thông tin về phổ.

Phân loại không giám sát thì không bắt đầu với các mẫu huấn luyện. Thay vào đó, nhà phân tích chỉ định số lượng lớp mong muốn, sau đó máy tính tự động nhóm các pixel giống nhau về mặt thống kê thành các lớp phủ sử dụng thuật toán phân cụm (clustering) như: K-means, C-means, Kỹ thuật phân tích dữ liệu tự tổ chức lặp đi lặp lại (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique-ISODATA)... Quá trình phân cụm lặp đi lặp lại sẽ cho kết quả là các “lớp phủ” dần dần được gán nhãn và cuối cùng trở thành lớp phân loại có chứa thông tin về lớp phủ. Phân loại không giám sát thường đặc biệt hữu ích khi không có dữ liệu thực địa hoặc kiến thức trước đó về khu vực nghiên cứu. Một số nghiên cứu cũng đã sử dụng cách tiếp cận kết hợp giữa phân loại không giám sát, phân loại có giám sát và khảo sát thực địa [38].

Trong phân loại có giám sát, nhà phân tích lựa chọn các mẫu huấn luyện cho từng lớp phủ và sau đó sử dụng chúng để hướng dẫn máy tính xác định các khu vực có phổ tương đồng. Việc lựa chọn các mẫu huấn luyện có thể dựa trên việc thu thập

dữ liệu thực địa hoặc kiến thức chuyên môn. Các phương pháp phân loại có giám sát phổ biến nhất bao gồm: Xác suất cực đại (maximum likelihood), Song song (parallelepiped), Khoảng cách tối thiểu (minimum distance), Cây quyết định (decision tree), Rừng ngẫu nhiên (random forest)... Trong đó, phương pháp phân loại xác suất cực đại là phương pháp có phương sai thấp hơn các phương pháp khác, nghĩa là kết quả các ước tính ít chịu ảnh hưởng bởi các sai số trong tập mẫu, và quan trọng hơn cả là không thay đổi phương sai kể cả khi số lượng tập mẫu tăng [58]. Thêm vào đó, với bản chất là một phương pháp thống kê, phân loại xác suất cực đại có thể cung cấp các số liệu phục vụ phân tích thống kê như chuẩn sai, phân phối chuẩn, ước lượng khoảng tin cậy,... hỗ trợ hữu ích cho công tác mô phỏng thảm phủ tương lai trong luận án.

Do đó, phương pháp phân loại được sử dụng trong luận án là Phân loại xác suất cực đại (Maximum Likelihood Classification-MLC), một trong những phương pháp của phân loại có giám sát. Phương pháp này dựa trên một tập hợp các pixel mẫu nhất định và sau đó xác định các pixel có cùng đặc điểm quang phổ. Tiếp theo, Định lý Bayes được sử dụng để quyết định các pixel khác của cùng một lớp phủ. Định lý Bayes là công thức toán học để xác định xác suất có điều kiện của một sự kiện, dựa trên kết quả đã xảy ra trước đó của sự kiện [58].

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(A) \cdot P(B|A)}{P(B)} \quad [2.1]$$

$P(A)$ là xác suất xảy ra sự kiện A

$P(B)$ là xác suất xảy ra sự kiện B

$P(A|B)$ là xác suất xảy ra sự kiện A nếu sự kiện B xảy ra

$P(B|A)$ là xác suất xảy ra sự kiện B nếu sự kiện A xảy ra

$P(A \cap B)$ là xác suất xảy ra cả A và B

Cụ thể, trong bài toán phân loại lớp phủ, Phân loại xác suất cực đại MLC giả định rằng thống kê cho mỗi lớp trong mỗi band dải phủ được phân phối chuẩn và tính xác suất một pixel nhất định thuộc về một lớp phủ cụ thể. Tất cả các pixel đều được

phân loại trừ khi chọn ngưỡng xác suất. Mỗi pixel được gán cho lớp phủ có xác suất cao nhất. Mỗi pixel trong một ảnh được tính toán bằng hàm sau [58]:

$$g_i(x) = \ln \rho(\omega_i) - \frac{1}{2} \cdot \ln |\Sigma i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \Sigma i^{-1} (x - m_i) \quad [2.2]$$

Trong đó:

i là lớp phủ thứ i

x là dữ liệu n -chiều (n là số band ảnh)

$\rho(\omega_i)$ là xác suất để lớp phủ (ω_i) xuất hiện trong ảnh và được giả định là giống nhau cho tất cả các lớp phủ

$|\Sigma i|$ là ma trận hiệp phương sai của dữ liệu trong lớp phủ (ω_i)

Σi^{-1} là ma trận nghịch đảo của $|\Sigma i|$

m_i là giá trị trung bình vector

Nguyên tắc MLC cũng có thể được tìm thấy trong các nghiên cứu của Foody và Strahler [58], [111], [100], [36]. Đây là phương pháp phân loại ảnh được sử dụng phổ biến và cho độ chính xác phân loại thảm phủ tương đối cao.

Trong luận án, dữ liệu Landsat được phân loại với phương pháp xác suất cực đại và một số dữ liệu phụ trợ (ví dụ: DEM, dữ liệu sử dụng đất, chỉ số thảm thực vật và dữ liệu phân tích hình ảnh của ảnh Landsat) được kết hợp thông qua ý kiến chuyên gia để cải thiện độ chính xác của phân loại.

2.1.2. Mô phỏng, dự tính biến động trạng thái thảm phủ bằng phân tích chuỗi Markov

Mô phỏng biến động và dự báo thảm phủ đã được nghiên cứu trong nhiều năm, mặc dù đã có nhiều tiến bộ về cả lý thuyết và thực nghiệm nhưng cải thiện độ chính xác dự báo luôn là thách thức đối với các nhà khoa học không chỉ trong nước mà còn cả với các nhà khoa học trên thế giới, bởi lẽ một mô hình dự báo chuỗi thời gian cần thiết phải có sự kết nối, cập nhật dữ liệu tương lai với dữ liệu lịch sử, xây dựng được mô hình phụ thuộc giữa giá trị dữ liệu tại thời điểm t với giá trị tại các thời điểm trước đó $t-1, t-2, \dots$. Nếu xây dựng quan hệ $X_t - \alpha_1 X_{t-1} - \alpha_2 X_{t-2} - \dots - \alpha_{p'} X_{t-p'} = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q}$ ta được mô hình hồi quy tuyến tính ARIMA [78]. Tuy nhiên,

thực tế nhiều chuỗi thời gian không biến đổi tuyến tính, một trong số đó là biến đổi thảm phủ. Còn có một số mô hình dự báo chuỗi thời gian phi tuyến tính, tuy nhiên các mô hình này phải giả sử dữ liệu tuân theo phân phối chuẩn. Một lựa chọn khác là dự báo dựa trên mô hình mạng thần kinh nhân tạo ANN, trong đó đáng chú ý là phương pháp vector học máy thường được sử dụng trong bài toán phân lớp và dự báo, tuy nhiên hạn chế lớn nhất của phương pháp này là khi tập đào tạo lớn, lượng tính toán là vô cùng khổng lồ cũng như độ phức tạp của bài toán hồi quy tuyến tính. Để khắc phục các hạn chế đó, hướng tiếp cận gần đây là xây dựng các mô hình kết hợp (hay còn gọi là mô hình lai), nhằm kết hợp các phương pháp mô hình để nâng cao độ chính xác của dự báo [49]. Trong đó mô hình sử dụng chuỗi Markov được sử dụng rất nhiều để kết hợp cùng các mô hình phi tuyến tính khác (trong luận án là mô hình Cellular Automata) và cho ra độ chính xác dự báo cao hơn việc chỉ sử dụng đơn lẻ một mô hình.

Phân tích chuỗi Markov (hay còn gọi là quá trình Markov) là quá trình chuyển đổi ngẫu nhiên của một hệ thống (trong trường hợp này là hệ thống thảm phủ sông Că) 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 [60], [80]. Ma trận xác suất chuyển đổi được tính toán bằng cách giả định rằng các phân bố xác suất tới trạng thái tiếp theo chỉ phụ thuộc vào trạng thái hiện tại, chứ không phụ thuộc vào trạng thái trước đó của hệ thống [117]. Trong nghiên cứu này, ma trận xác suất dựa trên khả năng chuyển đổi giữa các lớp thảm phủ vào các năm 2005, 2010 và 2015 và sau đó được sử dụng để dự tính thảm phủ vào năm 2030. 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 thảm phủ i chuyển đổi thành thảm phủ j từ năm bắt đầu đến năm kết thúc và n là số lớp thảm phủ [60].

Ma trận xác suất chuyển đổi thỏa mãn hai điều kiện: (1) giá trị xác suất P_{ij} luôn lớn hơn hoặc bằng 0, nhỏ hơn hoặc bằng 1, (2) tổng giá trị xác suất P_{ij} từ 1 đến

Như bảng 1. 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 thảm phủ đạt trạng thái ổn định trong tương lai. Luận án sử dụng mô hình chuỗi Markov để dự báo thảm phủ tương lai của 5 loại thảm 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 Đất rừng, nn là Đất nông nghiệp, nc là Vùng nước, dt là lớp phủ Đất trống, xd là đất Đất xây dựng, P' là xác suất tại thời điểm $t+1$, P là xác suất tại thời điểm ban đầu của dự báo.

Cho đến nay, phân tích chuỗi Markov đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới trong các ngành, lĩnh vực, đặc biệt là các dự báo theo chuỗi thời gian. Tuy nhiên, tại Việt Nam, việc ứng dụng chuỗi Markov để giải quyết các bài toán dự báo là chưa nhiều, có thể tìm thấy trong một vài nghiên cứu toán học như: (Kỳ, 2017) ứng dụng chuỗi Markov dự báo thị trường chứng khoán, hoặc nghiên cứu của Trần Văn Lý, 2019 sử dụng chuỗi Markov để dự báo giá cổ phiếu. Trong xây dựng kịch bản thảm phủ tương lai trên thế giới có nhiều tác giả như: [116], [66], [105], [87], [67], [54],... đã ứng dụng chuỗi Markov để dự báo thảm phủ; trong nước gần đây đã có một số tác giả như Trương Chí Quang và nnk [21] mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất các tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long, dự báo biến động rừng tự nhiên lá rộng thường xanh ở Bắc Trung Bộ, dự báo biến động lớp phủ mặt đất sử dụng chuỗi Markov tại Hải Phòng, dự báo biến động đất đô thị nội thành Hà Nội sử dụng mô hình lai Markov-Cellular Automata.

Có thể nhận thấy việc xây dựng mô hình mô phỏng Markov trong việc mô phỏng biến động thảm phủ và đưa ra các kịch bản thảm phủ tương lai tuy còn ít được

áp dụng ở Việt Nam nhưng đã phổ biến trên thế giới. Một ưu điểm nổi bật của mô hình này là khả năng dự báo được các thay đổi của thảm phủ có thể xảy ra trong tương lai bao hàm cả các biến động thảm phủ tự nhiên và các thay đổi do con người trong sử dụng đất theo phương pháp xác suất. Các nghiên cứu trong và ngoài nước đều đã thành công trong việc áp dụng lý thuyết Markov để xây dựng và đưa ra dự báo xác suất về biến đổi lớp phủ. Tuy việc xây dựng mô hình này rất phức tạp và độ chính xác mô phỏng của mô hình phụ thuộc vào việc tính toán ma trận xác suất chuyển đổi các loại đất, và yêu cầu dự báo là xác suất xảy ra các thay đổi này là không thay đổi cho tới thời điểm dự báo, nhưng các nghiên cứu này cũng đã kiểm chứng rằng với việc sử dụng ảnh viễn thám kết hợp các dữ liệu sử dụng đất có thời đoạn khoảng 20 năm để xây dựng mô hình mô phỏng kịch bản thảm phủ tương lai có thể đạt được độ chính xác lên tới hơn 90%.

2.1.3. Mô phỏng biến động thảm phủ theo không gian bằng hệ tự hành dạng tế bào Cellular Automata

Như đã nói ở trên, tuy các mô hình ứng dụng phân tích chuỗi Markov thể hiện sự ưu việt trong việc xác định định lượng các thay đổi thảm phủ giữa hai khoảng thời gian, nhưng mô hình Markov không thể cung cấp sự phân bố theo không gian của các lần chuyển đổi lớp thảm phủ [39]. Do đó, để biểu diễn các thay đổi về thảm phủ trong tương lai theo không gian, mô hình Cellular Automata (CA) được áp dụng. Mô hình Markov cho biết chính xác số lượng các pixel chuyển đổi từ lớp phủ này sang lớp phủ khác, mô hình CA định vị các phân bố và vị trí không gian của từng pixel đó.

Khái niệm Cellular Automata do Von Neumann và Ulam đưa ra lần đầu tiên vào những năm 1940 trong lĩnh vực khoa học máy tính. Nhưng tại thời điểm đó, do hạn chế về tốc độ tính toán của máy tính nên việc áp dụng khái niệm này chưa hoàn toàn thành công. Đầu thập kỷ 1950, CA bắt đầu được nghiên cứu như là một phương pháp khả thi trong việc mô phỏng hệ sinh thái.

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 là một trong những phương pháp

được ưa chuộng vì nó cho kết quả rõ ràng về mặt không gian dựa theo các quy tắc chuyển đổi được định nghĩa bởi người dùng [36]. Một hệ CA chứa các ô không gian riêng rẽ, trong đó mỗi ô đều có các trạng thái đặc trưng. Moreno, Wang, & Marceau 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 [86]. 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:

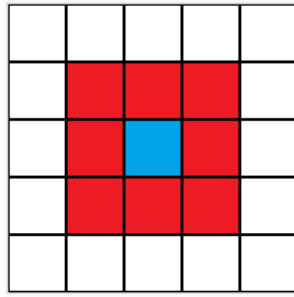
$$A = [L, Q, \Delta, f] \quad [2.5]$$

Mỗi ô của lưới L sẽ thay đổi trạng thái của chúng theo các bước thời gian rời rạc. Các ô có thể được kết nối theo nhiều cách khác nhau, trong trường hợp đơn giản nhất là chúng được kết nối hình học theo trật tự không gian, ví dụ như lưới grid một chiều, hoặc hai chiều, hoặc lục giác. Mỗi ô được đánh số là $s \in I$, trong đó I là tập hợp các ô đã được đánh số.

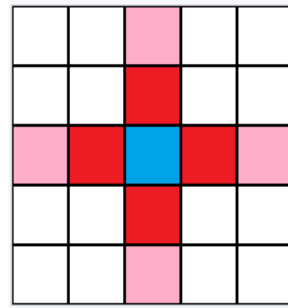
Thông thường, các ô là đồng bộ, tức là tất cả các ô đều thay đổi trạng thái một cách đồng thời. Trạng thái của một ô thì phụ thuộc vào vùng lân cận Δ (các ô xung quanh) của nó và quy tắc chuyển đổi f tương ứng. Đối với CA 1 chiều, vùng lân cận có ô trung tâm và hai ô xung quanh. Đối với CA hai chiều thì Von Neumann cho rằng vùng lân cận bao gồm ô trung tâm và 4 ô xung quanh, còn theo quan điểm của Moore thì cho rằng vùng lân cận gồm ô trung tâm và 8 ô xung quanh. Hiện nay, theo Li. S. Z., thống nhất gọi vùng lân cận Von Neumann là “bậc một” và vùng lân cận Moore là “bậc hai” [79]. 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 .



Vùng lân cận Moore



Vùng lân cận Von Neumann

Hình 2.1. Định nghĩa vùng lân cận trong CA 2 chiều

CA được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng, ví dụ như: mô hình hóa sự khuếch tán trong không gian của các phản ứng hóa học, sự phát triển của các hạt... nhưng cũng thường xuyên được sử dụng để mô hình hóa các hệ thống tự nhiên và sinh thái [118]. Tuy nhiên, mối quan tâm hàng đầu trong mô hình CA là việc định nghĩa được các quy tắc chuyển đổi f phù hợp dựa trên các dữ liệu huấn luyện [35]. Luận án sẽ trình bày chi tiết việc xây dựng các quy tắc chuyển đổi f này trong phần kết quả.

2.1.4. Kiểm định kết quả phân loại và mô phỏng

a) Kiểm định kết quả phân loại tham phủ

Ma trận sai số

Phép đo được gọi là “tỷ lệ phần trăm các trường hợp được phân bổ chính xác” lấy từ ma trận sai số đã được sử dụng để đo độ chính xác của phân loại. Độ chính xác của từng lớp có thể được rút ra từ ma trận bằng cách liên hệ số trường hợp được phân bổ chính xác cho lớp với tổng số trường hợp của lớp đó (Hình 2.2). Điều này dẫn đến hai khái niệm: độ chính xác của người dùng và độ chính xác của nhà sản xuất. Độ chính xác của người dùng cung cấp thông tin về độ chính xác của dữ liệu LULC so với dữ liệu thực tế. Độ chính xác của nhà sản xuất cho biết tỷ lệ phần trăm mẫu của một loại cụ thể (quy chiếu) đã được phân loại

Phân	Phân loại thực tế					với n_{ij} đại diện cho tỷ lệ của lớp i dự
	A	B	C	D	Σ	
	A	n_{AA}	n_{AB}	n_{AC}	n_{AD}	n_{A+}

B	n_{BA}	n_{BB}	n_{BC}	n_{BD}	n_{B+}	đoán và lớp j
C	n_{CA}	n_{CB}	n_{CC}	n_{CD}	n_{C+}	thực tế
D	n_{DA}	n_{DB}	n_{DC}	n_{DD}	n_{D+}	
Σ	n_{+A}	n_{+B}	n_{+C}	n_{+D}	n	
Độ chính xác người dùng = $\frac{n_{ii}}{n_{i+}}$						
Độ chính xác nhà sản xuất = $\frac{n_{ii}}{n_{+i}}$						

Hình 2.2. Ma trận sai số

Trên thực tế các phương pháp phân loại với độ chính xác người dùng và sản xuất trên 70% là chấp nhận được.

b) Kiểm định mô hình mô phỏng biến động tham phủ

Hệ số Cohen's kappa

Để lựa chọn mô hình cho luận án, chúng ta cần so sánh kết quả dự tính của mô hình với bản đồ tương tự và đáng tin cậy sử dụng hệ số Kappa.

Hệ số Cohen's kappa được sử dụng và công nhận như một thước đo tiêu chuẩn về độ chính xác của phân loại. Kappa tính đến tỷ lệ kỳ vọng và điều chỉnh tỷ lệ phần trăm đúng bằng cách trừ đi phần đóng góp ước tính của tỷ lệ kỳ vọng. Định nghĩa của Kappa (k) là [48]:

$$k = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e} \quad [2.7]$$

trong đó p_o là tỷ lệ quan sát đúng, p_e là tỷ lệ kỳ vọng đúng do thay đổi.

Hệ số Kappa $K < 0,7$ thường không tốt và $K > 0,8$ là độ tin cậy tốt.

2.2. Phương pháp Delphi xác định các tác nhân mô phỏng sự thay đổi tham phủ về không gian

Phương pháp Delphi là một quá trình tham vấn lặp đi lặp lại được thiết kế để đạt được sự đồng thuận giữa một nhóm các chuyên gia về một chủ đề cụ thể. Phương pháp này đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều nghiên cứu [72], [80], [88], [110],... và thường được sử dụng để xây dựng những bộ chỉ số, tiêu chí mới hoặc không tồn tại các tiêu chí chuẩn để đánh giá.

Điểm đặc biệt của phương pháp này là việc chọn các chuyên gia tương đồng nhau về lĩnh vực và chuyên môn, từ đó đảm bảo được sự thống nhất trong kết quả. Các chuyên gia trả lời bảng câu hỏi trong hai hoặc nhiều vòng. Sau mỗi vòng, các chuyên gia được cung cấp một bản tóm tắt ẩn danh về quyết định của các chuyên gia trong vòng trước cũng như lý do họ đưa ra cho các quyết định đó. Theo đó, các chuyên gia được khuyến khích sửa đổi các câu trả lời trước đó của họ dựa trên câu trả lời của các thành viên khác. Trong quá trình đó, phạm vi của các câu trả lời sẽ giảm dần và hội tụ về phía câu trả lời “đúng”. Cuối cùng, quá trình được dừng lại sau một tiêu chí dừng được quy định trước (ví dụ như: số vòng, độ đồng thuận, tính ổn định của kết quả) và điểm trung bình của các vòng cuối sẽ xác định kết quả.

Các nghiên cứu về phương pháp Delphi đã cho thấy số vòng khảo sát không có sự khác biệt lớn, chủ yếu là từ 1 đến 3 vòng. Tuy nhiên, số lượng chuyên gia được lựa chọn thì có sự khác biệt: từ vài cho đến hàng trăm chuyên gia [110]. Ví dụ, nghiên cứu của Hartman và Baldwin (1995) có sự tham gia của 28 chuyên gia và 1 vòng khảo sát; còn nghiên cứu của Kuo và Yu (1999) cũng là 1 vòng nhưng với 62 chuyên gia; trong khi Roberson và các cộng sự (2005) thực hiện Delphi 3 vòng và 171 chuyên gia; Lam và các cộng sự (2000) cũng 3 vòng nhưng chỉ với 3 chuyên gia, v.v... Những ví dụ này đã khẳng định thêm rằng Delphi có thể được điều chỉnh tùy từng điều kiện và vấn đề nghiên cứu cụ thể.

Tùy thuộc vào các nghiên cứu khác nhau sẽ có những cách tiếp cận Delphi khác nhau, tuy nhiên đa số phương pháp Delphi thường được tiếp cận theo 8 bước như sau:

Bước 1: Xây dựng một nhóm thực hiện Delphi.

Bước 2: Lựa chọn đội ngũ chuyên gia liên quan tới quá trình Delphi.

Bước 3: Xây dựng bộ chỉ số, các câu hỏi.

Bước 4: Áp dụng phương pháp Delphi vòng 1.

Bước 5: Phân tích các đáp án vòng 1. Sau khi nhận được các đáp án từ các chuyên gia, nhóm Delphi sẽ tiến hành tổng hợp và phân tích kết quả dựa vào nguyên

tắc KAMET (Knowledge Acquisition for Multiple Experts with Time scales). Nguyên tắc KAMET đưa ra mức độ đánh giá quan trọng của mỗi chỉ số (q_i) ở từng giai đoạn khác nhau trên cơ sở đánh giá tổ hợp các giá trị thống kê bao gồm Trung vị (M_{q_i}); Độ lệch tứ phân vị (Q_{q_i}); Giá trị trung bình (M_{q_i}) và Phương sai (V_{q_i}).

Bước 6: Áp dụng phương pháp Delphi vòng 2. Các bảng câu hỏi sau khi đã loại các chỉ số hay câu hỏi không thỏa mãn nguyên tắc KAMET ở vòng trước được phân phối tới từng chuyên gia để tham vấn ý kiến đồng thuận và đánh giá mức độ ổn định trong câu trả lời của các thành viên.

Bước 7: Phân tích các đáp án vòng 2. Tương tự như vòng 1, sau khi thu được các đáp án từ các chuyên gia, nhóm Delphi lại tiến hành phân tích dựa vào nguyên tắc KAMET. Các giá trị thống kê bao gồm Trung vị (M_{q_i}); Độ lệch tứ phân vị (Q_{q_i}); Giá trị trung bình (M_{q_i}) và Phương sai (V_{q_i}) được tính toán lại ở bước này.

Bước 8: Phân tích và tổng hợp kết quả

Bảng 2.1. Quy tắc KAMET phân tích đánh giá từ các chuyên gia sử dụng phương pháp Delphi

Điều kiện	Vòng t	Vòng $t+1$
1	Nếu $M_{q_i} \geq 3,5$ và $Q_{q_i} \leq 0,5$ và $V_{q_i} < 15\%$ thì q_i được chấp nhận và không cần phải tham vấn q_i nữa	
2	Nếu $M_{q_i} \geq 3,5$ và $V_{q_i} > 15\%$ thì thực hiện vòng 2	$M_{q_i} \geq 3,5$ và $Q_{q_i} \leq 0,5$ và $V_{q_i} < 15\%$ thì q_i được chấp nhận và không cần phải tham vấn q_i nữa
3	Nếu $M_{q_i} \geq 3,5$ và $Q_{q_i} \geq 75\%$ thì thực hiện vòng 2	$M_{q_i} \geq 3,5$ và $Q_{q_i} \leq 0,5$ và $V_{q_i} < 15\%$ thì q_i được chấp nhận và không cần phải tham vấn q_i nữa
4	Nếu $M_{q_i} < 3,5$ và $Q_{q_i} \leq 0,5$ và $V_{q_i} \leq 15\%$ thì q_i bị loại và không cần phải tham vấn q_i thêm nữa	

Nguồn: [80]

Trong luận án, phương pháp Delphi sẽ được sử dụng để xác định các tác nhân chính ảnh hưởng đến sự thay đổi thảm phủ về mặt không gian cũng như mức độ ưu tiên của các tác nhân.

2.3. Phương pháp đánh giá định lượng tác động của biến động thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông

2.3.1. Mô phỏng dòng chảy lưu vực bằng mô hình SWAT

Để mô hình hóa các quá trình mưa – dòng chảy, có thể sử dụng nhiều phương pháp. Các phương pháp này có thể sử dụng để giải đáp các mục tiêu thủy văn khác nhau như: vận hành thủy văn, lũ lụt, hạn hán hoặc mô hình hóa lan truyền ô nhiễm. Một trong những bước đầu tiên để giải quyết vấn đề là lựa chọn mô hình phù hợp với mục tiêu thủy văn cụ thể. Lựa chọn mô hình theo dữ liệu mà mô hình cần, mục tiêu (ví dụ như yêu cầu dự báo hoặc mô hình hóa các kịch bản thảm họa), kích thước lưu vực, kết hợp với GIS hoặc các phần mềm khác để tập hợp, phân tích hoặc biểu diễn dữ liệu và kết quả, cũng như tham khảo, hỗ trợ và giá cả. Với nhiều lưu vực lớn (trên 100 km²) có thể được kết hợp hiệu quả với mô đun diễn toán để tính toán quá trình sóng lũ.

Mô hình đánh giá đất và nước SWAT (Soil and Water Assessment Tools) được phát triển bởi Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA) vào đầu những năm 90 của thế kỷ XX [113]. SWAT do tiến sỹ Jeff Arnold ở trung tâm phục vụ nghiên cứu nông nghiệp (ARS – Agricultural Research Service) xây dựng. Thuộc bộ nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA – United States Department of Agriculture).

Mô hình SWAT được viện nghiên cứu nông nghiệp USDA phát triển liên tục. Phiên bản đầu tiên của SWAT là mô hình USDAARS bao gồm chất hóa học, dòng chảy và xói mòn từ mô hình hệ thống quản lý nông nghiệp (CREAMS), tác động lượng nước ngầm trong mô hình hệ thống quản lý nông nghiệp (GLEAMS), và mô hình khí hậu chính sách tác động môi trường (EPIC) - tính toán tác động hiệu suất xói mòn. Mô hình SWAT hiện tại là phiên bản tiếp theo của tính toán tài nguyên nước trong mô hình lưu vực SWRRB - tính toán tác động của quản lý lưu vực đối với chuyển động của nước, bùn cát. Trải qua quá trình nâng cấp mô hình tăng diện tích tính toán, cải thiện các phương pháp tính tốc độ dòng chảy lũ, tổn thất truyền, thêm vào một vài thành phần mới như dòng chảy nhập lưu, bể chứa, mô đun phát triển vụ mùa EPIC, tính các thông số khí hậu, và vận chuyển bùn cát, kết hợp thành phần

thuốc trừ sâu, phương pháp USDA – SCS để ước tính tốc độ dòng chảy lũ, các phương trình bùn cát được phát triển thêm. Các biến đổi này mở rộng khả năng của mô hình giải quyết các vấn đề quản lý chất lượng nước lưu vực.

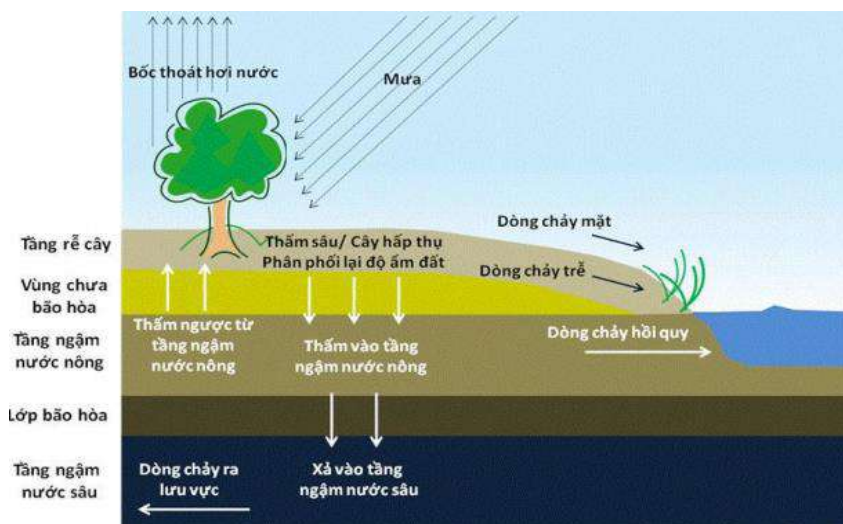
Arnold và các cộng sự đã phát triển thêm mô đun diễn toán ROTO đầu thập niên 90 để hỗ trợ đánh giá tác động của quản lý tài nguyên nước, bằng liên kết kết quả đầu ra của SWRRB, diễn toán dòng chảy qua lòng dẫn và bể chứa trong ROTO thông qua phương pháp diễn toán theo đoạn sông. Hệ phương pháp này đã khắc phục được giới hạn của SWRRB. Sau đó SWRRB và ROTO được kết hợp thành một mô hình SWAT để hạn chế nhược điểm cồng kềnh của nó. SWAT giữ lại tất cả các đặc trưng mà tạo ra trong SWRRB và cho phép tính toán với khu vực rất lớn.

SWAT đã trải qua quá trình đánh giá, mở rộng khả năng kể từ khi nó được tạo ra vào đầu thập niên 90. Những nâng cấp quan trọng cho các phiên bản trước của mô hình (SWAT 94.2, 96.2, 98.1, 99.2, và 2000) bao gồm sự kết hợp diễn toán động học trong sông từ mô hình QUAL2E.

Mô hình được xây dựng nhằm đánh giá và dự tính các tác động của thực tiễn quản lý đất đai đến nguồn nước, lượng bùn và lượng hóa chất trong nông nghiệp sinh ra trên một lưu vực rộng lớn và phức tạp với sự không ổn định về các yếu tố như đất, sử dụng đất và điều kiện quản lý trong một thời gian dài.

Mô hình SWAT đã được chứng minh là một công cụ hiệu quả để đánh giá tài nguyên nước và ô nhiễm với phạm vi lớn và các điều kiện môi trường trên toàn cầu. Mô hình SWAT được xây dựng để đánh giá tác động của việc sử dụng đất, của hiện tượng xói mòn và việc sử dụng hoá chất trong nông nghiệp trên một hệ thống lưu vực sông. Trong quá trình tính toán dòng chảy, mô hình đã sử dụng phương pháp tính bốc hơi (theo Penman-Monteith, Priestley-Taylor, Hardgreve), diễn toán dòng chảy theo phương pháp Muskingum, các phương pháp diễn toán chất lượng nước. Xét về toàn lưu vực thì mô hình SWAT là một mô hình bán phân bố. Mô hình này chia dòng chảy thành 3 pha: pha mặt đất, pha dưới mặt đất (sát mặt, ngầm) và pha trong sông. Việc mô tả các quá trình thủy văn được chia làm hai phần chính:

Phần thứ nhất: Được gọi là pha đất của chu trình thủy văn hay còn gọi là mô hình thủy văn. Kiểm soát lượng nước, phù sa, dinh dưỡng và thuốc trừ sâu được đưa từ trong mỗi tiểu lưu vực ra sông chính.



Nguồn: [113]

Hình 2.3. Sơ đồ vòng tuần hoàn thủy văn đất

Phần thứ hai: Được gọi là pha nước hay pha diễn toán của chu trình thủy văn hay còn gọi là mô hình diễn toán. Kiểm soát quá trình di chuyển của dòng nước, quá trình bồi lắng...diễn ra thông qua hệ thống sông ngòi của lưu vực đến cửa xả.



Nguồn: [113]

Hình 2.4. Sơ đồ các quá trình diễn ra trong dòng chảy

Pha đất của chu trình thủy văn

SWAT mô hình hóa chu trình nước dựa trên cơ sở phương trình cân bằng nước sau [113]:

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

Trong đó:

SW_t : Là 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);

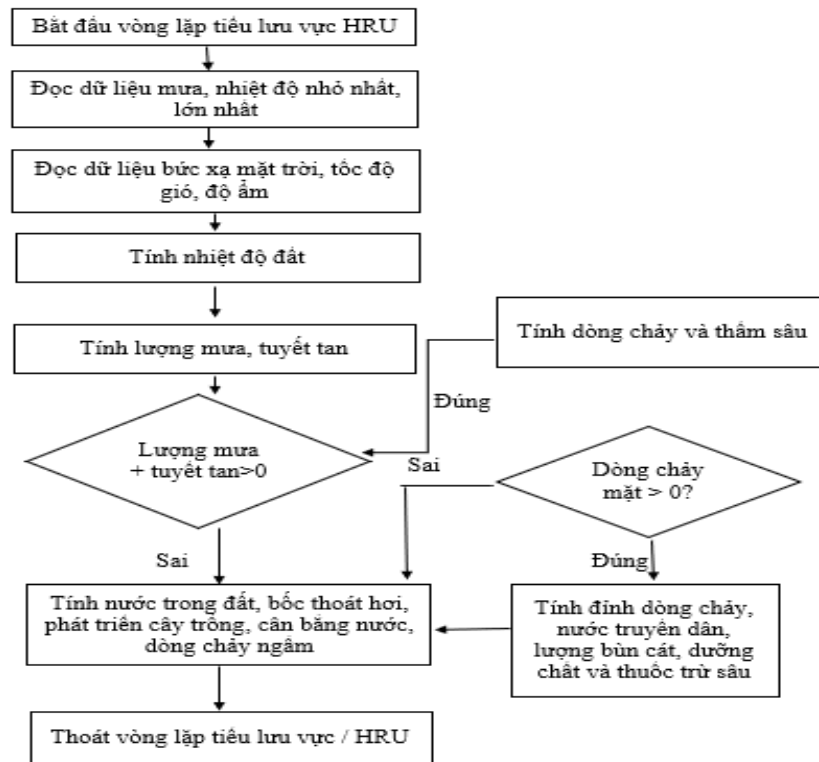
Q_{surf} : Là tổng lượng nước mặt của ngày thứ i (mm);

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).

Việc phân chia lưu vực nghiên cứu thành các lưu vực nhỏ cho phép mô hình thể hiện được sự khác nhau về lượng bốc thoát nước đối với các loại cây trồng và loại đất khác nhau. Dòng chảy tràn trên mặt đất (runoff) được mô phỏng riêng cho từng đơn vị đồng nhất thủy văn (HRU) và tính truyền lũ để thu được tổng dòng chảy tràn mặt đất cho toàn bộ lưu vực. Điều này làm tăng độ chính xác của mô hình và biểu thị tốt hơn phương trình cân bằng nước về mặt vật lý.



Hình 2.5. Vòng tính toán cho HRU/lưu vực con

Pha nước của chu trình thủy văn

Một khi SWAT xác định được nguồn tải là nước, bùn cát, dinh dưỡng hay thuốc trừ sâu vào trong dòng chính thì tải trọng những chất này được tính truyền thẳng theo mạng lưới sông ngòi của lưu vực. Ngoài dòng chảy khối lượng trong dòng chính, SWAT còn mô phỏng biến chuyển của các chất hóa học trong dòng nước và trong lớp bùn lắng đáy dòng.

Mô hình SWAT sử dụng phương pháp hiệu đường cong số SCS (1972) và phương trình thấm Green - Ampt (1911) để tính toán dòng chảy mặt. Phương pháp đường cong số chỉ cần lượng mưa theo ngày, trong khi đó phương pháp Green Ampt yêu cầu lượng mưa theo giờ. Do vậy, để phù hợp với dữ liệu hiện có trong Luận án chỉ đề cập đến phương pháp đường cong số.

Phương trình lưu lượng SCS là phương trình thực nghiệm được sử dụng phổ biến trong những năm 1950. Phương pháp này đánh giá tổng lượng dòng chảy ứng với các kiểu sử dụng đất và tính chất đất khác nhau. Trong phương pháp đường cong SCS, giá trị chỉ số đường cong biến đổi phi tuyến tính với độ ẩm đất. Giá trị trị số

đường cong giảm xuống khi độ ẩm đất có giá trị gần bằng độ ẩm cây héo và tăng đến gần 100 khi độ ẩm đất đạt được giá trị gần bằng độ ẩm bão hòa. Phương trình chỉ số đường cong SCS:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{R_{day} - I_a + S} \quad [2.9]$$

Trong đó :

- Q_{surf} : Là lượng dòng chảy mặt hay mưa hiệu quả (mm);
- R_{day} : Là lượng mưa ngày (mm);
- I_a : Là khả năng trữ nước ban đầu (mm);
- S : Là thông số lượng trữ (mm).

Thông số lượng trữ thay đổi theo không gian tùy theo những sự thay đổi về tính chất đất, việc sử dụng và quản lý đất, độ dốc và thời gian. Thông số này được xác định như sau:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) (a) \quad [2.10]$$

Trong đó: CN là chỉ số đường cong.

Thông thường $I_a = 0,2S$ và phương trình (a) được viết như sau:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2.S)^2}{(R_{day} - 0.8.S)} \quad [2.11]$$

2.3.2. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SWAT

a) Hệ số hiệu quả Nash-Sutcliffe

Hệ số hiệu quả của mô hình Nash – Sutcliffe (NSE) được sử dụng để đánh giá kỹ năng dự báo của các mô hình thủy văn. Nó được định nghĩa như sau:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_m^t - Q_0^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \overline{Q_0})^2} \quad [2.12]$$

trong đó $\overline{Q_0}$ là giá trị trung bình của lưu lượng dòng chảy quan trắc, và Q_m là lưu lượng dòng chảy mô phỏng. Q_0^t là lưu lượng dòng chảy quan trắc tại thời điểm t [89].

Hiệu quả Nash-Sutcliffe được tính bằng một trừ đi tỷ lệ phương sai lỗi của chuỗi thời gian được mô hình hóa chia cho phương sai của chuỗi thời gian quan sát được. Trong trường hợp mô hình hoàn hảo với phương sai lỗi ước lượng bằng 0, thì

hệ số hiệu quả Nash – Sutcliffe có kết quả bằng 1 ($NSE=1$). Ngược lại, một mô hình tạo ra phương sai lỗi ước tính bằng với phương sai của chuỗi thời gian quan trắc thì hệ số hiệu quả Nash – Sutcliffe là 0,0 ($NSE=0$). Trong thực tế, $NSE=0$ chỉ ra rằng mô hình có cùng kỹ năng dự báo với giá trị trung bình của chuỗi thời gian về tổng sai số bình phương. Trong trường hợp chuỗi thời gian được mô hình hóa có phương sai lỗi ước tính lớn hơn đáng kể so với phương sai của giá trị quan trắc, thì NSE sẽ trở thành số âm. Hệ số nhỏ hơn 0 ($NSE<0$) xảy ra khi trung bình giá trị quan trắc tốt hơn so với giá trị dự báo từ mô hình. Mô hình có giá trị của NSE càng gần bằng 1 nghĩa là mô hình càng có khả năng dự báo tốt hơn. Khi áp dụng hệ số hiệu quả NSE trong các phương trình hồi quy (tức là khi tổng bình phương có thể được phân chia thành các thành phần lỗi và hồi quy), hệ số hiệu quả Nash – Sutcliffe sẽ tương đương với hệ số R bình phương (R^2), do đó nằm trong khoảng từ 0 đến 1.

Trong một số trường hợp như hiệu chỉnh tự động hoặc học máy (machine learning) thì giới hạn dưới của NSE là âm vô cùng ($-\infty$) có thể gây lỗi. Khi đó cần phải chuẩn hoá hệ số hiệu quả NSE (Normalized Nash–Sutcliffe Efficiency $NNSE$) nằm trong khoảng từ 0 đến 1 bằng phương trình sau [89]:

$$NNSE = \frac{1}{2 - NSE} \quad [2.13]$$

Trong đó, $NSE=1$ tương ứng với $NNSE=1$, $NSE=0$ tương ứng với $NNSE=0,5$ và $NSE=-\infty$ tương ứng với $NNSE=0$.

Hệ số hiệu quả Nash – Sutcliffe được sử dụng để định lượng độ chính xác kết quả của mô hình mô phỏng lưu lượng. Tuy nhiên, hệ số này cũng có thể được sử dụng để định lượng độ chính xác dự báo của các mô hình khác miễn là có dữ liệu quan trắc để so sánh với kết quả mô hình. Hệ số hiệu quả Nash – Sutcliffe được sử dụng cho các mô hình mô phỏng lưu lượng, mô hình mô phỏng chất lượng nước như lượng trầm tích, nitơ và photpho.

b) Hệ số xác định R bình phương

Trong thống kê, hệ số xác định R bình phương (R^2) là thước đo trong mô hình hồi quy tuyến tính đa biến và là tỷ lệ của phương sai trong biến phụ thuộc được dự

đoán từ một hoặc nhiều biến độc lập. Nói cách khác, R bình phương cho thấy mức độ phù hợp của dữ liệu với mô hình hồi quy.

Công thức tính hệ số R bình phương xuất phát từ ý tưởng: toàn bộ sự biến thiên của biến phụ thuộc được chia làm hai phần: phần biến thiên do hồi quy và phần biến thiên không do hồi quy (còn gọi là phần dư):

$$R^2 = 1 - \left(\frac{ESS}{TSS} \right) \quad [2.14]$$

Trong đó, RSS (Regression Sum of Squares) là tổng các độ lệch bình phương giải thích từ hồi quy; ESS (Residual Sum of Squares) là tổng các độ lệch bình phương phần dư; TSS (Total Sum of Squares) là tổng các độ lệch bình phương toàn bộ.

Giá trị R bình phương dao động từ 0 đến 1. R bình phương càng gần 1 thì mô hình đã xây dựng càng phù hợp với bộ dữ liệu dùng chạy hồi quy. R bình phương càng gần 0 thì mô hình đã xây dựng càng kém phù hợp với bộ dữ liệu dùng chạy hồi quy. Trường hợp đặc biệt, phương trình hồi quy đơn biến (chỉ có 1 biến độc lập) thì R^2 chính là bình phương của hệ số tương quan r giữa hai biến đó.

Tuy nhiên, càng đưa thêm nhiều biến vào mô hình, mặc dù chưa xác định biến đưa vào có ý nghĩa hay không thì giá trị R^2 vẫn sẽ tăng. Lý do là khi càng đưa thêm biến giải thích vào mô hình thì sẽ càng khiến phần dư giảm xuống (vì bản chất những gì không giải thích được đều nằm ở phần dư), do vậy tăng thêm biến sẽ khiến tổng bình phương phần dư (Residual Sum of Squares) giảm, trong khi Total Sum of Squares không đổi, dẫn tới R^2 luôn luôn tăng.

Giá trị R^2 tăng khả năng giải thích của mô hình, nhưng bản chất thì lại không làm rõ được tầm quan trọng của biến đưa vào, do đó nếu dựa vào giá trị R^2 để đánh giá tính hiệu quả của mô hình sẽ dẫn đến tình huống không chính xác vì sẽ đưa quá nhiều biến không cần thiết, làm phức tạp mô hình. Vì vậy, một hệ số khác về mức độ thích hợp được sử dụng thường xuyên hơn đó là hệ số R^2 hiệu chỉnh.

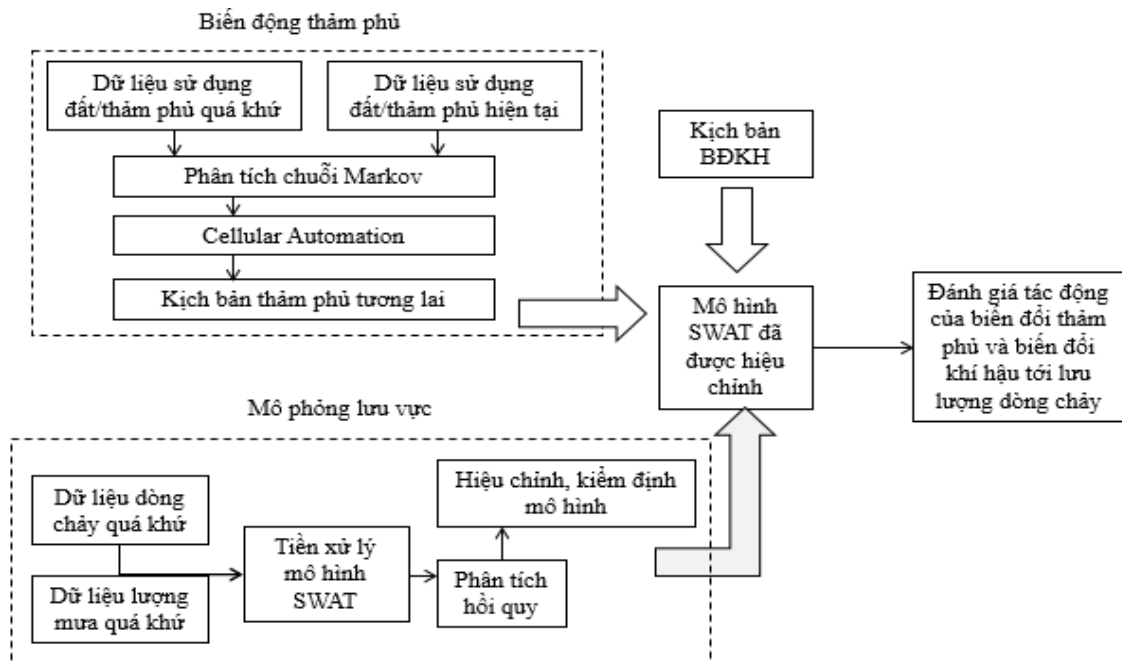
$$R_{hc}^2 = 1 - \left(\frac{\frac{ESS}{n-k}}{\frac{TSS}{n-1}} \right) = 1 - \frac{ESS(n-1)}{TSS(n-k)} = 1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2) \quad [2.15]$$

Trong đó: n là số lượng mẫu quan sát; k là số tham số của mô hình, bằng số lượng biến độc lập cộng 1; R^2 : hệ số R bình phương

Không có tiêu chuẩn chính xác R bình phương hiệu chỉnh ở mức bao nhiêu thì mô hình mới đạt yêu cầu, hệ số này nếu càng tiến về 1 thì mô hình càng có ý nghĩa, càng tiến về 0 thì ý nghĩa mô hình càng yếu. Thông thường mức trung gian được chọn là 0,5 để phân ra 2 nhánh ý nghĩa mạnh/ý nghĩa yếu, từ 0,5 đến 1 thì mô hình là tốt, nhỏ hơn 0,5 là mô hình chưa tốt.

2.4. Khung nghiên cứu

Với các cơ sở khoa học đã trình bày ở trên, Luận án đưa ra khung nghiên cứu đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông gồm 2 giai đoạn chính là xây dựng mô hình mô phỏng dự tính 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 và biến đổi khí hậu đến dòng chảy 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

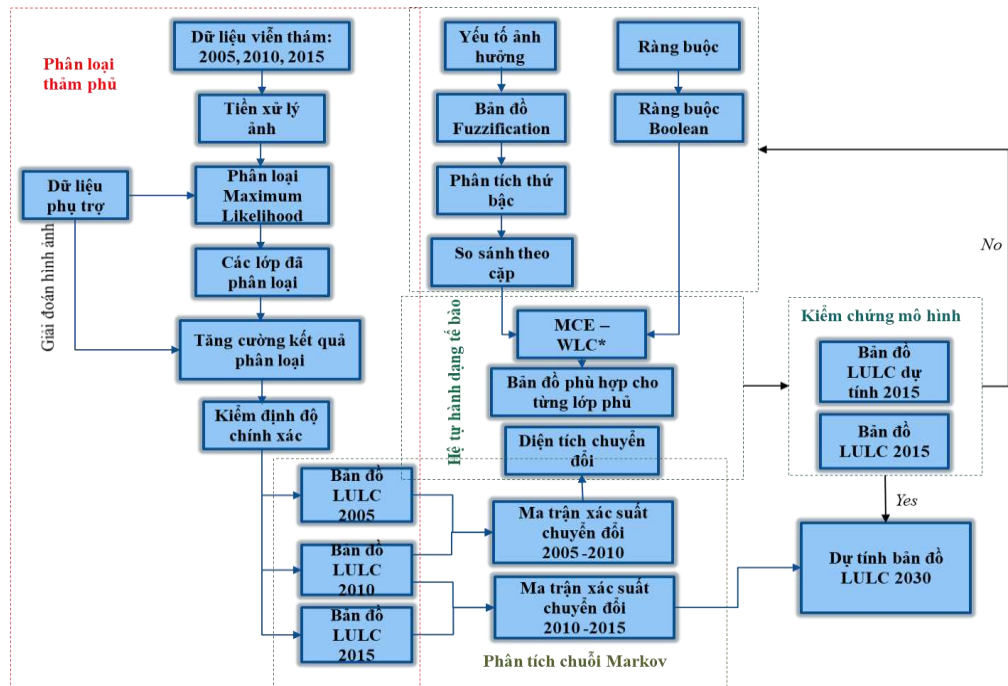
Giai đoạn đầu tiên, ảnh Landsat được phân loại và các lớp LULC được chuẩn bị. Trong giai đoạn thứ hai, Ma trận xác suất chuyển đổi và các khu vực chuyển đổi được tính toán bằng Phân tích chuỗi Markov. Đồng thời, các yếu tố và ràng buộc được thiết lập cho từng loại sử dụng đất và hàm mờ được áp dụng cho từng yếu tố và

giá trị Boolean (0 hoặc 1) được gán cho các ràng buộc. Sau đó, Quy trình phân tích thứ bậc và So sánh theo cặp được sử dụng để ấn định trọng số của từng yếu tố. Hệ số trọng số và hệ số hạn chế Boolean được sử dụng trong hàm MCE-WLC để tạo bản đồ phù hợp cho từng loại LULC. Trong giai đoạn thứ ba, tất cả các thành phần trước đó được đưa vào mô-đun Cellular Automata và mô phỏng bản đồ LULC của giai đoạn tiếp theo (2015). Trong giai đoạn đánh giá kết quả, bản đồ mô phỏng LULC 2015 được so sánh với bản đồ LULC 2015 phân loại từ ảnh viễn thám qua hệ số Kappa. Nếu kết quả đánh giá chỉ ra rằng một thỏa thuận không đạt yêu cầu, các tác nhân, trọng số và ràng buộc sẽ được xem xét lại. Nếu đạt yêu cầu thì mô hình đã sẵn sàng để dự tính bản đồ LULC trong tương lai.

Giai đoạn mô phỏng lưu vực sẽ thu thập, xử lý, phân tích các dữ liệu về khí tượng, thủy văn, tài nguyên đất với chuỗi thời gian trong quá khứ tại khu vực áp dụng thử nghiệm kết hợp với bản đồ LULC năm tương ứng để phân tích hồi quy và hiệu chỉnh tham số hóa mô hình. Mô hình sau khi được hiệu chỉnh và kiểm định sẽ được sử dụng để mô phỏng quá trình mưa – dòng chảy và đánh giá định lượng tác động của biến động thảm phủ tới dòng chảy năm 2030 với dữ liệu đầu vào là LULC 2030 và dữ liệu mưa nhiệt dự báo tới năm 2030.

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

Luận án sử dụng mô hình kết hợp Markov - Cellular Automata (Markov-CA) để dự tính những thay đổi của LULC đối với lưu vực sông Cả năm 2030. Quá trình tiền xử lý dữ liệu và thống nhất định dạng được thực hiện bằng các phần mềm GIS. Mô hình Markov-CA được hỗ trợ bởi phần mềm TerrSet, được phát triển bởi Clark Labs tại Đại học Clark, là một phần mềm không gian địa lý tích hợp với khả năng kết hợp phân tích IDRISI GIS cho mục đích giám sát và mô hình hóa [55]. Sơ đồ quy trình thực hiện mô phỏng được tóm tắt như hình dưới đây:



* MCE-WLC: Đánh giá đa tiêu chí-Kết hợp tuyến tính có trọng số
Hình 2.7. Quy trình mô phỏng biến động thảm phủ

2.4.1.1. Xử lý và phân loại thảm phủ

a) Thu thập, xử lý dữ liệu

Để đánh giá một cách chính xác sự thay đổi LULC từ năm 2005 đến 2015, hình ảnh phản xạ bề mặt đã được hiệu chỉnh trong khí quyển Landsat 5 TM và Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) và Cảm biến hồng ngoại nhiệt (TIRS) đã được thu thập từ trang web của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS). Tất cả các cảnh đã được xác minh về độ chính xác hình học và tất cả dữ liệu được chiếu trên hệ quy chiếu WGS 1984, hệ tọa độ phẳng UTM vùng 48N. Cụ thể các dữ liệu dùng để phân loại và kiểm định được nêu chi tiết trong mục 2.3. Dữ liệu sử dụng.

b) Tiền xử lý ảnh

Ảnh Landsat được chuyển đổi giá trị cấp độ xám DN thành giá trị vật lý của bức xạ tại đầu cảm biến và giá trị phản xạ ở tầng trên khí quyển của lớp thảm phủ. Việc chuyển đổi giá trị này giúp giảm sự khác biệt giữa giá trị trong ảnh và giá trị phản xạ phổ thực của bề mặt, giảm sự khác biệt giá trị phản xạ phổ của đối tượng ở các loại cảm biến khác nhau và giảm sự khác biệt giữa các cảnh ảnh khác nhau.

Tăng độ phân giải ảnh: Trên mỗi ảnh Landsat 8 gồm 11 kênh ảnh trong đó: 8 kênh có độ phân giải không gian là 30 m, 1 kênh có độ phân giải không gian là 15 m (kênh toàn sắc – kênh 8) và 2 kênh có độ phân giải không gian là 100 m. Để nâng cao độ phân giải không gian của ảnh Landsat, dùng kỹ thuật trộn các kênh ảnh với ảnh toàn sắc (kênh 8). Sau khi trộn, độ phân giải không gian của ảnh tổ hợp màu là 15 m, việc này giúp giải đoán các đối tượng dễ dàng hơn.

Tăng cường chất lượng ảnh: Là việc xử lý ảnh làm nổi bật hình ảnh sao cho người giải đoán ảnh dễ đọc, dễ nhận biết đối tượng trên ảnh. Tùy từng trường hợp cụ thể và tùy từng loại ảnh vệ tinh mà điều chỉnh độ sáng, mức độ tương phản, hay sử dụng các bộ lọc, phối màu thích hợp.

Tăng cường độ tương phản: Các kênh ảnh vệ tinh thu được trong thực tế thường có giá trị các phần tử ảnh chỉ phân bố trong phạm vi hẹp so với khả năng hiển thị của ảnh (nếu lưu 8 bit sẽ có thể hiển thị đến 256 giá trị), từng kênh ảnh khi hiển thị có xu hướng tương đối tối hoặc tương đối sáng. Ý nghĩa của việc tăng cường độ tương phản là nhằm biến đổi khoảng giá trị cấp độ xám thực tế của ảnh gốc về khoảng cấp độ xám mà thiết bị hiển thị có thể thể hiện được. Qua đó cấp độ xám của ảnh sẽ được cải thiện, không quá sáng hoặc không quá tối, màu sắc sẽ đồng đều hơn.

Nắn chỉnh hình học: Là đưa ảnh về hệ tọa độ quy chiếu của bản đồ cần thành lập. Ảnh Landsat được thiết lập trên hệ tọa độ UTM do đó cần phải chuyển hệ tọa độ từ UTM sang VN-2000 để thống nhất với hệ tọa độ quốc gia của Việt Nam.

Cắt ảnh: Sau khi nắn chỉnh hình học, ảnh được cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu nhằm thu gọn ảnh, loại bỏ những vùng không có dữ liệu, những vùng không quan tâm (để giảm sai số và nhiễu), giảm thời gian và công sức phân loại ảnh.

c) Phân loại Xác suất cực đại Maximum Likelihood

Hình ảnh được xếp chồng lên nhau, tập hợp và phân tích bằng phần mềm ENVI, ArcGIS và được phân loại bằng cách sử dụng thuật toán xác suất cực đại. Các phương pháp giám sát sử dụng thuật toán phân loại xác suất cực đại đã được áp dụng cho việc trích xuất LULC. Hệ thống phân loại lớp phủ theo 5 đối tượng được xác định: đất xây dựng, đất rừng, đất nông nghiệp, vùng nước, đất trống.

Quá trình phân loại sẽ trích xuất các đặc điểm của hình ảnh dựa trên các đối tượng. Các đối tượng này được tạo ra thông qua phân loại hình ảnh trong đó các điểm ảnh ở gần nhau và có các đặc điểm quang phổ tương tự được nhóm lại với nhau thành một phần. Các phần thể hiện những hình dạng, đặc điểm quang phổ và không gian nhất định có thể được nhóm lại thành các đối tượng có ý nghĩa - lớp đặc trưng. Kết quả là các nhóm điểm ảnh đặc trưng bởi màu trung bình của chúng.

Phân loại có giám sát yêu cầu thu thập các mẫu huấn luyện làm cơ sở cho thuật toán xác suất cực đại, suy đoán các điểm ảnh khác trong cùng lớp. Dữ liệu thu thập càng chính xác thì việc phân loại càng chính xác. Phương pháp tổng hợp dải được sử dụng rộng rãi trong viễn thám để hỗ trợ điều đó, mỗi kiểu tổ hợp có những ưu điểm riêng trong việc phân loại LULC. Một hình ảnh tổng hợp sử dụng băng tần 4, 3, 2 trong ảnh Landsat 5 TM hoặc băng tần 5, 4, 3 trong Landsat 8 cho các kênh màu đỏ, xanh lá cây, xanh lam tương ứng sẽ dễ dàng hơn trong việc phát hiện các dạng thảm phủ: đất rừng và đất nông nghiệp. Các hình ảnh tổng hợp khác cũng được sử dụng để hiển thị các lớp đất khác, ví dụ: các dải 3, 2, 1 trong Landsat 5 TM hoặc 4, 3, 2 trong Landsat 8 để phân loại vùng nước, đất trống, đất xây dựng.

d) Tăng cường kết quả phân loại

Sử dụng công cụ Smooth trong Envi để làm mượt kết quả sau phân loại. Công cụ Smooth giúp các điểm ảnh sau phân loại bớt góc cạnh cũng như tự động kết hợp các điểm ảnh quá nhỏ vào điểm ảnh lớn hơn, giúp kết quả trực quan và chính xác hơn.

e) Kiểm định độ chính xác phân loại thảm phủ

Sau khi thu được kết quả phân loại, tiến hành khảo sát thực địa và lấy mẫu ngẫu nhiên (khác với mẫu đã lấy khi phân loại) trên ảnh để đánh giá độ chính xác phân loại thảm phủ (việc này cũng có thể tiến hành cùng lúc với việc đi thực địa lấy mẫu giải đoán ảnh).

Lập ma trận sai số (confusion matrix) so sánh giữa kết quả phân loại và mẫu khảo sát thực tế nhằm đánh giá mức độ tin cậy của việc phân loại và ghi nhận độ chính xác tổng thể để tính được sai số tổng thể của bản đồ ảnh hiện trạng chính thức.

Trong ma trận, các dữ liệu khảo sát và dữ liệu phân loại được phân vào các cột, hàng tương ứng và so sánh với nhau. Đường chéo ma trận biểu thị mức độ đồng thuận giữa hai tập dữ liệu. Từ đó, các chỉ số Độ chính xác tổng thể (OA), Độ chính xác của nhà sản xuất (PA) và Độ chính xác người dùng (UA) được tính toán để kiểm định độ chính xác của kết quả phân loại thảm phủ.

2.4.1.2. Tạo ma trận xác suất chuyển đổi, Ma trận diện tích chuyển đổi

Ma trận xác suất chuyển đổi xác định khả năng một ô hoặc một pixel sẽ chuyển từ một lớp thảm phủ này sang các lớp thảm phủ khác từ thời điểm ‘t’ đến thời điểm ‘t+1’. Ma trận này là kết quả của việc lập bảng so sánh chéo giữa hai ảnh thảm phủ đã được điều chỉnh sai số tỷ lệ và tạo thành một tập ảnh thể hiện xác suất chuyển đổi, mỗi ảnh đại diện cho một lớp thảm phủ. Như đã đề cập ở trên, phần mềm TerrSet là một trong những nền tảng tốt nhất để thực hiện mô hình CA-Markov, được phát triển bởi Clark Labs ở Hoa Kỳ. Do đó, ma trận xác suất chuyển đổi được xây dựng từ các ảnh LULC của năm 2005 - 2010 và 2010 - 2015 bằng phần mềm ArcGIS và TerrSet.

Ma trận diện tích chuyển đổi ghi lại số ô hoặc pixel dự kiến sẽ thay đổi từ lớp thảm phủ này sang lớp thảm phủ khác trong khoảng thời gian tiếp theo. Ma trận này được tạo ra bằng cách nhân các cột trong ma trận xác suất chuyển đổi với số pixel của lớp thảm phủ tương ứng được tính trong ảnh thứ 2. Luận án thực hiện chồng chập bản đồ thảm phủ giữa các giai đoạn năm 2005 - 2010 và 2010 - 2015, đặt khoảng thời gian giữa hai bản đồ là 05 năm, sai số tỷ lệ là 0,15 trong trường hợp Phân loại xác suất cực đại.

2.4.1.3. Tạo bản đồ phù hợp

Bản đồ phù hợp thể hiện khả năng phù hợp của mỗi một pixel thuộc lớp LULC tương ứng. Chúng nằm trong khoảng từ 0 đến 255, 255 tương ứng với khả năng xảy ra cao nhất và 0 là thấp nhất. Mỗi bản đồ tính phù hợp được tạo ra bởi các quy tắc chuyển đổi được hình thành bởi mối liên hệ giữa các yếu tố kinh tế xã hội, sinh thái và không gian (ví dụ: đất xây dựng có xu hướng phát triển gần đường xá). Bên cạnh đó, cũng có những ràng buộc đối với từng loại LULC (ví dụ: các khu vực rừng được

quy hoạch để bảo tồn). Do đó, các tác nhân và ràng buộc là hai thành phần mang tính quyết định sự chuyển đổi của từng lớp phủ.

Các ràng buộc được chuẩn hóa thành kiểu Boolean (0 và 1, đại diện cho hoàn toàn không có khả năng và có khả năng) và các tác nhân được chuẩn hóa thành thang đo mức phù hợp từ 0 (ít phù hợp nhất) đến 255 (phù hợp nhất). Để đạt được điều đó, ba loại hàm thuộc hàm mờ (hàm tuyến tính, hàm sigma, hàm dạng J) và các điểm không chế đóng vai trò quan trọng để xác định thang đo mức phù hợp tiềm năng cho mỗi lớp phủ. Loại hàm mờ và các điểm không chế được lựa chọn dựa trên sự hiểu biết về khu vực nghiên cứu và tham vấn ý kiến chuyên gia [92]. Lý thuyết tập mờ có thể tham khảo thêm tại [37], [84], [97].

Tiếp theo, quy trình phân tích thứ bậc và so sánh theo từng cặp được áp dụng để đưa ra các trọng số tương quan với các cặp yếu tố ảnh hưởng trong đánh giá đa tiêu chí. Các trọng số được tính bằng chuỗi các so sánh theo cặp về mức độ quan trọng tương quan giữa các yếu tố ảnh hưởng về sự phù hợp của các pixel trong từng lớp phủ. Các cặp so sánh này được phân tích để tạo ra một tập các trọng số có tổng bằng 1 [55]. Quy trình tạo ra các trọng số đã được nghiên cứu bởi Saaty T. L. [103], [104]. Trọng số lớn hơn nghĩa là yếu tố đó quan trọng hơn.

Sau đó, mô-đun Đánh giá Đa tiêu chí (Multi-Criteria Evaluation-MCE) được sử dụng để đưa ra quyết định lựa chọn giữa các khả năng có thể xảy ra. Thông qua MCE, các tiêu chí được kết hợp bằng phương pháp kết hợp tuyến tính có trọng số (Weighted Linear Combination-WLC) nhằm đưa các tập hợp tiêu chí thành bản đồ tính phù hợp. Phương pháp WLC có tính đến các yếu tố ảnh hưởng có trọng số và cả các ràng buộc bằng toán tử logic AND. Phép nhân giữa chúng cho kết quả là bản đồ phù hợp cho từng lớp phủ cụ thể.

2.4.1.4. Mô phỏng sử dụng đất/thảm phủ

Mô hình tích hợp giữa mô hình Cellular Automata và mô hình Markov có thể dự tính các biến đổi thảm phủ giữa hai khoảng thời gian. Do đó, các xác suất chuyển

đổi trong giai đoạn 2005-2010 cùng với thảm phủ cơ sở 2010 đã được sử dụng để mô phỏng thảm phủ vào năm 2015. Mỗi pixel được gán cho một lớp phủ trong tương lai dựa theo mức độ phù hợp của nó được quy định trong bản đồ tính phù hợp. Số lần lặp lại i cũng là số bước thời gian sẽ được sử dụng trong mô hình. Việc lựa chọn i cũng là một trong những yếu tố sẽ ảnh hưởng đến kết quả dự tính của mô hình. Với mục đích đạt được các tham số tối ưu, số lần lặp đã được kiểm tra trong nghiên cứu của Arsanjani J. J. [42]. Theo đó, số lần lặp lại được lựa chọn trong luận án là 5, 10 và 15.

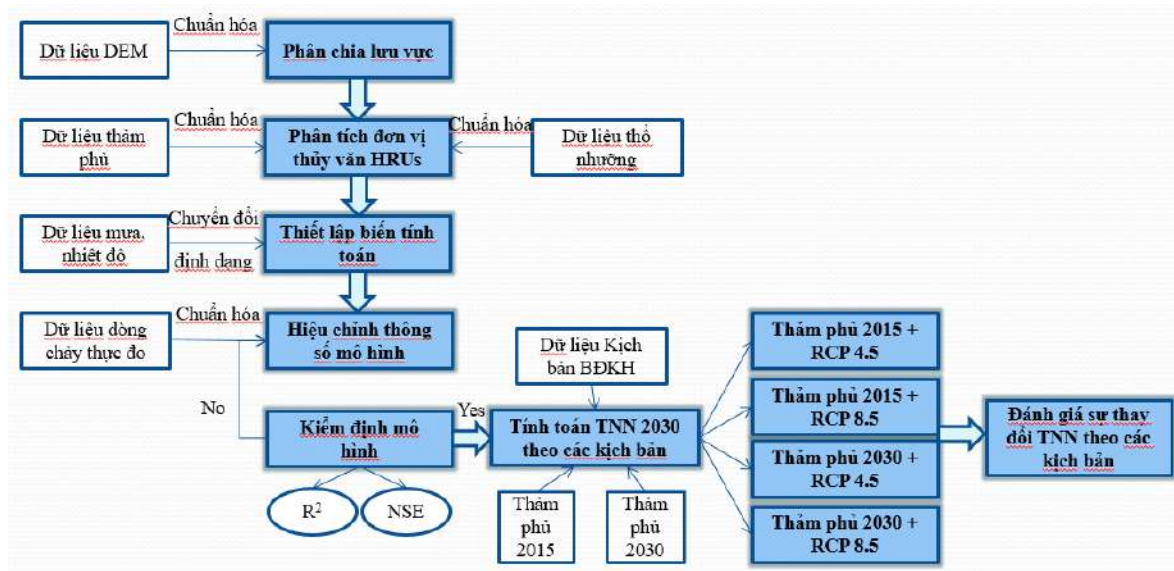
2.4.1.5. Kiểm định mô hình

Kiểm định mô hình luôn là một phần quan trọng để xác minh và kiểm tra độ chính xác của một mô hình. Tuy nhiên, không có tiêu chí cố định để đánh giá mức thi hành hệ thống của các mô hình biến động thảm phủ đất [96]. Để định lượng khả năng của mô hình, chúng ta cần so sánh kết quả dự tính từ mô hình với bản đồ tương tự và đáng tin cậy sử dụng hệ số Kappa [48]. Nhưng Pontius R. G. đã chứng minh rằng hệ số Kappa tiêu chuẩn (Cohen's Kappa) hầu như không cung cấp thông tin hữu ích gì vì nó nhầm lẫn giữa lỗi định lượng và lỗi vị trí [95], [96]. Do đó, ngoài Kappa tiêu chuẩn (K_{standard}), các thành phần khác nhau của hệ số Kappa bao gồm Kappa cho không có thông tin (K_{no}), Kappa cho vị trí ô lưới (K_{location}) và Kappa cho vị trí tầng lớp ($K_{\text{locationStrata}}$) đã được sử dụng để bổ sung cho những thiếu sót này [96]. Tóm lại, bản đồ mô phỏng thảm phủ 2015 sẽ được xác thực với bản đồ thảm phủ 2015 đã phân loại và kiểm chứng.

Kirppendorff cho rằng các mối liên hệ giữa hai biến có $K < 0,7$ thường là không đủ độ tin cậy, và theo phân tích của các nhà nghiên cứu thì $K > 0,8$ được đánh giá là mô hình có độ tin cậy tốt, còn với khoảng $0,67 < K < 0,8$ cho phép các nhà nghiên cứu có thể đưa ra kết luận thí nghiệm [76].

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

Để mô phỏng tác động của biến động thảm phủ đến dòng chảy, luận án sử dụng mô hình SWAT. Sử dụng phương pháp mô hình toán để định lượng lưu lượng nước (Q) năm 2030 với các bước chi tiết như Hình 2.8



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

2.4.2.1. Phân chia lưu vực

Dựa trên bản đồ số độ cao DEM mô hình SWAT sẽ xác định dòng chảy, sau đó tự động mô phỏng mạng lưới sông suối. Dựa trên mạng lưới sông suối SWAT phân chia lưu vực thành các tiểu lưu vực theo tiêu chí mỗi một tiểu lưu vực chỉ có duy nhất 1 nhánh sông, điểm đầu của tiểu lưu vực là thượng lưu của con sông và kết thúc là điểm nhập lưu của nhánh sông với nhánh sông khác.

2.4.2.2. Phân tích đơn vị phản ứng thủy văn

Mỗi tiểu lưu vực trong khu vực nghiên cứu có thể chia nhỏ thành những đơn vị phản ứng thủy văn (HRU - Hydrologic Response Unit). Các cell trong mỗi đơn vị phản ứng thủy văn sẽ tương đồng về thuộc tính sử dụng đất và quản lí. Một đơn vị phản ứng thủy văn không đồng nghĩa với một trường, nó là một khu vực với những đặc điểm tương đồng về sử dụng đất, đất và độ dốc. Trong khi đó, một trường chứa những đặc điểm rời rạc. Đơn vị phản ứng thủy văn cho phép làm đơn giản hóa mô hình. Cần chấp nhận rằng không có sự tác động lẫn nhau giữa các đơn vị phản ứng

thủy văn trong tiểu lưu vực. Các quá trình rửa trôi, bồi lắng, di chuyển dinh dưỡng sẽ được tính toán độc lập trên mỗi đơn vị phản ứng thủy văn, trên cơ sở đó sẽ được cộng lại trên toàn bộ tiểu lưu vực. Lợi ích khi sử dụng đơn vị phản ứng thủy văn là: làm tăng độ chính xác của dự báo các quá trình. Thông thường mỗi tiểu lưu vực có 1 – 10 đơn vị phản ứng thủy văn.

2.4.2.3. Thiết lập biến tính toán và chạy mô hình

Mục đích chính của quá trình này là nhập dữ liệu khí tượng và viết các file dữ liệu đầu vào dựa trên các dữ liệu từ bản đồ và thời tiết ta đã đưa vào trước đó.

- Bước 1: Nhập dữ liệu khí tượng.

Nhập dữ liệu về lượng mưa và nhiệt độ (T_{max} , T_{min}) theo ngày ở các trạm đo trong giai đoạn 2010 – 2015.

Khai báo các kiểu dữ liệu về mặt đệm và địa hình.

- Bước 2: Xuất từ các file đầu vào bao gồm các file về dữ liệu khí tượng, mặt đệm, địa hình ...

Một số file chính của dữ liệu đầu vào như:

+ Trong bảng dữ liệu Hru: Bao gồm các tệp tin đầu vào của đơn vị phản ứng thủy văn như: đặc điểm địa hình, dòng chảy, xói mòn, độ che phủ đất.

+ Trong bảng dữ liệu Mgt: Là tệp quản lý lưu vực có chứa dữ liệu đầu vào cho trồng trọt, thu hoạch, tưới tiêu, các ứng dụng chất dinh dưỡng, các ứng dụng thuốc trừ sâu, và các hoạt động canh tác.

+ Trong bảng dữ liệu Soil: bao gồm tất cả các thông tin về tính chất vật lý của đất như tên đất, nhóm đất, độ sâu của lớp đất...

+ Trong bảng dữ liệu Wwq: các dữ liệu đầu vào về chất lượng nước.

+ Trong bảng dữ liệu Sub: Đặc tính chung của tiểu lưu vực như tổng số lưu vực con được phân chia trên tiểu lưu vực, cao trình mỗi lưu vực, tỉ trọng mưa, tỉ trọng nhiệt độ...

+ Trong bảng Rte: Dữ liệu về kênh chính gồm cc thông tin như chiều rộng, chiều sâu, hệ số nhám của kênh chính ...

+ Trong bảng Rse: Dữ liệu về hồ chứa

Sau khi nhập đầy đủ các dữ liệu đầu vào cho mô hình, quá trình chạy mô hình được thực hiện thông qua việc xác định thời đoạn chạy mô hình và bộ thông số khởi đầu cho mô hình.

Các kết quả mô hình được lưu dưới dạng các file sau:

- File output.sub: File đầu ra của các tiểu lưu vực.
- File output.hru: File đầu ra của đơn vị phản ứng thủy văn.
- File output.rch: File đầu ra của kênh chính.
- File output.rsv: File đầu ra của hồ chứa.

Trạm nghiên cứu ở vị trí của tiểu lưu vực nào ta sẽ trích xuất lưu lượng dòng chảy ra và lưu lượng bùn cát ở tiểu lưu vực đó được mô phỏng bởi mô hình SWAT để hiệu chỉnh và kiểm định với lưu lượng và bùn cát thực đo tại trạm.

2.4.2.4. Các thông số lựa chọn

Tùy thuộc lựa chọn phương pháp tính toán của người sử dụng mô hình sẽ có các thông số khác nhau. Theo mục tiêu và yêu cầu đặt ra, Luận án lựa chọn bộ thông số mô phỏng Q gồm:

- Thông số tính toán dòng chảy trực tiếp
- + Sử dụng Phương pháp chỉ số đường cong SCS
- CN2: Chỉ số CN ứng với điều kiện ẩm II
- Thông số tính lưu lượng đỉnh lũ
- OV_N: n: Hệ số nhám Manning cho dòng chảy mặt
- CH_N(1): n: Hệ số nhám kênh dẫn
- Thông số tính hệ số trễ dòng chảy mặt
- SURLAG: surlag: Hệ số trễ dòng chảy mặt
- Thông số tính tổn thất dọc đường
- CH_K(1): Kch: Độ dẫn thủy lực của kênh dẫn
- Thông số tính tổn thất do bốc hơi
- CANMX: canmx: Lượng trữ lớn nhất của vòm cây
- ESCO: esco: Hệ số bốc hơi của đất
- Thông số tính toán dòng chảy ngầm

GWQMN: aqshthr,q: Ngưỡng sinh dòng chảy ngầm (mm)

ALPHA_BF: α_{gw} : Hệ số chiết giảm dòng chảy ngầm

REVAPMN: aqsthr,rvp: Ngưỡng sinh dòng thấm xuống tầng ngậm nước sâu (mm)

- Thông số diễn toán dòng chảy trong kênh

+ Phương pháp lượng trừ

CH_N(2): n: Hệ số nhám của kênh chính

+ Tính toán tổn thất dọc đường

CH_K (2): Độ dẫn thủy lực của kênh chính (mm/giờ)

- Tính toán tổn thất bốc hơi

EVRCH: coefev: Hệ số hiệu chỉnh bốc hơi của kênh chính

2.4.2.5. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình mô phỏng

Hiệu quả của mô hình được đánh giá bằng cách so sánh kết quả chạy mô hình với số liệu thực đo dòng chảy năm, tháng và ngày.

Giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, hệ số xác định (R^2) (P. Krause và nnk, 2005) và chỉ số Nash – Sutcliffe (NSE) [89] được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình SWAT. Công thức tính R^2 và NSE đã được nêu trong phần Cơ sở khoa học của Chương này.

Giá trị R^2 nằm trong khoảng từ 0 đến 1, thể hiện mối tương quan giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng. Giá trị $R^2 > 0,5$ được coi là chấp nhận được. Với R^2 tiến gần đến 1 thể hiện mối tương quan cao (Santhi và nnk, 2001; Van Liew và nnk, 2003). Trong khi đó, chỉ số NSE chạy từ $-\infty$ đến 1, đo lường sự phù hợp giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng trên đường thẳng 1:1. Giá trị NSE $> 0,5$ được coi là chấp nhận được. Với NSE $> 0,65$ thể hiện sự phù hợp cao và NSE nằm trong khoảng $0,54 < \text{NSE} < 0,65$ thể hiện sự phù hợp tương đối cao (Saleh và nnk, 2000, Sathi và nnk, 2001).

Nếu R^2 , NSE nhỏ hơn hoặc gần bằng 0, khi đó kết quả được xem là không thể chấp nhận hoặc độ tin cậy kém. Ngược lại, nếu những giá trị này bằng 1, thì kết quả mô phỏng của mô hình là hoàn hảo. Tuy nhiên, không có quy định thống nhất nào

được xác định trong việc đánh giá kết quả mô phỏng từ các thông số thống kê này (C. Santhi và nnk, 2001).

Bảng 2.2. Tiêu chuẩn phân loại mức độ chính xác của kết quả mô phỏng theo các chỉ số NSE và R^2

R^2	0,9 – 1	0,7 – 0,9	0,5- 0,7	0,3 – 0,5
NSE	0,8-1,0	0,65-0,8	0,5-0,65	0,5 >
Mức độ mô phỏng	Tốt	Khá	Trung bình	Kém

Nguồn: [91]

Trên cơ sở biên tập dữ liệu đầu vào cho SWAT, số liệu lưu lượng dòng chảy quan trắc là số liệu quan trọng để hiệu chỉnh mô hình. Luận án tiến hành hiệu chỉnh lưu lượng nước tại tiểu lưu vực có trạm nghiên cứu theo lưu lượng nước quan trắc để tìm ra bộ thông số tối ưu.

Sau khi tìm ra bộ thông số tối ưu sẽ tiến hành chạy cho kịch bản trong tương lai 2030 với số liệu mưa, nhiệt năm 2030 theo kịch bản RCP 4.5, RCP 8.5 để tìm ra tác động của biến động thảm phủ và BĐKH đến dòng chảy.

2.5. Dữ liệu sử dụng

2.5.1. Dữ liệu sử dụng mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và dự tính thảm phủ tương lai

2.5.1.1. Dữ liệu viễn thám

Để nghiên cứu sự thay đổi của thảm phủ trong giai đoạn 2005-2015, cần phải xây dựng được các bản đồ thảm phủ của từng giai đoạn 2005-2010-2015. Các bản đồ này được xây dựng dựa trên dữ liệu hình ảnh LANDSAT của Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS). Các ảnh thu thập được là LANDSAT 5 TM và LANDSAT 8 OLI/TIRS với cùng độ phân giải 30m (Bảng 2.3), trong đó ảnh của cột 127 hàng 47 là ảnh có độ phủ lớn nhất, xấp xỉ 80% diện tích toàn lưu vực sông Cả. Ảnh được chọn dựa trên tiêu chí: độ che phủ mây thấp (<15%), không bị nhiễu, mức dữ liệu 2A, thời gian của ảnh không cách nhau quá xa, đặc biệt là ảnh 127-47.

Ảnh Landsat 5 TM bao gồm sáu dải quang phổ với độ phân giải không gian 30 mét đối với Dải tần 1-5 và 7. Ảnh Landsat 8 OLI và TIRS bao gồm chín dải quang

phổ với độ phân giải không gian là 30 mét đối với Dải tần 1 đến 7 và 9 [123]. Dải 1 (ultra-blue) rất hữu ích cho các nghiên cứu về sol khí và vùng ven biển. Băng tần 9 rất hữu ích để phát hiện mây ti (là một kiểu mây dạng mỏng thường gây ảnh hưởng đến chất lượng ảnh). Độ phân giải cho Dải tần 8 (kênh toàn sắc) là 15 mét. Các dải tần nhiệt 10 và 11 cung cấp chính xác hơn nhiệt độ bề mặt và được thu thập ở 100 mét [45]. Đối với phân loại LULC, các ảnh được thu thập như trong Bảng 2.3. Đặc biệt, các ảnh này sẽ được sử dụng làm nguồn dữ liệu chính để phân loại thảm phủ đối với các vùng lưu vực sông Cả bên phía Lào, do sự hạn chế khi thu thập dữ liệu bên kia biên giới.

Thêm vào đó, các ảnh độ phân giải cao thu thập từ Google Earth và bản đồ hiện trạng sử dụng đất do Cục Khảo sát, Bản đồ và Thông tin Địa lý Việt Nam xuất bản cũng được sử dụng để xác thực và kiểm chứng kết quả phân loại.

Bảng 2.3. Danh sách các nguồn và loại dữ liệu sử dụng

Năm	Loại tư liệu và độ phân giải	Hàng-cột	Ngày	Nguồn
2005	Landsat 5 TM 30 m	126-47	14 th July 2005	https://earthexplorer.usgs.gov/
		126-48	09 th April 2005	
		127-46	18 th May 2005	
		127-47	18 th May 2005	
		128-46	23 rd April 2005	
		128-47	07 th April 2005	
2010	Landsat 5 TM 30 m	126-47	12 th July 2010	https://earthexplorer.usgs.gov/
		126-48	12 th July 2010	
		127-46	08 th Nov 2010	
		127-47	08 th Nov 2010	
		128-46	21 st April 2010	
		128-47	30 th Oct 2010	
2015	Landsat 8 OLI/TIRS 30 m	126-47	11 th Aug 2015	https://earthexplorer.usgs.gov/
		126-48	28 th Sept 2015	
		127-46	30 th May 2015	
		127-47	30 th May 2015	
		128-46	28 th Oct 2015	
		128-47	28 th Oct 2015	

2.5.1.2. Mô hình số độ cao – DEM

Dữ liệu mô hình số độ cao toàn cầu ASTER 2.0 (GDEM 2.0) là sản phẩm của Bộ Kinh tế, Thương mại và Công nghiệp Nhật Bản (METI) và Cơ quan Hàng không

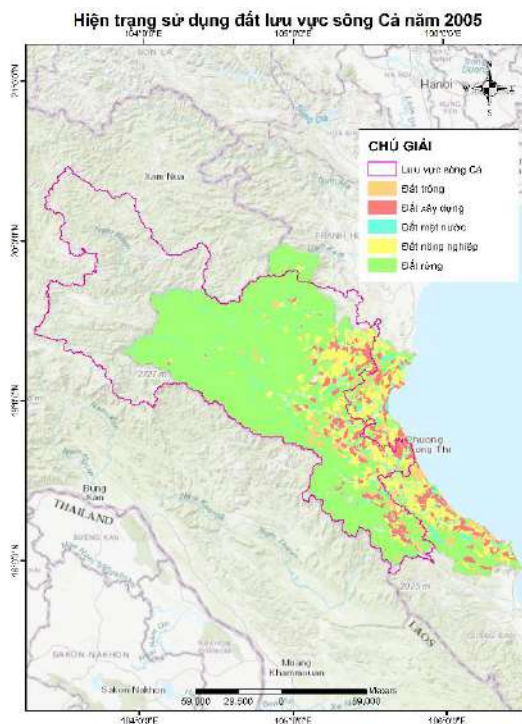
và Vũ trụ Hoa Kỳ (NASA) thu thập từ Cơ quan Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS). GDEM 2.0 được METI và NASA công bố vào giữa tháng 10/2011, kế thừa gần như toàn bộ tính năng của GDEM 1.0 với độ phân giải 30 m, bao phủ từ vĩ độ 83° Bắc đến 83° Nam. Tuy nhiên, GDEM 2.0 có độ phân giải ngang cao hơn bằng cách sử dụng nhân tương quan 5x5 thay vì 9x9 như được sử dụng cho GDEM 1.0. GDEM 2.0 có tổng độ chính xác là 17 m so với 20 m của GDEM 1.0 cùng với độ chắc chắn 95% [43].

Thực tế tại VN đã thực hiện các dự án bay chụp và xây dựng DEM với độ phân giải cao 10 m, 5 m và thậm chí 2 m. Tuy nhiên, các dữ liệu này hiện tại được Cục Đo đạc & Bản đồ đánh dấu là Mật nên luận án không có điều kiện tiếp cận và sử dụng. Ngoài ra, các dữ liệu DEM này tập trung cho khu vực ven biển và một số khu đô thị lớn và độ phủ cũng chưa cao (chỉ khu vực ĐBSCL là có độ phủ cao nhất). Do đó, lưu vực sông Cả đặc biệt lưu vực bên phía Lào hầu hết đều chưa có dữ liệu DEM độ phân giải cao này.

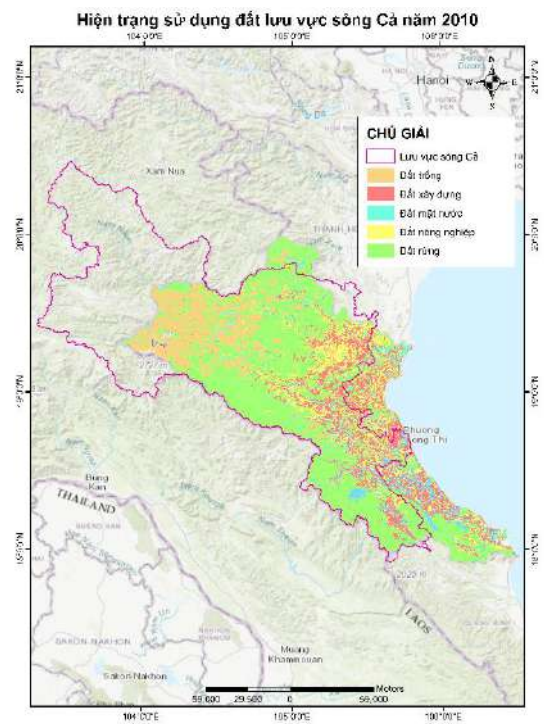
Dữ liệu DEM cho khu vực nghiên cứu được thu thập từ vĩ độ 18° đến 19° Bắc, kinh độ 103° đến 105° Đông. Công cụ ArcSWAT sau đó được sử dụng để tính toán hướng dòng chảy, tích tụ dòng chảy, tạo khu vực tiểu lưu vực, tạo lưới dòng chảy, cửa xả, v.v...

2.5.1.3. Dữ liệu hiện trạng sử dụng đất

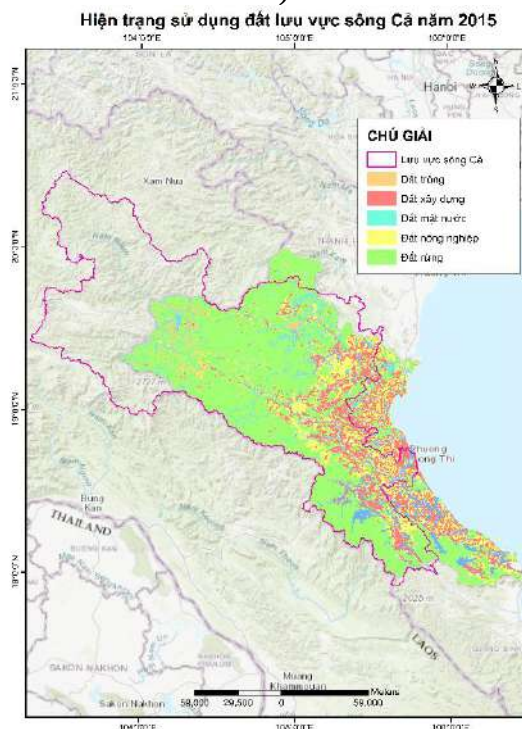
Bắt đầu từ năm 1999, theo Chỉ thị 24/1999/CT-TTg của Thủ tướng Chính phủ đã chỉ đạo về việc kiểm kê đất đai và ban hành năm 2000. Từ đó đến nay, việc kiểm kê và lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất được thực hiện vào các năm 2005, 2010, 2015 (Hình 2.9). Số liệu kiểm kê đất đai và các bản đồ sử dụng đất này là tài liệu có giá trị trong phân loại LULC.



a)



b)



c)

*Hình 2.9. Hiện trạng sử dụng đất
lưu vực sông Cà*

(a) 2005; (b) 2010; (c) 2015

(nguồn Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông
tin địa lý Việt Nam)

Bản đồ hiện trạng sử dụng đất là bản đồ thể hiện sự phân bố các loại đất theo quy định về mục đích sử dụng đất tại thời điểm kiểm kê. Bản đồ hiện trạng sử dụng đất được thành lập trên cơ sở bản đồ địa chính, đối chiếu với số liệu thực địa và số

liệu kiểm kê đất đai. Trong trường hợp chưa có bản đồ địa chính thì ảnh hàng không hoặc ảnh vệ tinh có độ phân giải cao được chuyển thành ảnh trực giao kết hợp với dữ liệu thực địa và kiểm kê đất đai để lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất; Trường hợp không có các loại bản đồ trên thì bản đồ hiện trạng sử dụng đất thời kỳ trước sẽ đồng thời được kiểm tra với số liệu thực địa và số liệu kiểm kê đất đai.

Thảm phủ bề mặt chia theo mục đích sử dụng bao gồm: sản xuất nông nghiệp, lâm nghiệp, nuôi trồng thủy sản, làm muối, nông nghiệp khác, xây dựng, chuyên dùng (ví dụ: trụ sở Nhà nước, quốc phòng, an ninh, giao thông, y tế, giáo dục...), sông, nước bề mặt, đất trống và chưa sử dụng. Chúng có thể được tập hợp lại theo danh mục đã đề cập tại Bảng 1, mục Đối tượng nghiên cứu, đó là 5 lớp: Đất rừng, Đất nông nghiệp, Đất xây dựng, Vùng nước và Đất trống (Hình 2.9).

2.5.1.4. Dữ liệu quy hoạch sử dụng đất

Quy hoạch sử dụng đất là việc phân bổ và khoanh vùng đất đai theo không gian sử dụng cho các mục tiêu phát triển kinh tế - xã hội, quốc phòng, an ninh, bảo vệ môi trường và thích ứng biến đổi khí hậu trên cơ sở tiềm năng đất đai và nhu cầu sử dụng đất của các ngành, lĩnh vực đối với từng vùng kinh tế - xã hội và đơn vị hành chính trong một khoảng thời gian xác định.

Mặc dù việc lập và công bố bản đồ quy hoạch sử dụng đất đã được quy định trong Luật Đất đai năm 2013, nhưng hiện tại các bản đồ quy hoạch này, các tỉnh vẫn chỉ hoàn thiện một phần (9/13 huyện/thị xã của tỉnh Hà Tĩnh, 15/21 huyện/thị xã của tỉnh Nghệ An). Tuy vậy, các số liệu liên quan vẫn có thể thu thập được thông qua các Nghị quyết Quy hoạch sử dụng đất và Quyết định Quy hoạch phát triển kinh tế xã hội các tỉnh. Dù không có sự hỗ trợ về mặt không gian, nhưng các số liệu về mục tiêu phát triển kinh tế xã hội cũng như về chỉ tiêu diện tích và cơ cấu (%) quy hoạch sử dụng đất cũng có ý nghĩa rất quan trọng trong việc xây dựng các quy tắc chuyển đổi *f*.

NGHỊ QUYẾT
Về điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020 và
kế hoạch sử dụng đất kỳ cuối (2016 - 2020) tỉnh Hà Tĩnh

CÔNG THÔNG BÁO ĐIỀU TỰ CHỈNH PHÁP

ĐẾN: ... 8 ...

Ngày: ... 16/11/18

CHÍNH PHỦ

Căn cứ Luật Tổ chức Chính phủ ngày 19 tháng 6 năm 2015;
Căn cứ Luật Đất đai ngày 29 tháng 11 năm 2013;

Xét đề nghị của Ủy ban nhân dân tỉnh Hà Tĩnh (Tờ trình số 302/TTr-UBND ngày 29 tháng 8 năm 2017), của Bộ Tài nguyên và Môi trường (Tờ trình số 94/TTr-BTNMT ngày 16 tháng 11 năm 2017, Công văn số 713/BTNMT-TCQLĐĐ ngày 12 tháng 02 năm 2018, Công văn số 2609/BTNMT-TCQLĐĐ ngày 22 tháng 5 năm 2018),

QUYẾT NGHỊ:

Điều 1. Phê duyệt điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020 và kế hoạch sử dụng đất kỳ cuối (2016 - 2020) của tỉnh Hà Tĩnh với các chỉ tiêu sau:

1. Diện tích, cơ cấu các loại đất:

STT	Chỉ tiêu sử dụng đất	Năm 2010		Điều chỉnh quy hoạch đến năm 2020		
		Diện tích (ha)	Cơ cấu (%)	Quốc gia phân bổ (ha)	Tính xác định, bổ sung (ha)	Tổng số
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (5) + (6)
I	Loại đất					
1	Đất nông nghiệp	476.158	79,40	469.000	7.985	476.985
	Trong đó:					
1.1	Đất trồng lúa	64.691	10,79	52.746	7.688	60.434
	Trong đó: Đất chuyên trồng lúa nước	46.087	7,68	49.144	2.743	51.887
1.2	Đất trồng cây hàng năm khác	22.019	3,67		21.375	21.375
1.3	Đất trồng cây lâu năm	31.839	5,64		41.618	41.618
1.4	Đất rừng phòng hộ	115.041	19,18	115.641		115.641

NGHỊ QUYẾT
Về điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020 và
kế hoạch sử dụng đất kỳ cuối (2016 - 2020) tỉnh Nghệ An

CHÍNH PHỦ

Căn cứ Luật Tổ chức Chính phủ ngày 19 tháng 6 năm 2015;

Căn cứ Luật Đất đai ngày 29 tháng 11 năm 2013;

Xét đề nghị của Ủy ban nhân dân tỉnh Nghệ An (Tờ trình số 5996/TTr-UBND ngày 08 tháng 8 năm 2017), của Bộ Tài nguyên và Môi trường (Tờ trình số 07/TTr-BTNMT ngày 16 tháng 01 năm 2018, Công văn số 977/BTNMT-TCQLĐĐ ngày 05 tháng 3 năm 2018, Công văn số 1904/BTNMT-TCQLĐĐ ngày 17 tháng 4 năm 2018),

QUYẾT NGHỊ:

Điều 1. Phê duyệt điều chỉnh quy hoạch sử dụng đất đến năm 2020 và kế hoạch sử dụng đất kỳ cuối (2016 - 2020) của tỉnh Nghệ An với các chỉ tiêu sau:

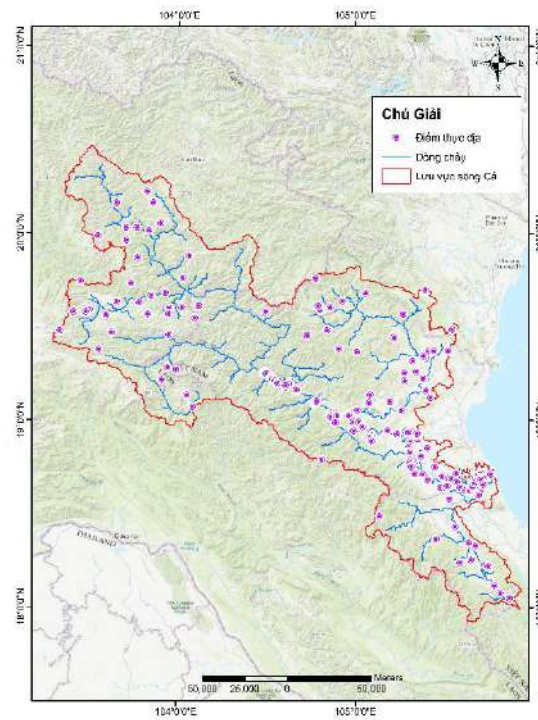
1. Diện tích, cơ cấu các loại đất:

STT	Chỉ tiêu sử dụng đất	Năm 2010		Điều chỉnh quy hoạch đến năm 2020			
		Diện tích (ha)	Cơ cấu (%)	Quốc gia phân bổ (ha)	Tính xác định, bổ sung (ha)	Diện tích (ha)	Cơ cấu (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = (5) + (6)	(8)
I	Loại đất						
1	Đất nông nghiệp	1.239.677	75,16	1.432.614	21.441	1.454.055	88,22
	Trong đó:						
1.1	Đất trồng lúa	105.151	6,38	94.000	7.027	101.027	6,13
	Trong đó: Đất chuyên trồng lúa nước	87.540	5,31	83.000	2.328	85.328	5,18
1.2	Đất trồng cây hàng năm khác	89.013	5,40		91.821	91.821	5,57
1.3	Đất trồng cây lâu năm	64.549	3,91		95.108	95.108	5,77
1.4	Đất rừng phòng hộ	302.055	18,31	365.000		365.000	22,15
1.5	Đất rừng đặc dụng	169.207	10,26	172.461		172.461	10,46
1.6	Đất rừng sản xuất	501.163	30,39	615.000		615.000	37,31
1.7	Đất muối trồng thủy sản	7.422	0,45	9.030		9.030	0,55
1.8	Đất làm muối	838	0,05	795		795	0,05

Hình 2.10. Quy hoạch sử dụng đất Nghệ An – Hà Tĩnh 2020

2.5.1.5. Dữ liệu thực địa

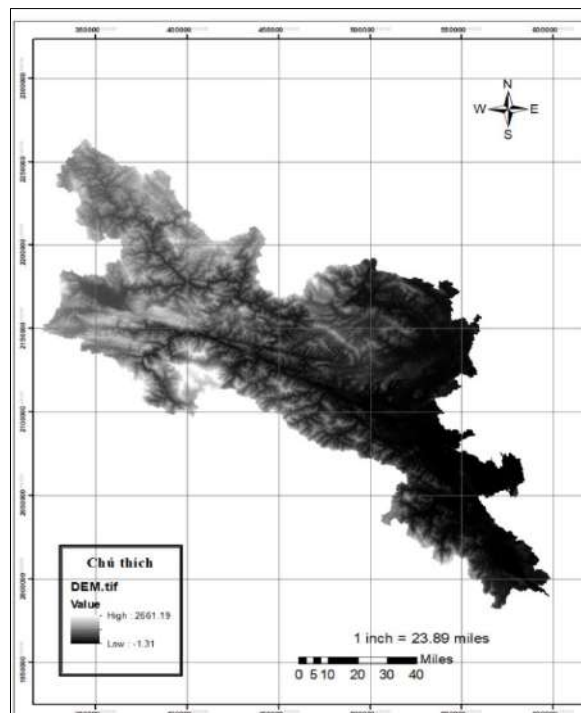
Dữ liệu thực địa được thu thập để phân loại và kiểm chứng kết quả phân loại. Tổng số mẫu đã thu thập là 120 mẫu. Các mẫu được thu thập từ ngày 18-28/03/2019. Phân loại thăm phủ được thực hiện cho 3 thời kỳ 2005-2010-2015, vì vậy, các dữ liệu thực địa được kiểm tra, lựa chọn nhằm đảm bảo rằng những khu vực lấy mẫu trải qua thay đổi (vd: khu vực phục hồi sau hỏa hoạn) thì sẽ bị loại trừ ra khỏi cuộc điều tra. Thông qua tham khảo ý kiến của người dân địa phương, 5 lớp thăm phủ sẽ được chọn lấy mẫu: Đất rừng, Đất nông nghiệp, Đất xây dựng, Vùng nước, Đất trống - với khoảng 20 mẫu dữ liệu cho mỗi lớp. Một số dữ liệu thử nghiệm được lựa chọn, thu thập thêm bằng phương pháp chuyên gia thông qua việc sử dụng công cụ Google Maps với thuật toán điểm ngẫu nhiên.



Hình 2.11. Vị trí các điểm thực địa khu vực sông Cả

2.5.2. Dữ liệu sử dụng mô phỏng dòng chảy lưu vực dưới tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu

2.5.2.1. Dữ liệu địa hình

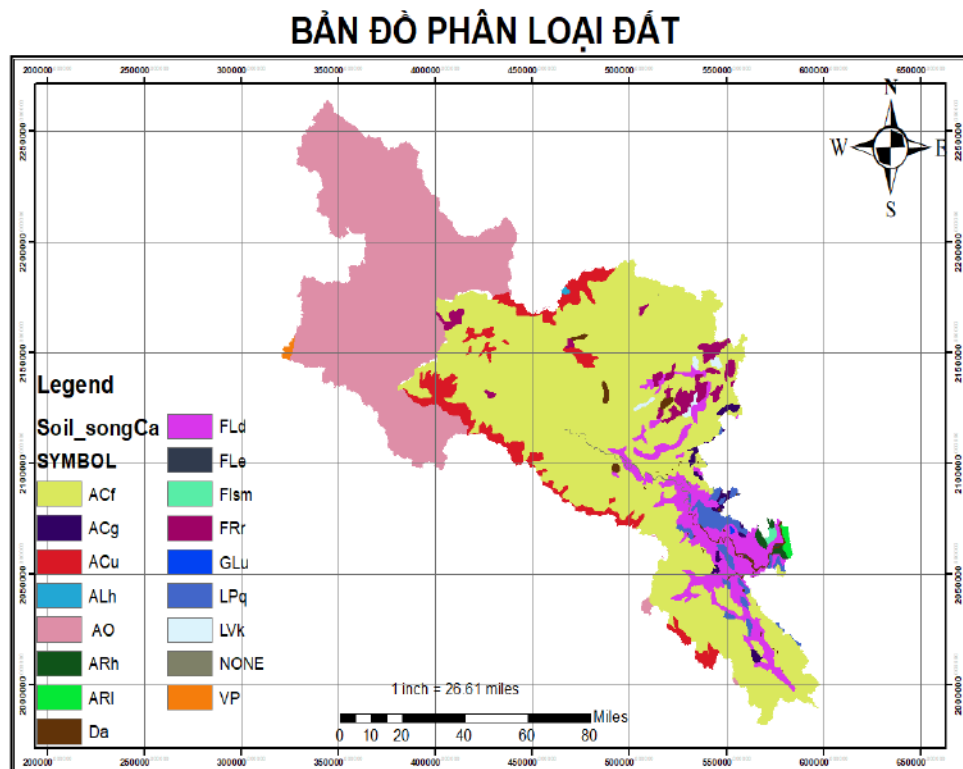


Hình 2.12. Dữ liệu DEM lưu vực sông Cả

Dữ liệu mô hình số địa hình (DEM) của lưu vực sông Cả được thể hiện dưới dạng ô lưới. Dữ liệu được tải về từ trang <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> dưới dạng ô lưới với độ phân giải không gian 30m x 30m và được đưa vào mô hình SWAT để mô phỏng mạng lưới dòng chảy của lưu vực. Số liệu được sử dụng phù hợp về độ chính xác với các ảnh vệ tinh về lớp phủ, cũng như hệ thống thủy hệ thống nhất đã được hiệu chỉnh về hệ tọa độ VN-2000 cho giai đoạn 2005-2020.

2.5.2.2. Dữ liệu đất

Dữ liệu bản đồ đất trên lưu vực sông Cả là dữ liệu về lớp phủ vật chất trên bề mặt lãnh thổ được tham chiếu hệ tọa độ WGS 84. Dữ liệu bao gồm các thuộc tính như: Mã loại đất được phân chia theo FAO và loại đất. Dữ liệu được tham chiếu phân loại đất theo thể giới của FAO. Dữ liệu được lấy từ <https://data.opendevelopmentmekong.net/vi/dataset/soil-types-in-vietnam> đưa vào SWAT để xây dựng bản đồ phân loại đất.



Hình 2.13. Bản đồ loại đất lưu vực sông Cả

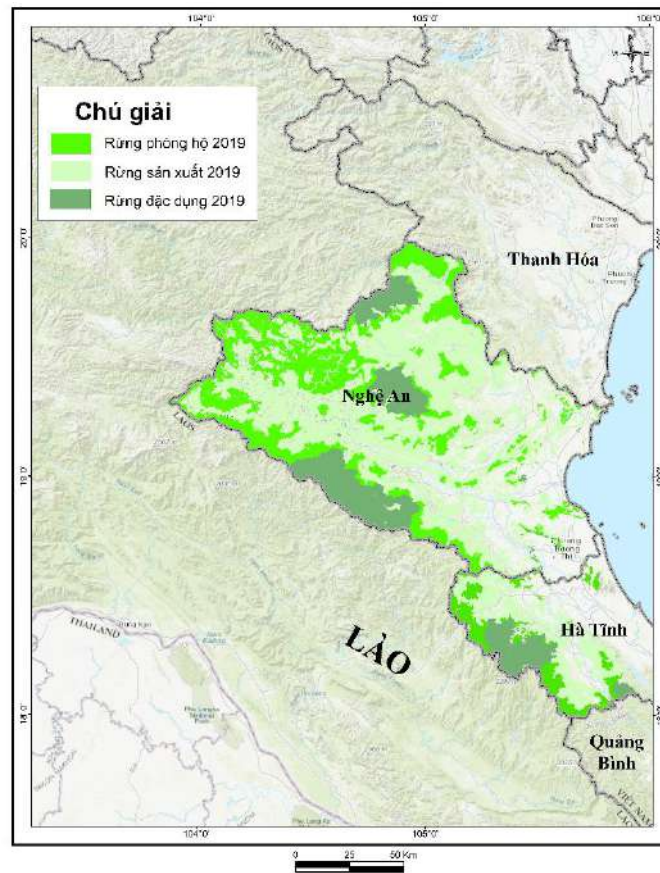
Bảng 2.4. Các loại đất chính trên lưu vực sông Cả

STT	FAOSOIL	Tên theo Việt Nam	Diện tích (ha)
1	Ao90-2/3c	Đất xám bạc màu trên đá trầm tích và đá biến chất	8184
2	I-Lc-Bk-c	Đất núi đá	892
3	Af60-1/2ab	Đất xám bạc màu nâu đỏ	2063
4	Gd29-3a	Đất sét than bùn	2614
5	Ag17-1/2ab	Đất xám bạc màu phiến sét	1209
6	Ao107-2bc	Đất xám bạc màu trên đá	13175

Theo đó, tại khu vực nghiên cứu chủ yếu gồm 6 loại đất, trong đó đất xám bạc màu trên đá chiếm diện tích lớn nhất tới gần 48% tổng diện tích lưu vực. Ngoài ra, đất xám bạc màu trên đá trầm tích và đá biến chất cũng chiếm tỷ lệ 29% tổng diện tích lưu vực. Còn lại là các loại đất khác như: Đất núi đá, đất sét than bùn, đất xám bạc nâu đỏ, và đất xám bạc màu phiến sét.

2.5.2.3. Dữ liệu sử dụng đất

Dữ liệu sử dụng đất được dùng để mô phỏng dòng chảy lưu vực sông Cả là dữ liệu hiện trạng sử dụng đất các năm 2005, 2010, 2015 như đã trình bày trong mục 2.3.1.3, và dữ liệu thảm phủ tương lai năm 2030 là kết quả mô phỏng bởi mô hình M-CA được thực hiện trong luận án. Ngoài ra, các dữ liệu chi tiết khác như hiện trạng rừng do Bộ NN&PTNN công bố cũng được xem xét để cải thiện độ chính xác trong mô phỏng dòng chảy.



Hình 2.14. Hiện trạng rừng 2019 ở 2 tỉnh Nghệ An và Hà Tĩnh (BNNPTNT 2019)

Bảng 2.5. Diện tích rừng năm 2019 2 tỉnh Nghệ An và Hà Tĩnh

Tỉnh	Loại rừng	Diện tích (ha)
Hà Tĩnh	Rừng đặc dụng	56746,1
Hà Tĩnh	Rừng phòng hộ	69205,1
Hà Tĩnh	Rừng sản xuất	112624,34
Nghệ An	Rừng đặc dụng	86076,93109
Nghệ An	Rừng phòng hộ	347402,7051
Nghệ An	Rừng sản xuất	1295320,896

2.5.2.4. Dữ liệu khí tượng

Khí hậu của lưu vực cung cấp năng lượng, độ ẩm và xác định tầm quan trọng tương đối của các thành phần trong chu trình thủy văn. Dữ liệu thời tiết cần thiết cho SWAT bao gồm lượng mưa ngày, nhiệt độ không khí trong ngày lớn nhất; nhỏ nhất, bức xạ mặt trời, tốc độ gió và độ ẩm tương đối.

- Số liệu mưa: Lượng mưa ngày 16 trạm: Dừa, Đô Lương, Nam Đàn, Chợ Trảng, Mùong Xén, Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Hòa Duyệt, Linh Cảm, Sơn Diệm, Cửa Hội, Kim Cương, Hương Khê, Vinh, Quỳnh Hợp, Tây Hiếu, Tương Dương.

- Số liệu nhiệt độ: nhiệt độ không khí trong ngày lớn nhất; nhỏ nhất tại 7 trạm: Quỳnh Châu, Quỳnh Hợp, Tây Hiếu, Tương Dương, Vinh, Hương Khê, Đô Lương.

Số liệu khí tượng được lấy từ Trung tâm Quan trắc KTTV và Môi trường, Tổng cục Khí tượng Thủy văn bao gồm số liệu mưa ngày và số liệu lưu lượng nước trung bình ngày từ năm (1986 - 2015).

2.5.2.5. Dữ liệu dòng chảy thực đo

Dữ liệu lưu lượng dòng chảy thực đo được cung cấp bởi Trung tâm Quan trắc Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Tổng cục Khí tượng Thủy văn, và được sử dụng để đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy của mô hình SWAT.

Số liệu thủy văn bao gồm: lưu lượng trung bình ngày các trạm: Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Sơn Diệm, Hòa Duyệt, Dừa, Yên Thượng từ năm 1961-2019, riêng trạm Yên Thượng bắt đầu có số liệu từ năm 1968-2019.

2.5.2.6. Kịch bản biến đổi khí hậu trên lưu vực sông Cả

Kịch bản biến đổi khí hậu về nhiệt độ, lượng mưa được mô phỏng bằng phương pháp chi tiết hóa động lực trên cơ sở các mô hình khí hậu khu vực RCM với đầu vào từ mô hình toàn cầu GCM. Bằng phương pháp này, mô hình động lực có thể mô phỏng khí hậu ở độ phân giải rất cao và chi tiết các biến đầu ra là nhiệt độ, lượng mưa đến từng phút/giờ/ngày. Do đó, Viện KH KTTV&BĐKH là đơn vị trực tiếp thực hiện kịch bản BĐKH&NBD hoàn toàn có đầy đủ cơ sở dữ liệu mô phỏng kịch bản đến nhiệt độ và lượng mưa ngày. Tuy nhiên, đối với quy mô quốc gia và để đánh giá các biểu hiện của biến đổi khí hậu (thường trong khoảng thời gian dài 20 năm) thì các biến nhiệt độ, lượng mưa ngày không mang nhiều ý nghĩa. Chính vì vậy, kịch bản BĐKH chỉ đưa ra các yếu tố mưa, nhiệt trung bình cho cả thời kỳ (20 năm). Nhưng đối với việc đánh giá tác động cụ thể của BĐKH đến các lĩnh vực, ngành ví dụ như tài nguyên nước bằng mô hình SWAT với cơ sở đầu vào là các biến mưa, nhiệt độ theo ngày thì mô hình động lực nói trên vẫn hoàn toàn có thể đáp ứng được. Tuy

nhiên, để hạn chế tính không chắc chắn của các kịch bản BĐKH thì các dữ liệu thủy văn ngày sau khi được mô phỏng cho tương lai cũng sẽ được trung bình hóa tương tự như đối với kịch bản BĐKH.

Thời kỳ nền (1986-2005) là thời kỳ được sử dụng để so sánh mức tăng hoặc giảm của nhiệt độ và lượng mưa theo các kịch bản biến đổi khí hậu [4].

Lượng mưa tại các trạm đo mưa và nhiệt độ tại các trạm khí tượng trong tương lai được lấy từ kịch bản BĐKH năm 2016: RCP4.5 và RCP8.5, cụ thể:

a) Về thay đổi nhiệt độ

Theo kịch bản RCP4.5 nhiệt độ trung bình năm giai đoạn đầu thế kỷ 21 tăng từ 0,3 đến 1,1°C; theo kịch bản RCP8.5 nhiệt độ trung bình năm giai đoạn này tăng 0,6 đến 1,5°C. Căn cứ theo số liệu đầu vào của mô hình SWAT là nhiệt độ tối thấp và nhiệt độ tối cao, luận án tính toán thống kê thay đổi của 2 đặc trưng nhiệt độ trong bảng 2.6 và bảng 2.7. Trong giai đoạn (2020 - 2039), nhìn chung tại các trạm đều có xu thế tăng nhiệt độ trong các kịch bản nhưng không đồng đều giữa các tháng. Riêng tại kịch bản RCP4.5 tháng V nhiệt độ tại hầu hết các trạm đều giảm. Theo kịch bản RCP8.5 mức tăng nhiệt độ lớn nhất tại trạm Tương Dương là 1.6°C vào tháng IV. Mức tăng nhiệt độ hàng năm tại các trạm trên lưu vực sông Cả được thể hiện trong hình 2.15.

Bảng 2.6. Sự thay đổi nhiệt độ tối thấp trung bình tháng (°C) tại các trạm khí tượng trong giai đoạn 2020 – 2039 so với thời kỳ nền

Nguồn: Viện KH KTTV&BĐKH

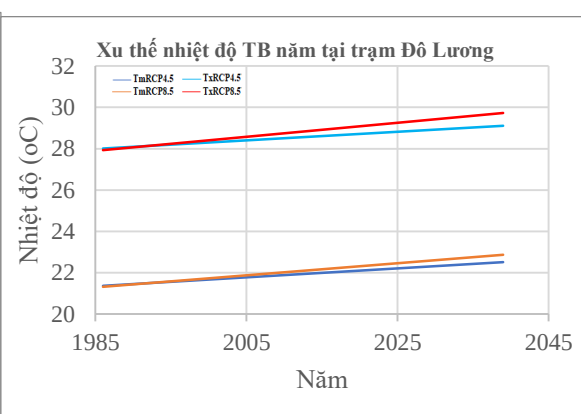
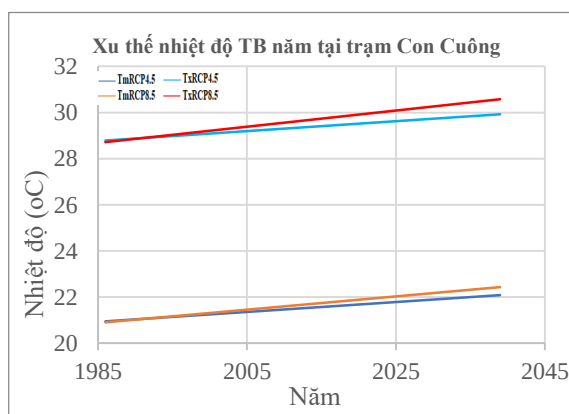
Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
RCP4.5												
Con Cuông	0,7	0,7	1,1	0,9	-0,1	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,9
Đô Lương	0,7	0,7	1,1	0,9	-0,1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,9
Hương Khê	0,8	0,7	1,1	0,9	-0,2	0,7	0,8	0,7	0,7	0,5	0,6	0,8
Quỳ Châu	0,7	0,7	1,2	1,0	-0,1	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,9
Quỳ Hợp	0,7	0,8	1,1	0,9	0,0	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,9
Tây Hiếu	0,8	0,8	1,3	1,0	-0,5	1,0	1,1	1,0	0,8	0,6	0,7	1,0
Tương Dương	0,7	0,7	1,1	0,9	-0,1	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,9
Vinh	0,7	0,7	1,1	0,9	-0,2	0,8	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,8
RCP8.5												
Con Cuông	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,8	1,0
Đô Lương	1,0	1,0	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,8	1,0
Hương Khê	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,1	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8	1,0

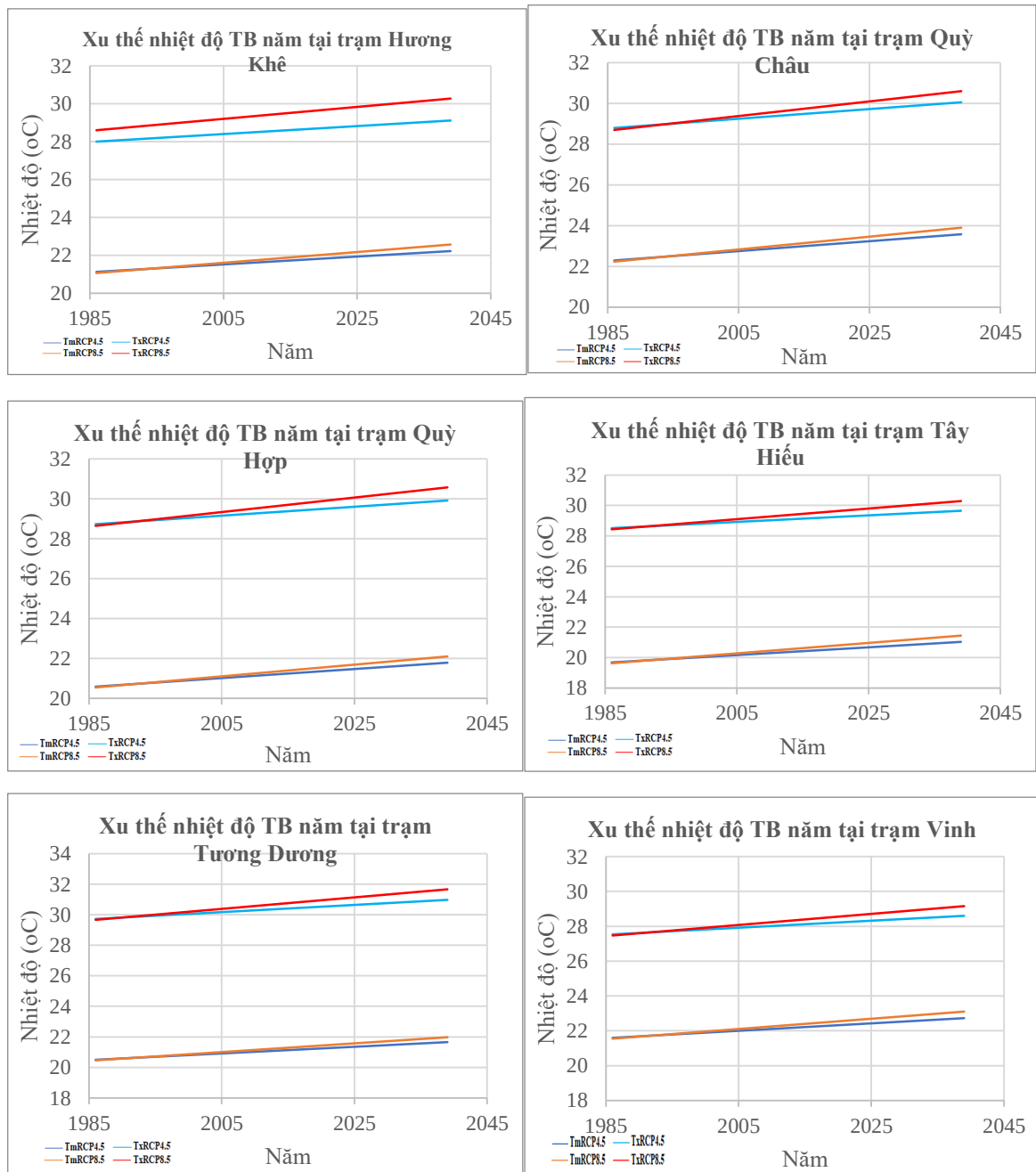
Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Quỳ Châu	1,0	1,1	1,3	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	0,8	1,0
Quỳ Hợp	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	0,8	1,1
Tây Hiếu	1,1	1,1	1,3	1,2	1,2	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	0,9	1,1
Tương Dương	1,0	1,0	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,0	0,7	1,0
Vinh	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	0,8	1,0

Bảng 2.7. Thay đổi nhiệt độ tối cao trung bình tháng (°C) tại các trạm khí tượng trong giai đoạn 2020 – 2039 so với thời kỳ nền

Nguồn: Viện KH KTTV&BĐKH

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
RCP4.5												
Con Cuông	0,7	0,6	0,8	0,9	-0,2	0,8	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7
Đô Lương	0,7	0,6	0,9	0,9	-0,1	0,7	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,7
Hương Khê	0,6	0,5	0,8	0,8	-0,2	0,7	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5	0,7
Quỳ Châu	0,7	0,6	0,8	0,8	0,7	0,8	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,8
Quỳ Hợp	0,7	0,6	0,8	0,8	-0,1	0,8	1,0	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7
Tây Hiếu	0,7	0,6	0,8	0,8	-0,2	0,8	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7
Tương Dương	0,8	0,8	0,9	1,0	-0,2	0,8	1,0	0,9	0,8	0,9	0,8	0,8
Vinh	0,6	0,6	0,8	0,8	-0,2	0,7	1,0	0,9	0,8	0,6	0,6	0,7
RCP8.5												
Con Cuông	1,2	1,1	1,2	1,4	1,3	1,2	1,3	1,3	1,4	1,2	1,1	1,1
Đô Lương	1,2	1,1	1,3	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,4	1,1	1,0	1,1
Hương Khê	1,0	1,0	1,1	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,3	1,0	0,8	1,0
Quỳ Châu	1,3	1,1	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	1,2	1,1	1,1
Quỳ Hợp	1,3	1,2	1,3	1,4	1,3	1,2	1,3	1,3	1,5	1,2	1,1	1,2
Tây Hiếu	1,2	1,1	1,3	1,4	1,2	1,2	1,2	1,3	1,5	1,1	1,1	1,1
Tương Dương	1,4	1,4	1,4	1,6	1,3	1,2	1,3	1,3	1,5	1,3	1,2	1,2
Vinh	1,1	1,0	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	0,9	0,9	1,0



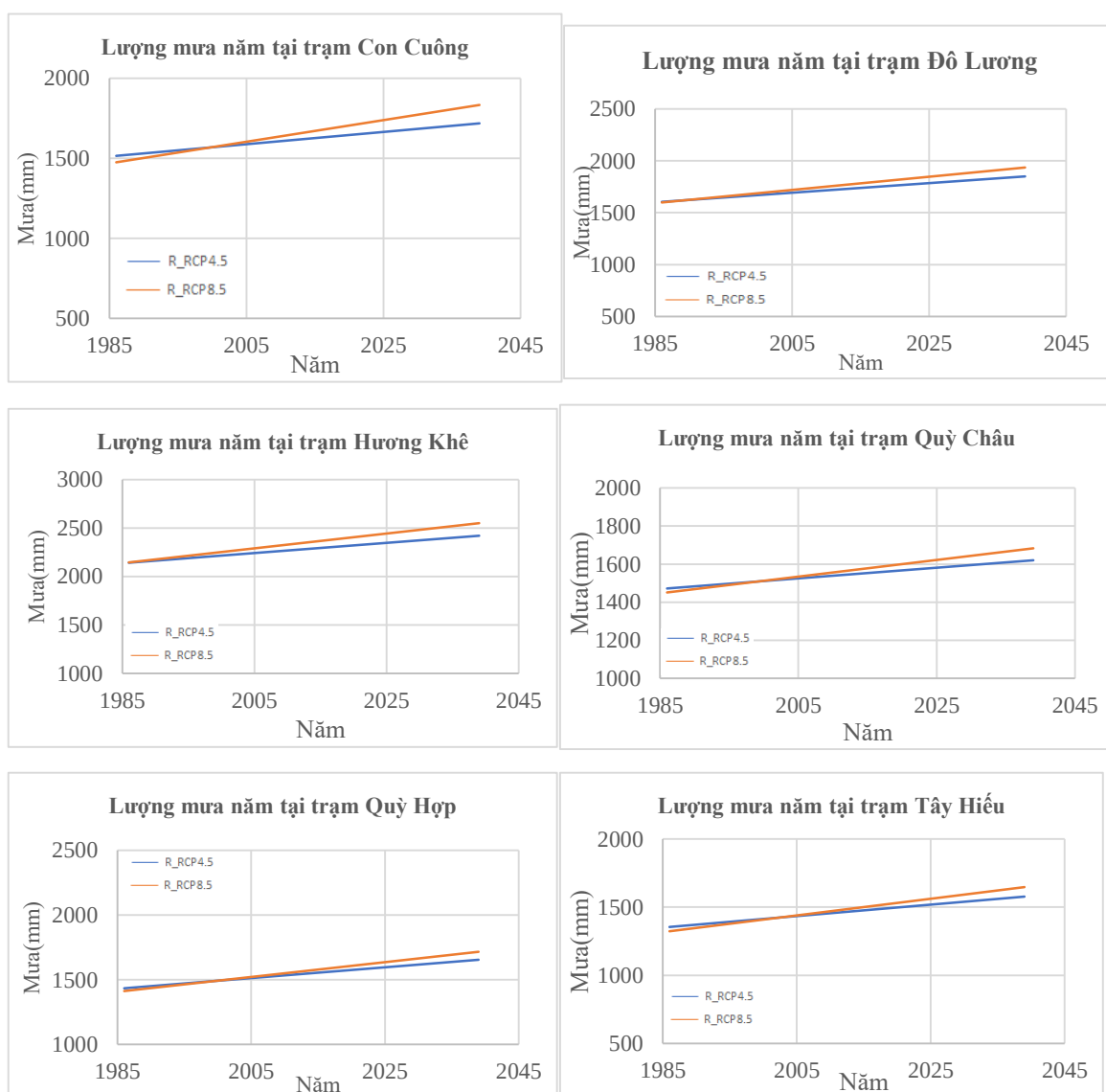


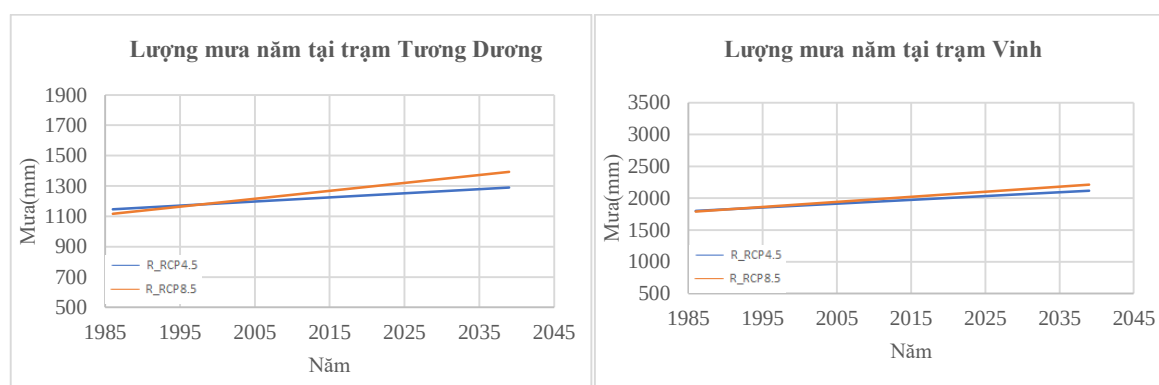
Hình 2.15. Xu thế nhiệt độ tối thấp, tối cao trung bình năm tại các trạm trên lưu vực sông Cả theo 02 kịch bản BĐKH

Tại tất cả các trạm trên lưu vực sông Cả nhiệt độ theo kịch bản RCP8.5 đều lớn hơn kịch bản RCP4.5 ở cả nhiệt độ tối thấp và nhiệt độ tối cao. Mức tăng nhiệt độ tại các trạm sẽ tăng dần theo thời gian.

b) Về thay đổi lượng mưa

Cũng giống như sự biến đổi nhiệt độ, xu thế biến đổi lượng mưa tại các trạm trên lưu vực sông Cả trong thời gian nghiên cứu đều tăng so với kịch bản nền ở cả 2 kịch bản RCP4.5 và RCP8.5 ở cả 2 kịch bản nhưng xu thế biến đổi lượng mưa trong thời gian này không có sự khác nhau quá nhiều giữa 2 kịch bản như hình 2.16. Tỷ lệ biến đổi lượng mưa theo tháng của từng kịch bản BĐKH so với kịch bản nền được tổng hợp trong bảng 2.8, bảng 2.9.





Hình 2.16. Xu thế thay đổi lượng mưa năm tại các trạm trên lưu vực sông Cả theo 02 kịch bản BĐKH

Bảng 2.8. Sự thay đổi lượng mưa trung bình tháng tại các trạm khí tượng theo kịch bản RCP4.5 giai đoạn 2020 – 2039 so với thời kỳ nền

Nguồn: Viện KH KTTV&BĐKH

Trạm	Đơn vị	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Con Cuông	mm	0,4	0,7	2,7	-8,4	3,4	2,8	4,3	24,4	33,8	36,7	3,7
	%	1,4	1,7	6,1	-11,1	1,6	2,2	2,8	10,2	11,7	14,5	5,5
Đô Lương	mm	0,2	1,2	2,7	-7,9	-2,3	22,9	23,6	18,6	13,6	38,1	6,5
	%	0,8	3,5	6,6	-11,2	-1,3	17,6	14,2	7,7	4,0	11,8	7,9
Hương Khê	mm	5,4	2,4	3,4	-0,2	-4,5	21,2	3,0	36,6	32,1	-17,9	43,9
	%	13,8	5,3	5,3	-0,2	-2,0	14,6	2,0	13,2	7,6	-3,4	25,9
Quỳ Châu	mm	-1,0	-0,8	3,8	-4,1	9,2	2,4	5,3	10,8	25,4	24,9	1,1
	%	-9,1	-6,1	13,9	-4,9	3,7	1,3	2,8	4,1	10,0	14,4	2,8
Quỳ Hợp	mm	-1,0	0,3	3,3	-3,6	11,9	18,4	9,8	21,0	25,5	32,0	2,0
	%	-7,2	1,4	10,0	-4,6	5,8	10,9	5,6	7,9	9,7	16,0	5,0
Tây Hiếu	mm	0,7	-0,9	2,3	-3,0	0,3	19,8	15,8	10,2	19,1	47,6	2,4
	%	5,1	-4,6	7,8	-5,2	0,2	13,7	9,3	4,0	7,0	22,8	4,9
Tương Dương	mm	-0,9	0,1	5,0	-7,3	20,4	-10,4	-1,7	32,7	15,0	21,7	0,5
	%	-14,9	0,6	17,4	-11,1	12,4	-7,6	-1,0	14,5	8,0	16,5	1,4
Vinh	mm	2,8	0,5	1,9	-6,0	5,8	23,9	0,5	25,8	27,6	46,4	24,2
	%	5,0	1,4	3,1	-10,9	3,5	28,6	0,5	11,0	7,2	8,8	20,9

Bảng 2.9. Sự thay đổi lượng mưa trung bình tháng tại các trạm khí tượng theo kịch bản RCP8.5 giai đoạn 2020 – 2039 so với thời kỳ nền

Nguồn: Viện KH KTTV&BĐKH

Trạm	Đơn vị	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Con Cuông	mm	2,2	0,3	1,3	-15,9	32,6	13,2	37,7	69,0	14,4	20,1	39,9	3,0
	%	7,8	0,7	2,9	-20,9	15,7	10,5	24,7	28,8	5,0	7,9	59,3	9,0

Đô Lương	mm	1,2	1,3	-0,5	-16,6	12,3	23,3	47,5	57,0	-21,4	40,6	61,5	0,4
	%	4,5	3,7	-1,2	-23,5	7,1	17,9	28,6	23,6	-6,2	12,5	75,0	1,1
Hương Khê	mm	5,0	3,5	0,1	-20,6	-5,9	4,1	33,6	93,9	-14,4	27,2	106,5	2,3
	%	12,8	7,7	0,2	-23,8	-2,6	2,8	22,7	34,0	-3,4	5,1	62,8	3,3
Quỳ Châu	mm	0,3	-0,7	2,5	-13,5	10,5	3,8	37,4	50,6	12,9	11,7	18,3	0,2
	%	2,7	-5,3	9,1	-16,3	4,2	2,1	19,5	19,0	5,1	6,8	46,5	1,2
Quỳ Hợp	mm	0,6	0,3	1,9	-12,9	22,0	9,4	38,0	54,7	20,6	25,2	22,4	0,3
	%	4,3	1,4	5,8	-16,5	10,7	5,6	21,7	20,7	7,8	12,6	56,2	1,4
Tây Hiếu	mm	1,3	-0,4	1,6	-13,0	7,1	6,6	44,1	53,2	11,0	46,2	36,2	0,9
	%	9,4	-2,1	5,4	-22,3	4,4	4,6	26,0	21,0	4,0	22,2	74,4	3,9
Tương Dương	mm	1,4	0,2	3,2	-10,6	36,4	6,1	26,0	59,5	23,2	9,6	12,8	1,5
	%	23,2	1,2	11,1	-16,1	22,2	4,4	15,8	26,4	12,4	7,3	37,1	11,4
Vinh	mm	3,8	0,9	0,7	-15,0	23,4	25,5	26,4	70,4	-11,3	42,8	83,9	2,8
	%	6,8	2,6	1,1	-27,2	14,0	30,6	27,8	30,1	-3,0	8,1	72,5	4,2

Nếu xét cả năm thì tổng lượng mưa năm của 2 kịch bản BĐKH đều tăng so với kịch bản nền ở tất cả các trạm trên lưu vực sông Cả. Lượng mưa năm ở kịch bản RCP8.5 tăng nhiều hơn so với RCP4.5. Trạm Vinh có lượng mưa năm tăng nhiều nhất là 155,6 mm và 254,4 mm tương ứng kịch bản RCP4.5 và kịch bản RCP8.5. Lượng mưa năm tăng ít nhất là 74,1 mm tại trạm Tương Dương ở kịch bản RCP4.5.

Nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa, lưu vực sông Cả chịu ảnh hưởng lớn của khí hậu chuyển tiếp của miền Bắc và miền Nam, với đặc trưng khí hậu nhiệt đới điển hình của miền Nam và có một mùa đông giá lạnh của miền Bắc. Trong năm, Mưa trên lưu vực phân thành hai mùa rõ rệt: Ở thượng nguồn sông Cả, sông Hiếu mùa mưa bắt đầu từ tháng V kết thúc vào tháng X. Vùng đồng bằng hạ du sông Cả, sông La mùa mưa bắt đầu từ tháng VI và kết thúc tháng XI. Nếu xét theo mùa, nhìn chung, tổng lượng mưa trong mùa khô giảm và tổng lượng mưa trong mùa mưa đều tăng rõ rệt ở với 2 kịch bản tại tất cả các trạm. Trong mùa khô, lượng mưa tháng biến đổi giảm hoặc tăng không đáng kể. Tháng có lượng mưa giảm nhiều nhất là tháng IV ở cả 2 kịch bản tại tất cả các trạm, đặc biệt ở kịch bản RCP8.5 tại trạm Vinh lượng mưa tháng IV trung bình giai đoạn 2020 – 2039 giảm 27,2%. Còn mùa mưa, hầu hết tại các trạm lượng mưa biến đổi đều có xu thế tăng. Lượng mưa tháng tăng nhiều nhất vào tháng IX. Lượng mưa tháng tăng nhiều nhất là 106,5 mm vào tháng IX tại trạm Hương Khê theo kịch bản RCP8.5. Theo xu thế % biến đổi lượng mưa tại kịch bản

RCP8.5 mưa tăng nhiều nhất tại tháng XI, tất cả các trạm đều trên 35% đặc biệt trạm Đô Lương lượng mưa tăng 75%.

2.6. Tiểu kết chương 2

Chương 2 đã nêu các cơ sở khoa học được sử dụng trong luận án và chứng minh rằng việc mô phỏng và dự tính thảm phủ tương lai năm 2030 bằng mô hình M-CA là hoàn toàn khả thi về mặt lý thuyết. Thêm vào đó, việc kết hợp đồng thời 2 kịch bản là biến đổi khí hậu và thảm phủ tương lai vào mô hình SWAT để đánh giá dòng chảy lưu vực sông Cả là có độ tin cậy về mặt khoa học.

Phương pháp luận để thực hiện mô phỏng và đánh giá dòng chảy lưu vực sông Cả là phù hợp với các cơ sở khoa học và mang tính kế thừa. Quy trình thực hiện được trình bày rõ ràng từng bước thực hiện từ thu thập, xử lý dữ liệu cho đến các bước kiểm định, hiệu chỉnh và đưa vào mô phỏng. Trong đó, phương pháp xây dựng các tác nhân, ràng buộc và quy tắc chuyển đổi để dự tính kịch bản thảm phủ tương lai cho lưu vực sông Cả được chú trọng hơn trong luận án. Phương pháp mô phỏng tác động của thay đổi thảm phủ đến dòng chảy được kế thừa từ các nghiên cứu trước đây.

Các số liệu Kịch bản thảm phủ và Kịch bản biến đổi khí hậu tương lai được mô phỏng đồng bộ và đưa vào mô hình SWAT là phù hợp về không gian và thời gian, giúp cải thiện độ chính xác mô phỏng dòng chảy tương lai.

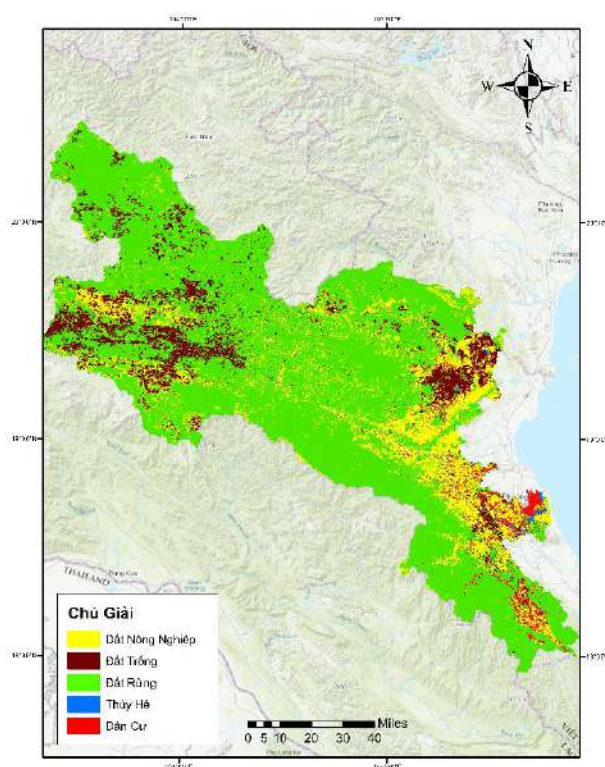
CHƯƠNG 3: ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA THAY ĐỔI THẨM PHỦ VÀ BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN DÒNG CHẢY LƯU VỰC SÔNG CẢ

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

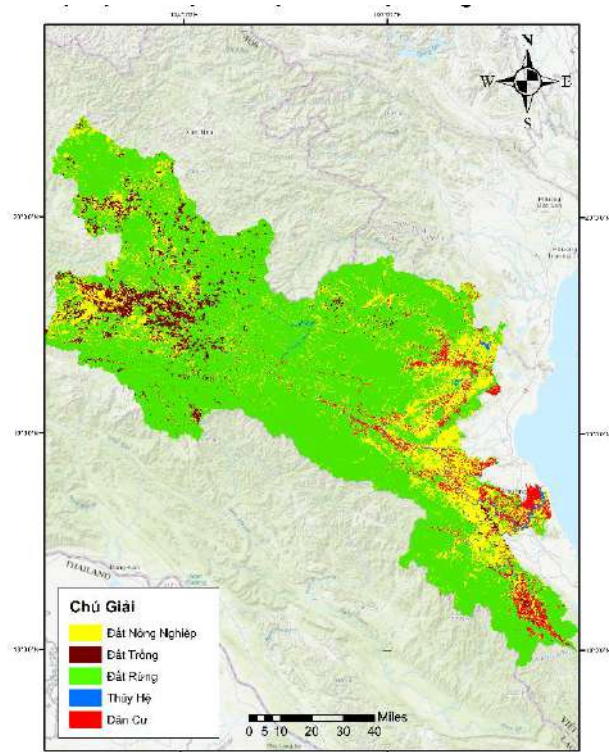
Để mô phỏng biến động thẩm phủ theo không gian, thời gian cho lưu vực sông Cả, các bước của quy trình mô phỏng được áp dụng và kết quả từng bước cụ thể như sau:

3.1.1. Phân loại thẩm phủ

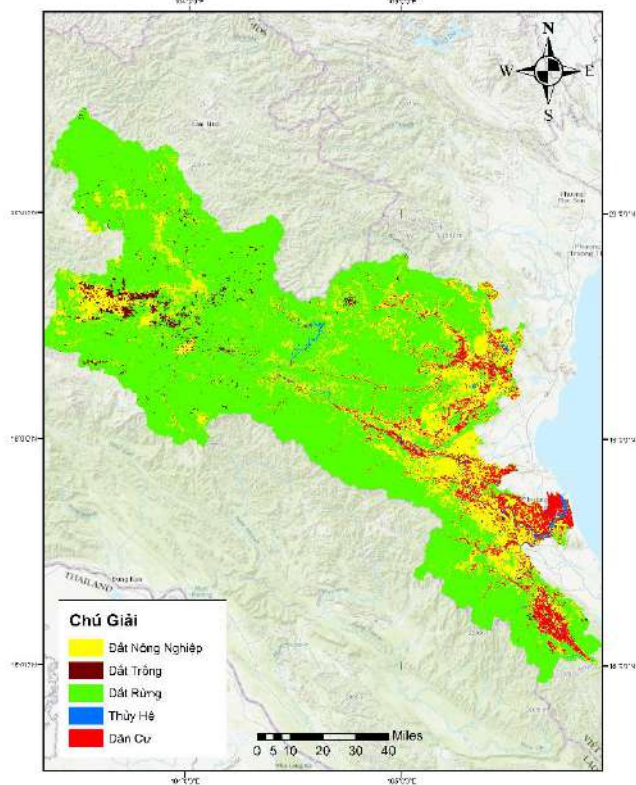
Các ảnh Landsat 5 TM và Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) và Cảm biến hồng ngoại nhiệt (TIRS) được thu thập theo Bảng 2. Tất cả các cảnh ảnh được hiệu chỉnh về độ chính xác hình học và đưa về hệ quy chiếu WGS 1984, UTM múi 48N. Sau khi trải qua các bước tiền xử lý ảnh, các ảnh được xếp chồng và phân tích bằng phần mềm ENVI, ArcGIS và được phân loại bằng cách sử dụng thuật toán xác suất cực đại (MLC). Kết quả phân loại được trình bày trong Hình 3.1 dưới đây:



a)



b)



c)

Hình 3.1. Bản đồ phân loại thảm phủ lưu vực sông Cả
(a) 2005, (b) 2010, (c) 2015

Đánh giá độ chính xác đã được sử dụng để đánh giá độ chính xác của dữ liệu được phân loại. 175 mẫu thử nghiệm đã được chọn, trong đó 90 mẫu là các điểm GPS được thu thập tại thực địa, số còn lại là các điểm được chọn ngẫu nhiên từ Google Maps với các ảnh vệ tinh QuickBird và IKONOS độ phân giải ảnh rất cao <1m, các số liệu được cung cấp trực quan đến thời kỳ phân loại. Nghiên cứu đã tính toán và đánh giá chỉ số PA, UA, CA và Kappa cho dữ liệu phân loại của các năm 2005, 2010 và 2015. Kết quả được trình bày 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 (%)
Đất nông nghiệp	68.40	74.28	77.77	80.00	83.33	85.71
Đất trống	74.19	65.71	84.85	80.00	86.11	88.57
Đất rừng	78.38	82.86	80.00	91.43	91.67	94.29
Vùng nước	87.88	82.86	94.44	97.14	100	100
Đất xây dựng	77.78	80.00	93.33	80.00	93.75	85.71
Tổng thể CA (%)	77.14		85.71		90.86	
Chỉ số Kappa	0.7143		0.8214		0.8857	

Theo đó, Độ chính xác nhà sản xuất (PA) và Độ chính xác người dùng (UA) của mỗi lớp phủ đều lớn hơn 75% đối với kết quả phân loại năm 2010 và 2015. Cụ thể, riêng năm 2005, chỉ số PA của đất nông nghiệp chỉ đạt 68,40%, UA của đất trống chỉ đạt 65,71%, tuy nhiên, PA và UA của các lớp phủ khác vẫn đạt trên 75% trong cả 3 năm. Tổng thể Độ chính xác phân loại thảm phủ của dữ liệu phân loại cho các năm 2005, 2010 và 2015 lần lượt là 77,14%, 85,71%, 90,86%. Chỉ số Kappa cho kết quả phân loại năm 2005, 2010, 2015 là 0,71, 0,82, và 0,88, tương ứng. Chỉ số CA và Kappa của năm 2005 tương đối thấp hơn so với các năm khác có thể được giải thích là do dữ liệu kiểm tra được thu thập vào năm 2018 nên vẫn có sự khác biệt nhất định so với năm 2005.

3.1.2. Tính toán ma trận xác suất chuyển đổi, ma trận diện tích chuyển đổi

Các ma trận này được tính toán bằng cách lập bảng so sánh chéo giữa các cặp ảnh thảm phủ (2005 - 2010 và 2010 - 2015) đã được điều chỉnh sai số tỷ lệ (trong trường hợp Phân loại xác suất cực đại là 0,15) và tạo thành một tập ảnh thể hiện xác suất chuyển đổi (mỗi tập ảnh gồm các cặp lớp phủ vd: Đất rừng 2005 – Đất rừng

2010, Đất rừng 2005 – Đất nông nghiệp 2010,..., Đất nông nghiệp 2005 – Đất nông nghiệp 2010, Đất nông nghiệp 2005 – Đất xây dựng 2010,..., tương tự với năm 2010 - 2015). Từ các tập ảnh đó, phần mềm TerrSet hỗ trợ tính toán các ma trận xác suất chuyển đổi, ma trận diện tích chuyển đổi. Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 3.2 và Bảng 3.3.

Bảng 3.2. Ma trận xác suất chuyển đổi giai đoạn 2005 - 2010 và 2010 - 2015 lưu vực sông Cả (%)

		Đất nông nghiệp (%)	Đất trồng (%)	Đất rừng (%)	Vùng nước (%)	Đất xây dựng (%)
2005 - 2010	Đất nông nghiệp	42,98	7,14	38,58	1,76	9,54
	Đất trồng	35,74	17,35	43,15	0,39	3,37
	Đất rừng	22,53	5,97	70,52	0,37	0,61
	Vùng nước	24,07	0,63	7,92	63,22	4,15
	Đất xây dựng	18,75	3,15	5,71	1,96	70,43
2010 - 2015	Đất nông nghiệp	63,89	4,26	21,69	1,20	8,96
	Đất trồng	25,76	66,40	4,70	0,38	2,75
	Đất rừng	24,81	3,34	70,76	0,47	0,63
	Vùng nước	15,00	0	0	85,00	0
	Đất xây dựng	0	0	0,01	15,97	84,02

Bảng 3.2 cho thấy khả năng chuyển đổi của đất nông nghiệp và đất trồng cao hơn đất rừng, đất xây dựng và vùng nước trong giai đoạn 2005-2010. Đất xây dựng và vùng nước chỉ có rất ít khả năng chuyển thành các loại đất che phủ khác, chỉ khoảng 15% trong giai đoạn 2010-2015.

Ma trận diện tích chuyển đổi ghi lại số ô hoặc pixel dự báo sẽ thay đổi từ lớp thảm phủ này sang lớp thảm phủ khác trong giai đoạn tiếp theo. Ma trận này được tạo ra bằng cách nhân các cột trong ma trận xác suất chuyển đổi với số pixel của lớp

thảm phủ tương ứng được tính trong ảnh thứ hai. Kết quả của ma trận diện tích chuyển đổi được trình bày trong Bảng 3.3.

Bảng 3.3. Ma trận diện tích chuyển đổi giai đoạn 2005 - 2010 và 2010 - 2015 lưu vực sông Cả (pixel)

		Đất nông nghiệp (pixel)	Đất trống (pixel)	Đất rừng (pixel)	Vùng nước (pixel)	Đất xây dựng (pixel)
2005 - 2010	Đất nông nghiệp	3.511.522	583.006	3.151.858	144.081	779.401
	Đất trống	744.148	361.252	898.504	8.171	70.201
	Đất rừng	4.778.388	1.265.217	14.955.883	78.376	129.558
	Vùng nước	95.896	2.527	31.554	251.882	16.539
	Đất xây dựng	309.583	51.943	94.306	32.381	1.162.909
2010 - 2015	Đất nông nghiệp	5.974.382	398.421	2.028.508	112.114	837.973
	Đất trống	579.574	1.494.112	105.851	8.601	61.880
	Đất rừng	4.479.663	602.590	12.778.159	84.471	114.425
	Vùng nước	81.596	0	0	462.369	0
	Đất xây dựng	19	56	169	358.662	1.886.814

Bảng 3.3 cho thấy một cái nhìn rõ ràng hơn về số lượng pixel đã thay đổi từ một lớp này sang lớp khác. Cụ thể, số lượng pixel trong lớp đất rừng có sự thay đổi lớn nhất trong cả hai giai đoạn, ngay sau đó là lớp đất nông nghiệp. Lớp ít thay đổi nhất là lớp vùng nước.

3.1.3. Xác định các tác nhân, ràng buộc để mô phỏng thay đổi thảm phủ về mặt không gian

Theo định nghĩa một CA 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. Trong đó, như đã nói quy tắc chuyển đổi f là quan trọng nhất, ảnh hưởng lớn đến độ chính xác của mô hình.

Quy tắc chuyển đổi f lại được hình thành bởi mối liên hệ giữa các yếu tố kinh tế xã hội, sinh thái và không gian (ví dụ: đất xây dựng có xu hướng phát triển gần đường xá). Bên cạnh đó, là những ràng buộc đối với từng loại lớp phủ (ví dụ: các khu vực rừng được quy hoạch để bảo tồn). Do đó, các yếu tố ảnh hưởng và ràng buộc là hai thành phần quyết định đến quy tắc chuyển đổi f . Và các quy tắc chuyển đổi này được thể hiện bằng các bản đồ tính phù hợp, mỗi bản đồ tính phù hợp cho một lớp phủ, thể hiện khả năng chuyển đổi của các pixel thảm phủ về mặt không gian dựa theo số lượng pixel đã được xác định trong mô hình Markov. Khả năng đó được thể hiện trong khoảng từ 0 đến 255, 255 tương ứng với khả năng cao nhất và 0 là thấp nhất.

Việc lựa chọn các tác nhân và ràng buộc ảnh hưởng tới sự thay đổi thảm phủ về mặt không gian hoàn toàn phụ thuộc vào các điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội của lưu vực sông nghiên cứu và được tham vấn ý kiến của các chuyên gia thông qua phương pháp Delphi.

Trước hết, danh mục các tác nhân và ràng buộc được tổng hợp dựa theo các nghiên cứu trước đây. Đặc biệt nghiên cứu của Agarwal [33] đã xem xét và đánh giá 19 mô hình có khả năng mô phỏng thay đổi thảm phủ. Trong đó, 19 mô hình được xem xét theo 3 nhóm: nhóm các mô hình chỉ mô phỏng dựa trên quá trình lý sinh của thảm phủ; nhóm các mô hình không gian, thời gian mô phỏng cả tác nhân lý sinh và tác nhân con người; nhóm các mô hình hỗ trợ ra quyết định chỉ mô phỏng dựa trên các tác nhân con người. Các mô hình này bao gồm cả các tác nhân đã sử dụng được đánh giá về quy mô, phạm vi, độ phân giải, và mức độ hỗ trợ ra quyết định (6 cấp độ hỗ trợ ra quyết định). Theo đó mô hình MCA nằm trong nhóm mô hình không gian, thời gian bao gồm 4 tác nhân: độ cao, độ dốc, đường xá và phạm vi các khu đô thị cũng được xem xét đánh giá. Thêm vào đó, một trong những nghiên cứu cũng rất được quan tâm trong việc lựa chọn các tác nhân gây thay đổi thảm phủ là nghiên cứu của Hao Wu. Nghiên cứu nhằm xác định các tác nhân chính gây ảnh hưởng đến thảm

phủ bằng phương pháp Học máy (Machine Learning) Rừng ngẫu nhiên (Random Forest) và đồng thời đánh giá mức độ quan trọng của các tác nhân trong giai đoạn 2010-2015 và 2015-2020 [63]. Nghiên cứu đã tổng hợp, đánh giá 24 tác nhân, chia làm 2 loại chính là tác nhân lý sinh và tác nhân con người, cụ thể: 3 tác nhân lý sinh là: độ cao, độ dốc, địa mạo; 21 tác nhân con người chia làm 6 mục chính: dịch vụ công cộng và hành chính, dịch vụ kinh doanh, nhà kho và nhà xưởng, hạ tầng nông nghiệp, nhà ở, giao thông. Nghiên cứu đã kết luận rằng các tác nhân độ cao, địa mạo, dịch vụ kinh doanh và hạ tầng nông nghiệp là các tác nhân quan trọng nhất trong việc thay đổi sử dụng đất. Trong đó, các tác nhân lý sinh đóng vai trò quan trọng hơn trong các thay đổi đất thuộc về tự nhiên như: đất nông nghiệp, đất rừng, và nước. Ngược lại, các thay đổi trong đất xây dựng và đất trồng chịu ảnh hưởng lớn bởi các tác nhân con người, đặc biệt là các dịch vụ kinh doanh và dịch vụ hành chính.

Kết hợp với các nghiên cứu như [39], [42], [44], [54], [60], [61], [62], [64], [71], [81], [82], [86], [93], [102], [108], [117] luận án đã lựa chọn được tập hợp các tác nhân và ràng buộc để tham vấn ý kiến chuyên gia. Các tác nhân và ràng buộc được gửi cho các chuyên gia đánh giá theo các tiêu chí: Rõ ràng, Liên quan, Thích hợp, Khả thi, cụ thể:

Rõ ràng: Tác nhân có nắm bắt được sự thay đổi về không gian của thảm phủ không? Tác nhân có phân biệt rõ ràng sự khác biệt giữa các lớp phủ không?

Liên quan: Tác nhân có phản ánh được sự thay đổi thảm phủ không? Có nhạy cảm với sự thay đổi thảm phủ không?

Thích hợp: Tác nhân có thực sự phù hợp với khu vực nghiên cứu không? Tác nhân có thể đo lường được không?

Khả thi: Số liệu có thực sự sẵn sàng và đảm bảo độ chính xác không? Nguồn gốc số liệu có rõ ràng hay không?

Sau đó, phương pháp Delphi được sử dụng để tham vấn ý kiến các chuyên gia. Quá trình tham vấn được chia thành 3 vòng, các bước thực hiện cụ thể như sau:

Bước 1: Lựa chọn nhóm chuyên gia

Số lượng chuyên gia được lựa chọn để tham vấn là 09 chuyên gia. Các chuyên gia được lựa chọn có chuyên môn về viễn thám, khí tượng, thủy văn; có kiến thức, kinh nghiệm liên quan tới thảm phủ và am hiểu về biến động thảm phủ, cụ thể: 03 chuyên gia về viễn thám & GIS, 03 chuyên gia về thủy văn hải văn, 03 chuyên gia về khí tượng khí hậu.

Số lượng chuyên gia được lựa chọn là 09 chuyên gia tham gia tham vấn vòng 1 theo các tiêu chí trên. Sau đó, các ý kiến chuyên gia được tổng hợp và xếp hạng theo số lượng ý kiến tương đồng nghĩa là chuyên gia có nhiều người đồng thuận nhất thì được tiếp tục phỏng vấn vòng 2 và 3. Theo đó, vòng 2 lựa chọn 07 chuyên gia từ 09 chuyên gia vòng 1, vòng 3 tiếp tục lựa chọn 07 chuyên gia vòng 2.

Bước 2: Thiết kế bảng hỏi cho vòng Delphi thứ nhất

Từ tổng quan các nghiên cứu trước đây đã thực hiện mô phỏng MCA tại các khu vực khác nhau trong và ngoài nước, luận án đã lập danh mục các tác nhân và ràng buộc được sử dụng nhiều nhất.

Bảng hỏi vòng 1 được thiết kế dưới dạng các câu hỏi mở để xin ý kiến tham vấn 09 chuyên gia về các tác nhân và ràng buộc có ảnh hưởng đến thay đổi thảm phủ về mặt không gian phù hợp với các tiêu chí đã đưa ra và điều kiện khu vực nghiên cứu (Bảng 3.4).

Bảng 3.4. Bảng câu hỏi vòng 1 Delphi tham vấn ý kiến chuyên gia

Tác nhân & Ràng buộc	Ý kiến chuyên gia									Tỷ lệ đồng ý
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Nhóm tác nhân lý sinh										
Độ cao	x	x	x	x	x		x	x	x	88,9
Độ dốc	x	x	x	x	x	x	x	x	x	100,0
Địa mạo	x	x		x	x	x		x	x	77,8
Mưa		x	x		x	x	x			55,6
Loại đất	x		x	x		x	x	x		66,7
Nhóm tác nhân con người										
Đường	x	x		x		x	x	x	x	77,8
Mật độ dân số	x	x	x	x	x	x		x	x	88,9
Giá đất		x		x			x	x		44,4
Mật độ cây cối	x	x				x	x			44,4
Sông ngòi	x	x	x		x	x		x	x	77,8

Khu vực quy hoạch			x	x	x	x	x	x		66,7
Ràng buộc										
Khu vực bảo tồn	x		x	x	x	x	x		x	77,8
Khu vực đất đô thị	x	x	x	x	x		x	x	x	88,9

Bước 3: Bảng câu hỏi vòng 2

Sau khi có góp ý của các chuyên gia, luận án đã thực hiện lựa chọn các tác nhân và ràng buộc. Bảng hỏi đóng vòng 2 được thiết kế dựa trên kết quả tham vấn từ vòng 1 với nguyên tắc lấy đáp án được lựa chọn nhiều nhất tại vòng 1 (>50% chuyên gia lựa chọn), từ đó lựa chọn được 09 tác nhân và 02 ràng buộc phù hợp với các tiêu chí đặt ra.

Bảng hỏi vòng 2 yêu cầu các chuyên gia đánh giá mức độ đồng thuận với các tác nhân và ràng buộc đưa ra. Mức đồng thuận được sắp xếp từ 1-5, cụ thể: (1) Rất không liên quan, (2) Không liên quan, (3) Có ít nhiều liên quan, (4) Liên quan, (5) Rất liên quan.

Dựa vào kết quả đánh giá của 07 chuyên gia lựa chọn từ 09 chuyên gia vòng 1, các giá trị Trung vị (M_d), Độ lệch tứ phân vị (Q), Giá trị trung bình (q_i) và Độ lệch chuẩn theo quy tắc KAMET được tính toán (Bảng 3.5)

Bảng 3.5. Mức độ đồng ý của các chuyên gia vòng 2 Delphi

Tác nhân & Ràng buộc	Mức độ đồng ý của các chuyên gia							Trung vị M_d	Độ lệch tứ phân vị Q	Điểm số trung bình q_i	Độ lệch chuẩn
	1	2	3	4	5	6	7				
Nhóm tác nhân lý sinh											
Độ cao	3	4	4	5	4	5	5	4	0,5	4,3	0,76
Độ dốc	5	5	5	4	5	5	5	5	0	4,9	0,38
Địa mạo	5	5	5	4	4	5	5	5	0,5	4,7	0,49
Mưa	3	3	3	4	3	4	2	3	0,5	3,1	0,69
Loại đất	3	3	3	3	3	4	4	3	0,5	3,3	0,49
Nhóm tác nhân con người											
Đường	4	4	5	5	5	4	5	5	0,5	4,6	0,53
Mật độ dân số	4	3	3	3	4	3	4	3	0,5	3,4	0,53
Sông ngòi	5	5	4	4	5	5	4	5	0,5	4,6	0,53
Khu vực quy hoạch	4	5	5	4	5	4	5	5	0,5	4,6	0,53

Ràng buộc											
Khu vực bảo tồn	5	5	5	4	5	5	4	5	0,5	4,7	0,49
Khu vực đất đô thị	5	4	4	5	5	5	5	5	0,5	4,7	0,49

Bước 4: Phân tích dữ liệu vòng 2

Dữ liệu tham vấn vòng 2 được tổng hợp và phân tích kết quả theo quy tắc KAMET để đánh giá mức độ đồng thuận của các chuyên gia đối với từng tác nhân và ràng buộc.

Dữ liệu vòng 2 được phân tích thông qua các chỉ số: Chỉ số tin cậy, mức độ đồng thuận, điểm số trung bình, độ lệch chuẩn. Điểm số trung bình, độ lệch chuẩn, tứ phân vị được tính cho mỗi câu. Trong đó, độ lệch chuẩn là thước đo quan trọng của độ biến thiên. Độ lệch chuẩn cho biết độ biến thiên xung quanh điểm số trung bình của từng câu hỏi. Các giá trị của tứ phân vị đó là: tứ phân vị thứ nhất, tứ phân vị thứ 2 và thứ 3. Ba giá trị này chia một tập hợp điểm số trung bình của các thành viên trong nhóm Delphi có số lượng câu hỏi đánh giá đều nhau. Giá trị tứ phân vị cho phép đánh giá độ tập trung hay phân tán của các ý kiến đánh giá phản hồi của các thành viên được tham vấn.

Bước 5: Bảng câu hỏi vòng 3

Bảng câu hỏi vòng 3 sau khi được chỉnh sửa, tiếp tục gửi cho 07 chuyên gia để tham vấn ý kiến đồng thuận và mức độ ổn định trong câu trả lời. Các tác nhân và ràng buộc sẽ không được sử dụng khi một chuyên gia không trả lời chắc chắn các câu hỏi đưa ra.

Bảng 3.6. Mức độ đồng ý của các chuyên gia vòng 3 Delphi

Tác nhân & Ràng buộc	Mức độ đồng ý của các chuyên gia							Trung vị M_d	Độ lệch tứ phân vị Q	Điểm số trung bình q_i	Độ lệch chuẩn
	1	2	3	4	5	6	7				
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

Bước 6: Phân tích dữ liệu vòng 3

Dữ liệu tham vấn thu thập được tiếp tục phân tích kết quả dựa trên quy tắc KAMET, các chỉ số trung vị, độ lệch tứ phân vị, giá trị trung bình, độ lệch chuẩn được tính toán lại. Các tác nhân và ràng buộc đạt giá trị trung bình cao hơn 3,5 và độ lệch chuẩn thấp hơn 15% sẽ được lựa chọn.

Qua phương pháp Delphi, luận án đã lựa chọn được tập hợp gồm: độ dốc, độ cao địa hình, khoảng cách đến các vùng nước, khoảng cách đến các con đường chính đặt làm các tác nhân chính (factor), và các ràng buộc (constraint) cũng được xem xét (như: các đất xây dựng thì không có khả năng chuyển đổi thành khu vực đất trồng, khu vực rừng bảo tồn thì sẽ không chuyển đổi).

Độ dốc: Độ dốc là một tác nhân quan trọng trong việc phát triển đất xây dựng bởi một thực tế là nó ảnh hưởng tới chi phí xây dựng. (Janz, Goetz&Shelley, 2004) đã chứng minh rằng độ dốc có ảnh hưởng tới mật độ dân số của một khu vực cụ thể. Độ dốc cũng ảnh hưởng tới khả năng phát triển nông nghiệp của một khu vực. Tại VN, các ruộng bậc thang cũng chỉ được làm ở các sườn núi, nơi đất có địa hình thoải, độ dốc không quá lớn, thông thường không quá 20 độ. Diện tích rừng tại VN bị thu hẹp do sự mở rộng của đất xây dựng, đất nông nghiệp, và do tốc độ khai thác rừng. Có thể hiểu, nếu khu vực không thích hợp với đất nông nghiệp và đất xây dựng sẽ thích hợp nhất cho rừng. Ngoài ra, do chính sách của Chính phủ Việt Nam, cụ thể Bộ NN&PTNT quy định từ năm 2010, việc khai thác rừng sẽ được tính theo diện tích và độ dốc của đất rừng, theo đó rừng sản xuất có độ dốc từ 15° trở xuống, cường độ khai

thác gỗ tối đa là 35% và sẽ giảm đi 1% nếu độ dốc tăng lên 2°. Tương tự, đối với rừng phòng hộ, cường độ khai thác tối đa sẽ là 20% với độ dốc từ 15° trở xuống và sẽ liên tiếp giảm 1% nếu độ dốc tăng lên 1°.

Độ cao: Càng lên cao, thời tiết càng khắc nghiệt, điều đó đã ảnh hưởng đến hoạt động sinh sống của con người. Do đó, đất xây dựng và đất nông nghiệp cũng chịu ảnh hưởng tương tự. Càng ít người, rừng càng có cơ hội phát triển. Theo phân tích dữ liệu thảm phủ nhiều năm lưu vực sông Cả, nghiên cứu phát hiện các khu vực cao, ít người đồng thời cũng là địa điểm phù hợp cho các vụ chặt phá rừng, do vậy, khu vực cao cũng là khu vực phù hợp cho đất trồng.

Khoảng cách đến đường giao thông: Thông thường, việc phát triển dân cư gắn liền với khoảng cách đến các đường giao thông. Càng gần đường xá, đất càng có giá, nhà cửa, quán hàng càng mọc lên san sát, càng xa càng thưa thớt. Khu vực càng gần đường xá, không sớm thì muộn cũng sẽ chuyển hết thành đất xây dựng, đồng nghĩa với việc đất nông nghiệp, rừng sẽ dần mất đi và chuyển đổi thành lớp phủ khác. Điều này cũng đã được chứng minh trong nhiều nghiên cứu trước đây [39].

Khoảng cách đến sông: Sông ngòi phù hợp cho đất nông nghiệp, khu vực càng gần sông, nông nghiệp càng phát triển, tương tự như vậy với đất xây dựng.

Ngoài ra, còn các tác nhân khác liên quan tới khí hậu như: nhiệt độ, lượng mưa, độ ẩm... tuy nhiên các yếu tố này rất ít thay đổi, nếu có thay đổi thì ảnh hưởng tới thảm phủ cũng không lớn so với các ảnh hưởng từ yếu tố con người. Khoảng thời gian luận án xét đến các thay đổi thảm phủ là 5 năm/lần thì các ảnh hưởng từ yếu tố khí hậu lại càng nhỏ bé. Hơn nữa, khi thực hiện phân tích chuỗi Markov để tính toán xác suất chuyển đổi lớp phủ, các thay đổi này hoàn toàn đã được tính đến thông qua các dữ liệu thảm phủ từ quá khứ đến hiện tại.

3.1.4. Lập bản đồ phù hợp

Xây dựng bản đồ tính phù hợp gồm các bước: xác định yếu tố ảnh hưởng, ràng buộc; chuẩn hóa các nhân tố theo hàm mờ; phân tích thứ bậc AHP; so sánh theo cặp (Pairwise comparison); MCE-WLC: Đánh giá đa tiêu chí-Kết hợp tuyến tính có trọng

số. Các bước này đã được nêu rõ trong phần phương pháp nên chương này sẽ không nhắc lại, mà chỉ đi vào chi tiết cụ thể về mặt kết quả.

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). Để đạt được điều đó, ba loại hàm thuộc hàm mờ (tuyến tính, hàm sigmoid và hình chữ J) và các ngưỡng điều chỉnh đóng vai trò quan trọng để xác định thang đo mức độ phù hợp tiềm năng cho mỗi lớp phủ (Bảng 3.7). Việc lựa chọn dạng hàm mờ và các ngưỡng điều chỉnh có xu hướng chủ quan và có thể thay đổi theo hiểu biết của những người ra quyết định [92].

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 phù hợp cao nhất 0-20 độ phù hợp giảm dần >20 độ không phù hợp
	Độ cao	Dạng J	0 m phù hợp cao nhất 0-350 m phù hợp giảm dần >350 m không phù hợp
	Khoảng cách đến sông	Dạng đường cong 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

Đất xây dựng	Khoảng cách đến sông	Dạng đường cong sigma	<1 km phù hợp cao nhất 1-5 km phù hợp giảm dần >5 km không phù hợp
	Độ dốc	Dạng J	0 độ phù hợp cao nhất 0-20 độ phù hợp giảm dần >20 độ không phù hợp
	Độ cao	Dạng J	0 m phù hợp cao nhất 0-150 m phù hợp giảm dần >150 m không phù hợp
	Khoảng cách đến sông	Dạng đường cong 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 đường cong sigma	<5 độ không phù hợp 5-18 độ phù hợp tăng dần >18 độ phù hợp cao nhất
	Độ cao	Dạng đường cong 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 đường cong sigma	<1 km không phù hợp 1-10 km phù hợp tăng dần >10 km phù hợp cao nhất
Đất trồng	Độ dốc	Dạng đường cong sigma	<20 độ không phù hợp 20-40 độ phù hợp tăng dần >40 độ phù hợp cao nhất
	Độ cao	Dạng đường cong sigma	<1300 m không phù hợp 1300-1700 m phù hợp tăng dần >1700 m không phù hợp
	Khoảng cách đến đường chính	Dạng đường cong 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 thông qua so sánh theo cặp và phân tích thứ bậc để tính toán giá trị trọng số. Giá trị trọng số càng lớn thì mức độ ảnh hưởng của tác nhân đó tới lớp phủ càng lớn (Bảng 3.8).

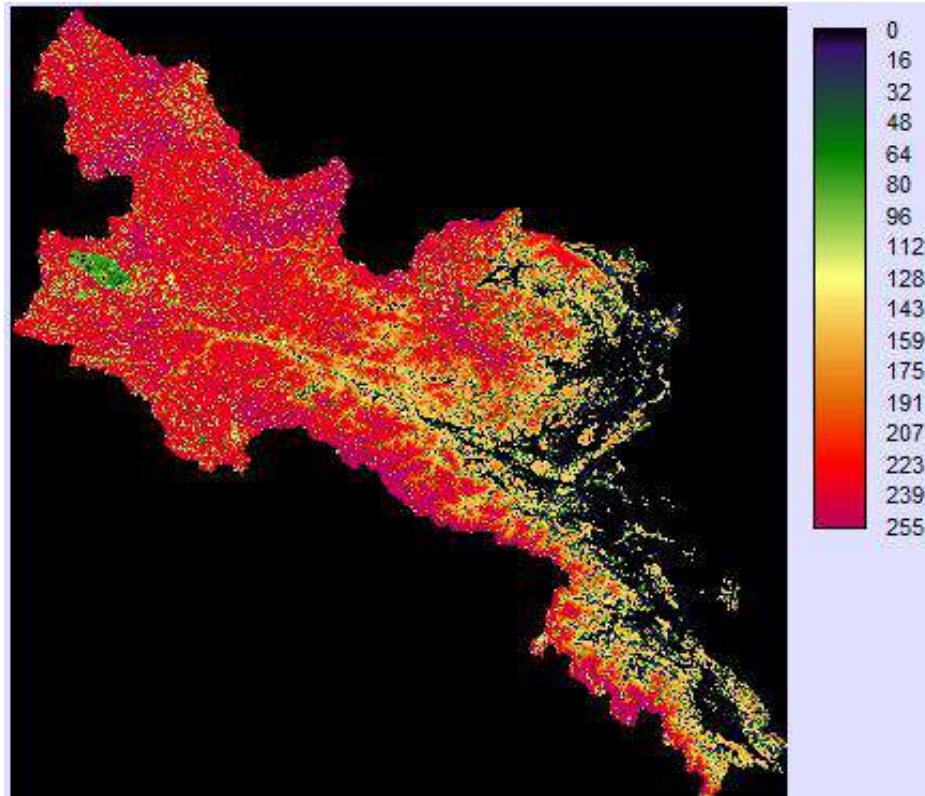
Bảng 3.8. Giá trị trọng số của các nhân tố đối với mỗi lớp phủ

Yếu tố	Đất rừng	Đất nông nghiệp	Đất xây dựng	Vùng nước	Đất trống
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

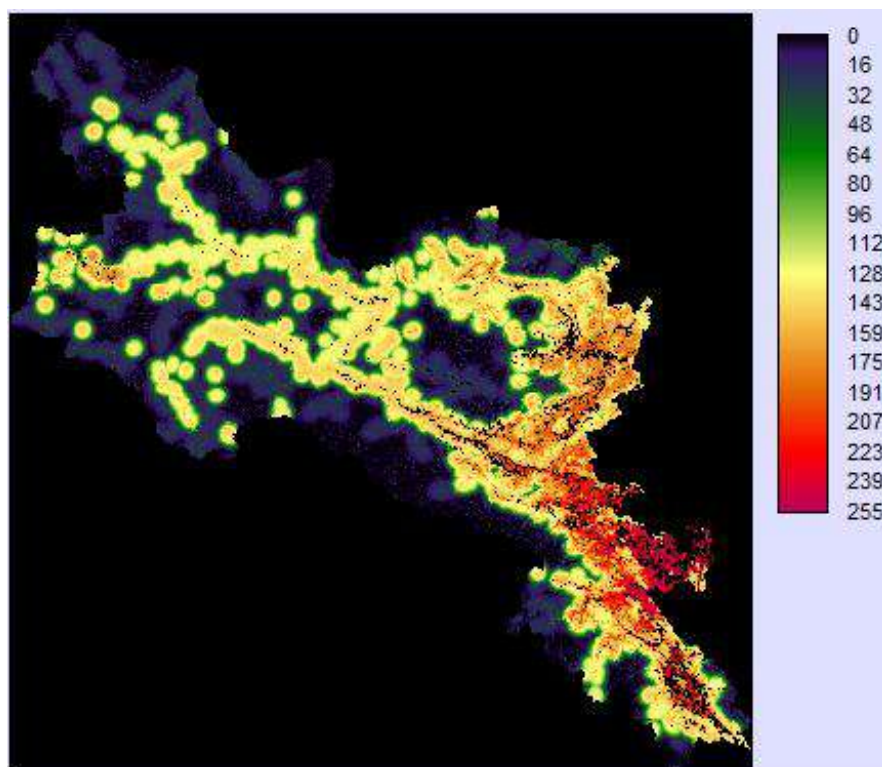
Cụ thể, với lớp phủ đất nông nghiệp thì nhân tố khoảng cách đến sông có mức độ ảnh hưởng lớn nhất và được đặt trọng số là 0,4768, với lớp phủ đất xây dựng và đất rừng thì nhân tố độ dốc được gán trọng số lớn nhất lần lượt là 0,5232 và 0,5917, nhân tố khoảng cách đến đường giao thông có ảnh hưởng lớn tới đất trống với trọng số là 0,5936 (càng xa đường giao thông thì càng phù hợp đất trống). Các trọng số cũng được tính toán và xem xét tỷ lệ nhất quán, nếu tỷ lệ nhất quán nhỏ hơn 0,1 được hiểu là các giá trị trọng số có độ tin cậy cao.

Đánh giá đa tiêu chí MCE được sử dụng để kết hợp các thông tin từ nhiều tiêu chí thành một chỉ số duy nhất để đánh giá độ phù hợp của mỗi lớp phủ, có thể hiểu là tìm vị trí thích hợp nhất của mỗi pixel cho từng lớp phủ bằng cách đánh giá các tiêu chí, xem xét, xếp hạng các phương án thay thế và lựa chọn phương án phù hợp nhất. MCE thường bao gồm 2 quá trình: (1) các tiêu chí được đánh giá bằng các ngưỡng phù hợp và tạo thành các bản đồ Boolean cho mỗi tiêu chí, các bản đồ này được kết hợp bởi các toán tử logic như AND (đối với tác nhân) và OR (đối với ràng buộc); (2) Kết hợp tuyến tính có trọng số WLC, nếu có nhiều hơn một tiêu chí cần được xem xét khi tìm vị trí thích hợp cho các pixel lớp phủ, thì các tiêu chí sẽ được gán trọng

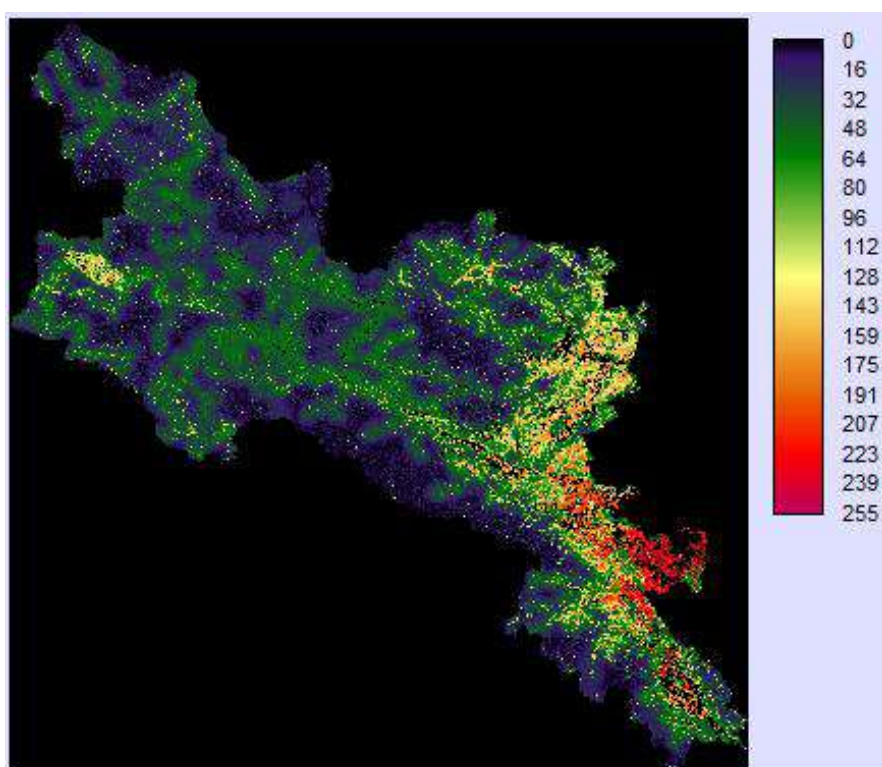
số và kết hợp bằng phương pháp WLC để cho ra một trọng số cuối cùng, kết quả là mỗi pixel sẽ có vị trí được thể hiện trên bản đồ tính phù hợp cho từng lớp phủ (Hình 3.2).



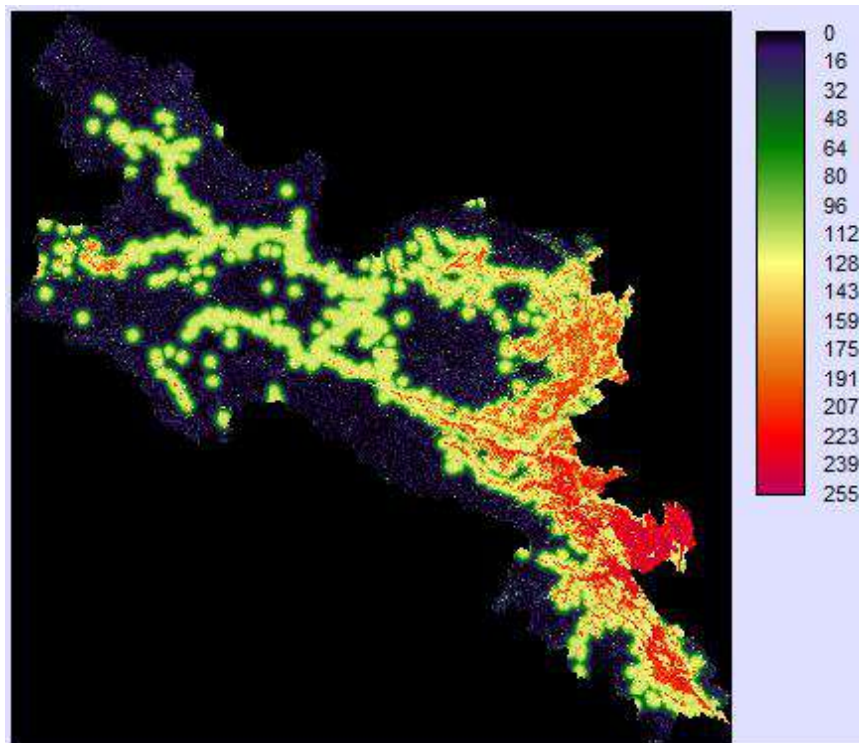
a) Kết quả mô phỏng mức phù hợp lớp phủ Đất rừng



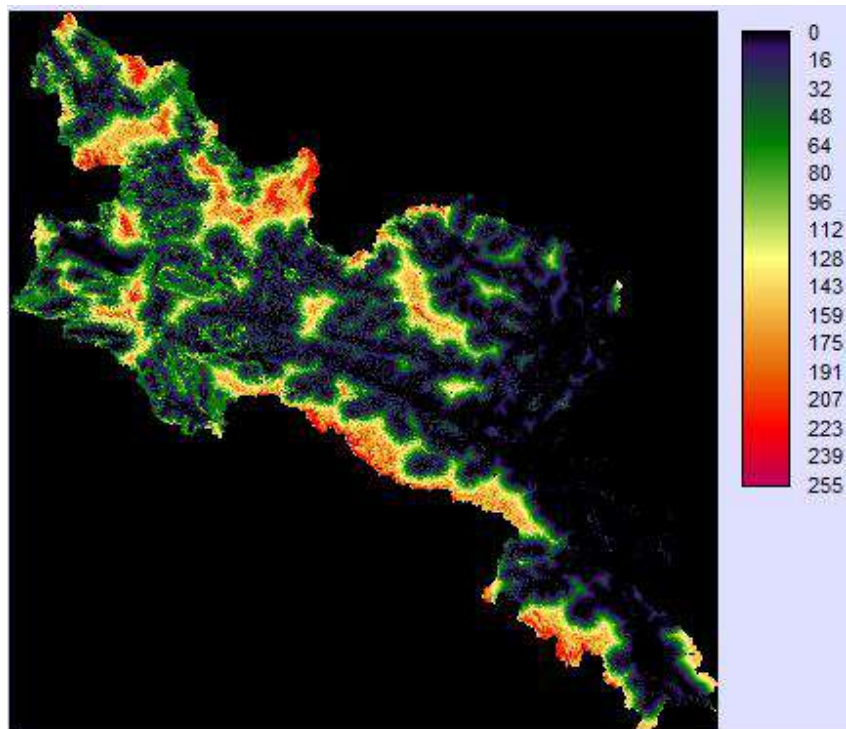
b) Kết quả mô phỏng mức phù hợp lớp phủ Đất nông nghiệp



c) Kết quả mô phỏng mức phù hợp lớp phủ Đất xây dựng



d) Kết quả mô phỏng mức phù hợp lớp phủ Vùng nước

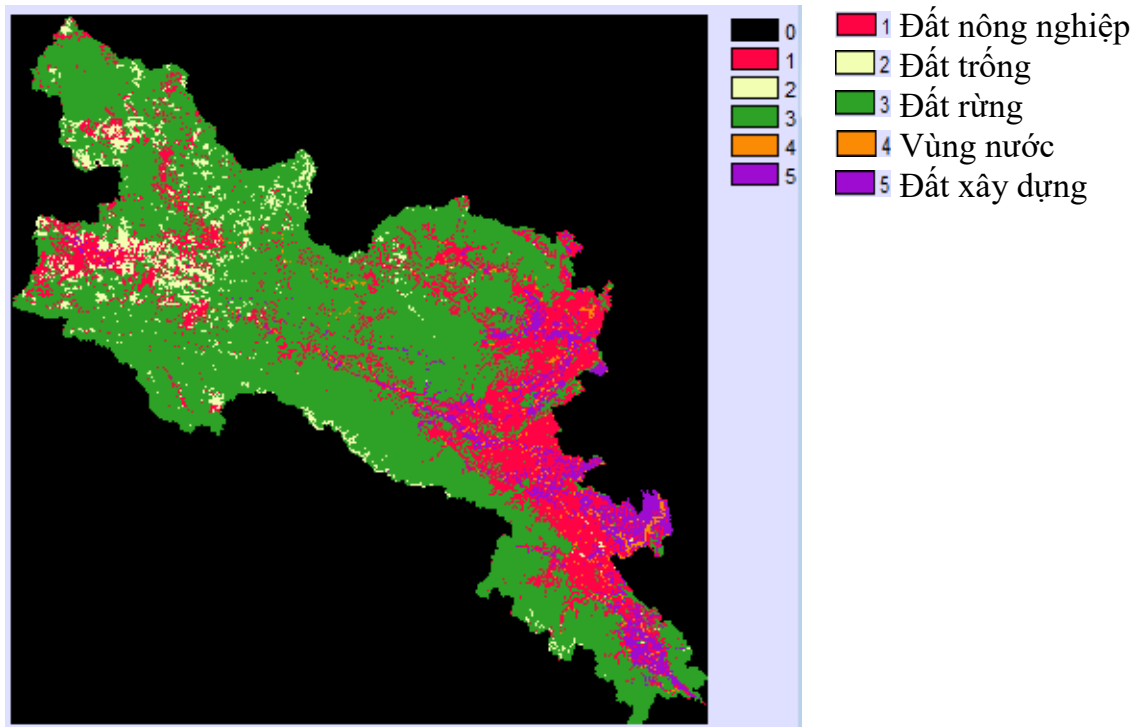


e) Kết quả mô phỏng mức phù hợp lớp phủ Đất trống

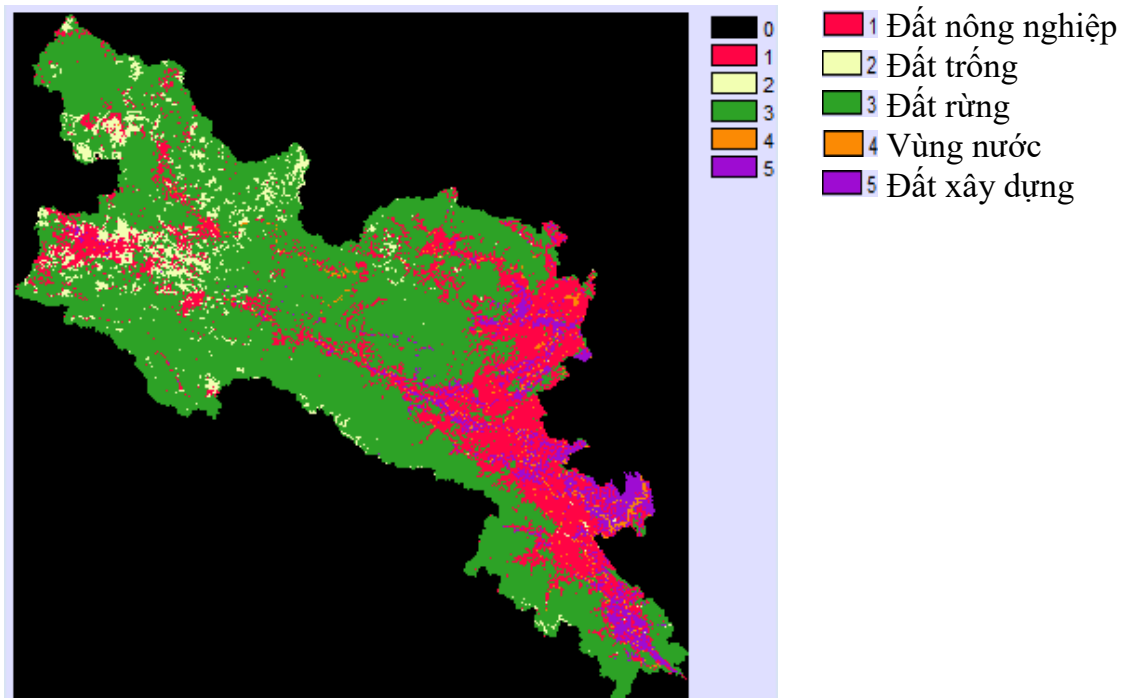
Hình 3.2. Kết quả mô phỏng mức phù hợp cho các loại lớp phủ
(Kết quả được tạo bằng TerrSet; * 0 đến 255 hiển thị thang đo từ không phù hợp đến phù hợp cao)

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

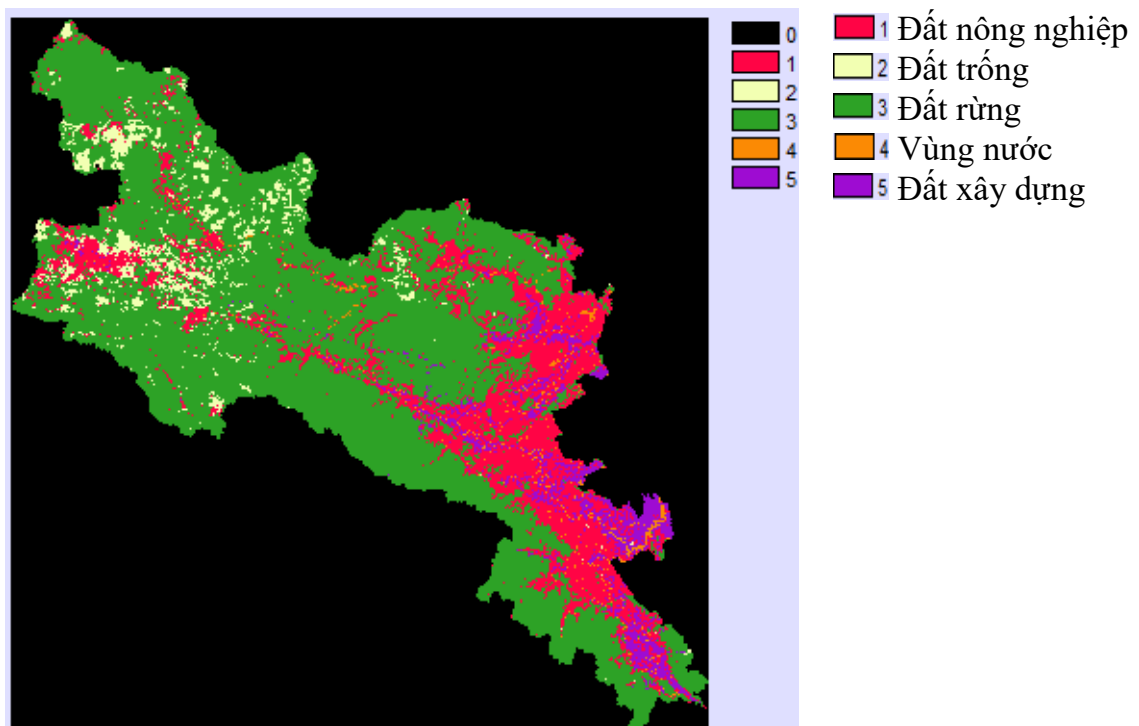
Bước tiếp theo, mô-đun CA-Markov được sử dụng để mô phỏng bản đồ thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2015. Mô-đun yêu cầu xác định ma trận diện tích chuyển đổi lớp phủ Markov và bản đồ tính phù hợp cho từng loại lớp phủ CA đã được tính toán và thành lập ở các bước trên. Do đó, với điểm bắt đầu là bản đồ lớp phủ lưu vực sông Cả năm 2010, các thông số diện tích chuyển đổi Markov (số lượng pixel chuyển đổi của từng lớp phủ đã được tính thông qua mô hình chuỗi Markov) (Bảng 3.3) và bản đồ phù hợp của lớp phủ tương ứng (Hình 3.2) được đưa vào để mô phỏng thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2015. Để tìm ra mô phỏng tốt nhất, số lần lặp mô hình i được thử nghiệm là 5, 10, 15, và kết quả mô phỏng được thể hiện ở Hình 3.3.



Kết quả mô phỏng LULC 2015 với $i=5$



Kết quả mô phỏng LULC 2015 với $i=10$



Kết quả mô phỏng LULC 2015 với $i=15$

Hình 3.3. Kết quả 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

Để đánh giá tính chính xác của mô hình, 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. Kết quả đánh giá sử dụng hệ số Kappa tiêu chuẩn và các hệ số Kappa có liên quan khác, được thể hiện như trong bảng 3.9:

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

Hệ số Kappa	2015 LULC ($i = 5$)	2015 LULC ($i = 10$)	2015 LULC ($i = 20$)
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

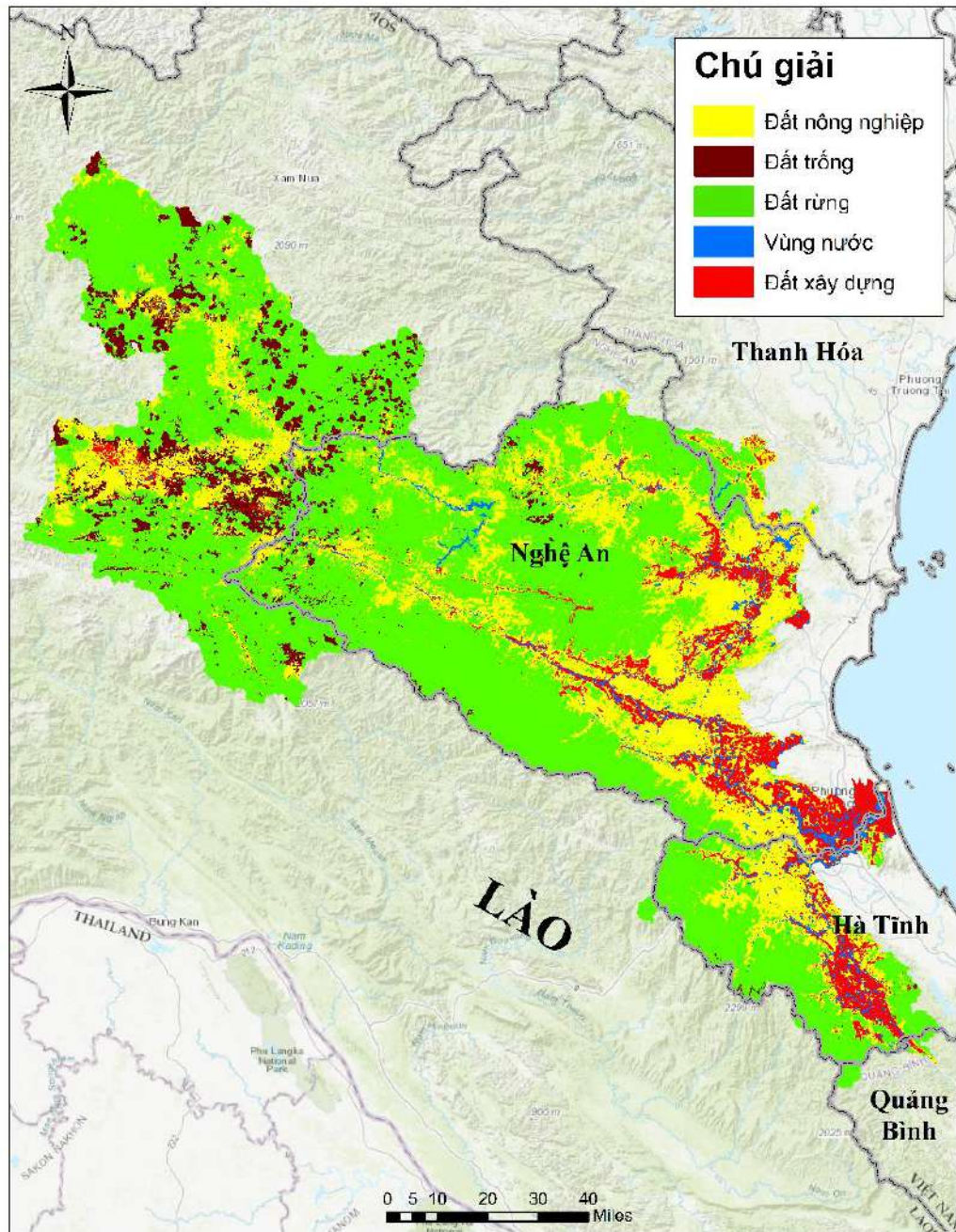
Theo đó, kết quả mô phỏng thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2015 với số lần lặp mô hình $i = 5$ cho kết quả tốt nhất, và hệ số Kappa lần lượt là: $K_{no} = 0,95$, $K_{location} = 0,917$, $K_{locationStrata} = 0,917$, $K_{standard} = 0,915$. Có thể thấy, kết quả mô phỏng đạt được sự đồng thuận tương đối tốt, cả về số lượng pixel dự tính đúng lần vị trí của các pixel, và hệ số Kappa tiêu chuẩn cho thấy sự đồng thuận lên tới hơn 90%. Điều đó chứng tỏ, mô hình với các tham số và quy tắc chuyển đổi f đã được hiệu chỉnh hoàn toàn có thể được áp dụng để dự tính cho thảm phủ lưu vực sông Cả năm 2030.

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

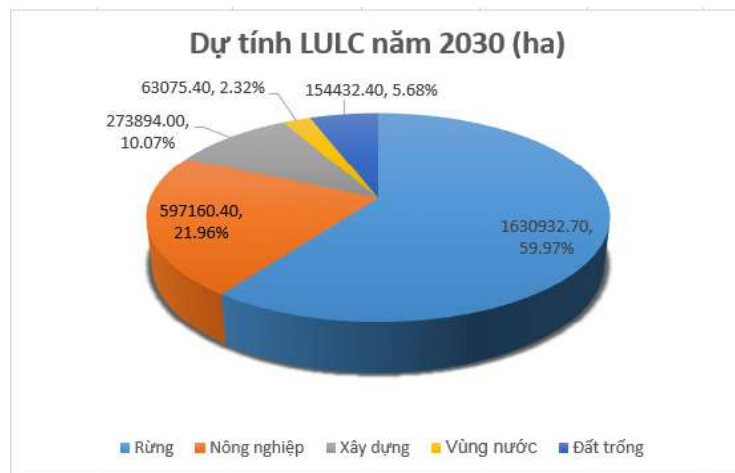
Sau khi hiệu chỉnh và kiểm định, mô hình CA-Markov đã chứng minh được tính khả thi trong việc thực hiện các mô phỏng thảm phủ trong tương lai. Do đó, mô hình này tiếp tục được sử dụng với các thông số đã được kiểm chứng trong điều kiện khu vực nghiên cứu - lưu vực sông Cả (các yếu tố ảnh hưởng cùng với trọng số của nó, các ràng buộc, số lần lặp lại, v.v). Tuy nhiên, sự khác biệt là dữ liệu đầu vào: 1) bản đồ thảm phủ thành lập từ ảnh viễn thám cho giai đoạn 2010-2015 được sử dụng để dự tính thảm phủ năm 2030; 2) các thành phần tạo ra các yếu tố ảnh hưởng như

đường giao thông, sông được cập nhật tới năm 2015. Bản đồ tham phủ dự tính cho năm 2030 được thể hiện trong Hình 3.4.

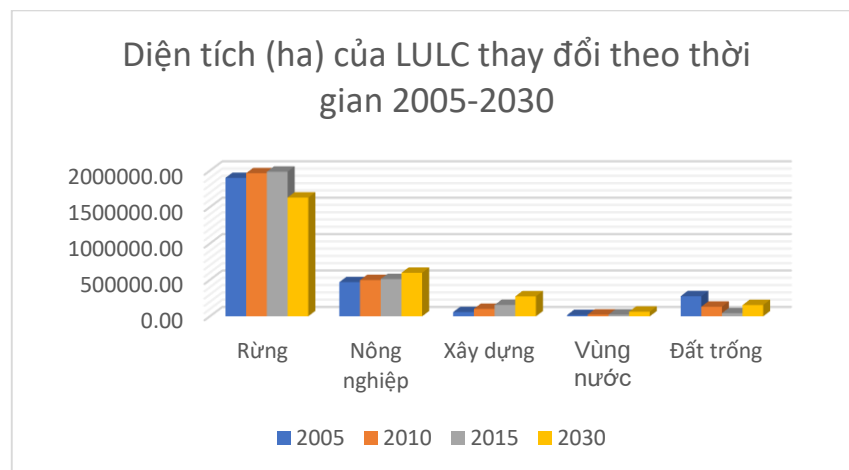
THAM PHỦ LƯU VỰC SÔNG CẢ NĂM 2030



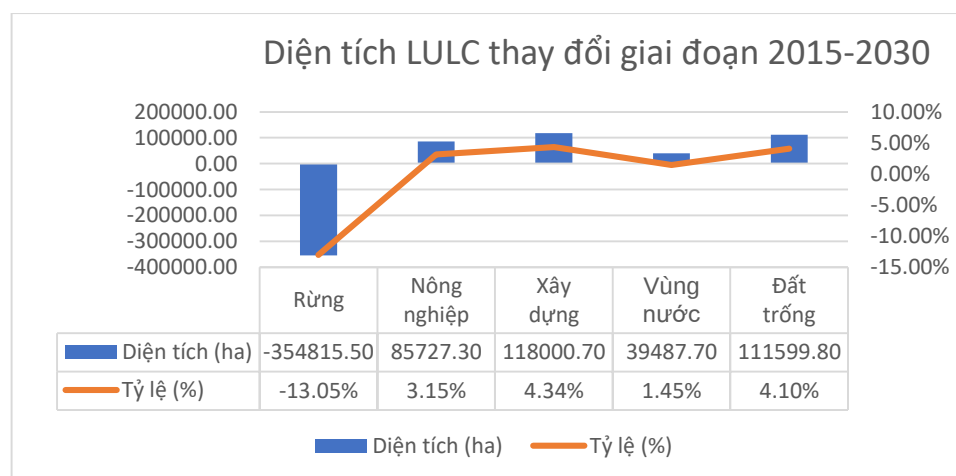
Hình 3.4. Bản đồ tham phủ lưu vực sông Cả dự tính năm 2030



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



a)



b)

Hình 3.6. Lượng thay đổi dự tính từ a) 2005 đến 2030; b) 2015 đến 2030

Hình 3.5 thể hiện sự phân bố không gian của từng lớp thảm phủ vào năm 2030 mà mô hình CA-Markov dự tính. Hình 3.5 thể hiện định lượng về số diện tích của từng loại đất: đất rừng, đất nông nghiệp, đất xây dựng, vùng nước, đất trống tương ứng với 59,97%, 21,96%, 10,07%, 2,32%, 5,68% tổng diện tích đất vào năm 2030. Có thể dễ dàng nhận thấy sự gia tăng diện tích đất trống ở vùng cao phía Tây vào năm 2030 so với những năm trước. Ngoài ra, diện tích rừng được dự báo sẽ giảm mạnh, đặc biệt là các khu vực gần đất nông nghiệp và đất xây dựng. Đất nông nghiệp năm 2030 tăng so với năm 2005 (Hình 3.6a). Đặc biệt, trong Hình 3.6b, đất trống tăng 4,10%, vùng nước tăng 1,45%, đất xây dựng tăng 4,34%, đất nông nghiệp tăng 3,15% từ năm 2015 đến năm 2030. Diện tích đất rừng tăng nhẹ trong giai đoạn 2005 - 2010, nhưng những năm sau con số đó liên tục giảm, đặc biệt từ 2015 - 2030 diện tích đất rừng giảm 13,05%. Tổng số ha thay đổi từ năm 2015 đến năm 2030 là 709.631 ha, bằng 26,09% tổng diện tích đất nghiên cứu.

Diện tích các loại hình sử dụng đất trên lưu vực sông Cả qua các năm 2005, 2010, 2015 và 2030 được thống kê trong bảng 3.10.

Bảng 3.10. Diện tích các loại hình đất (ha) trên lưu vực sông Cả năm 2005-2010-2015 và 2030 từ số liệu viễn thám và mô phỏng MCA

Loại đất	2030 Lào	2030 VN	2015 Lào	2015 VN	2010 Lào	2010 VN	2005 Lào	2005 VN
Đất nông nghiệp	151.822,2	445.338,2	106.058,3	405.374,8	146.636,6	350.956,3	93.629,8	375.405,2
Đất trống	130.200,6	24.231,8	33.488,8	9.343,8	105.358,4	26.045,9	145.437,9	129.989,5
Đất rừng	630.012,7	1.000.920,0	779.585,5	1.206.162,7	667.475,6	1.297.428,2	680.804,4	1.219.680,9
Vùng nước	1.731,9	61.343,5	392,2	23.195,5	471,3	23.407,1	378,3	16.353,4
Đất xây dựng	7.551,8	266.342,2	1.794,4	154.098,9	1.377,3	100.338,2	1.068,8	56.746,7
Tổng	921.319,2	1.798.175,7	921.319,2	1.798.175,7	921.319,2	1.798.175,7	921.319,2	1.798.175,7

Theo kết quả phân loại thảm phủ và mô phỏng, diện tích loại hình đất trên lưu vực sông Cả có sự thay đổi qua các năm 2005-2030 và khác nhau theo 2 phần lưu vực: phía Việt Nam và phía lãnh thổ Lào. Đối với đất nông nghiệp, xu hướng tăng

trong giai đoạn 2005-2010, từ 469.035 ha lên 497.592,9 ha trên cả 2 phía Việt Nam và Lào của lưu vực. Tuy nhiên, giai đoạn 2010-2015, đất nông nghiệp có xu hướng trái ngược nhau tại 2 phía của lưu vực. Bên phía Việt Nam, đất nông nghiệp tăng 54.418,5 ha, ngược lại, bên phía Lào, giảm -40.578,3 ha. Giai đoạn 2015-2030 được dự tính đất nông nghiệp sẽ tăng trên cả 2 phía của lưu vực, tổng cộng tăng 85.727,3 ha. Đối với đất rừng, giai đoạn 2005-2010 diện tích rừng tăng 77.747,3 ha bên phía Việt Nam, giảm -13.328,8 ha bên phía Lào. Ngược lại, giai đoạn 2010-2015, diện tích rừng giảm bên phía Việt Nam, tăng bên phía Lào, -91.265,5 ha và 112.109,9, tương ứng. Dự tính giai đoạn 2015-2030, đất rừng bên phía Lào giữ nguyên xu thế giảm -149.572,8 ha, bên phía Việt Nam cũng quay đầu giảm -205.242,7 ha. Đối với đất xây dựng, có xu thế tăng dần trong cả giai đoạn 2005-2010-2015-2030 trên cả 2 phía của lưu vực, từ 57.815,5 ha năm 2005 lên 273.894,0 ha năm 2030. Đối với đất trồng, xu thế giảm mạnh ở cả 2 phía lưu vực trong giai đoạn 2005-2010-2015. Tuy nhiên, đất trồng được dự tính sẽ tăng trở lại trong giai đoạn 2015-2030. Điều này cho thấy, diện tích các loại hình đất lưu vực sông Cả giai đoạn 2005-2030 thay đổi theo thời gian và không chỉ phụ thuộc vào xu thế bên phía Việt Nam, có giai đoạn xu thế tăng bên phía Việt Nam, nhưng xu thế tổng thể cả lưu vực vẫn giảm và ngược lại. Điều này là do bên phía Lào cũng đóng góp 1/3 trên tổng diện tích lưu vực.

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

3.2.1. Phân chia tiểu lưu vực

Định nghĩa lưu vực được chia thành năm bước: 1. Thiết lập bản đồ mô hình số độ cao DEM, 2. Định nghĩa sông (Stream Definition), 3. Xác định cửa đổ nước vào/ra của tiểu lưu vực (Outlet and Inlet Definition), 4. Lựa chọn cửa thoát nước của lưu vực (Watershed Outlets selection and Definition), 5. Tính toán các tham số của tiểu lưu vực (Calculation of Subbasin Parameters).

Trong quá trình phân chia lưu vực có hai phương pháp để xác định mạng lưới sông ngòi trong SWAT, (1) được tạo ra dựa trên bản đồ độ cao số DEM, (2) đã có sẵn bản đồ lưu vực và mạng lưới sông ngòi. Luận án sử dụng dữ liệu DEM lưu vực

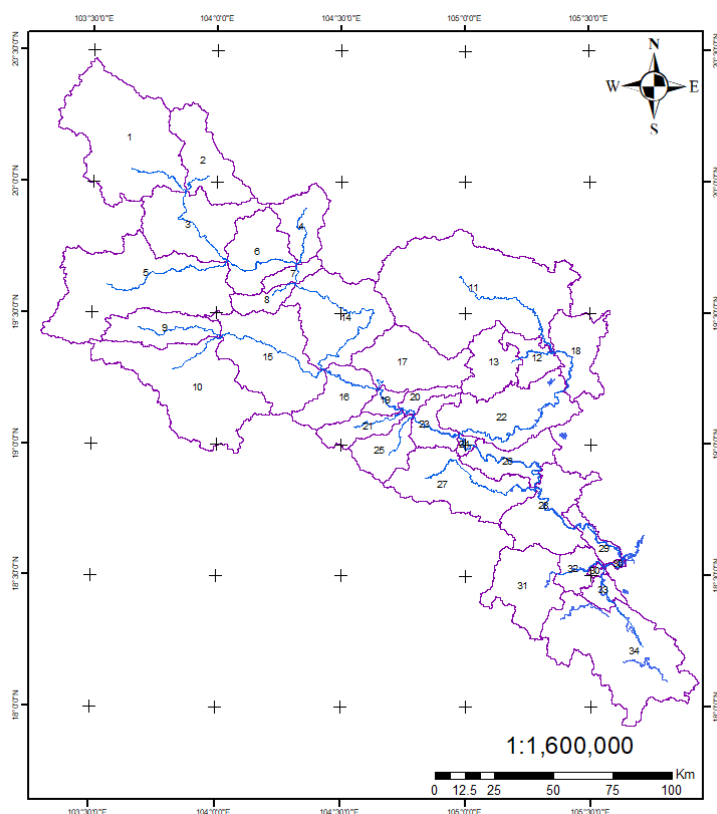
sông Cả đưa vào SWAT và chọn phương pháp (1) để mô hình tự động phân chia các tiểu lưu vực.

Sau khi chọn phương pháp dựa trên DEM, mô hình sẽ xác định hướng dòng chảy và tích lũy dòng chảy để sau này sử dụng vào mục đích xác định mạng lưới sông ngòi và ranh giới lưu vực.

Bước tiếp theo là xác định diện tích giới hạn với mục đích xác định nguồn nước của sông ngòi. Diện tích giới hạn này càng bé thì mạng lưới sông ngòi mà mô hình tự động tạo ra càng trở nên chi tiết hơn.

Dựa trên mạng lưới dòng chảy đã mô phỏng, chọn điểm đầu ra (cửa xả) của toàn bộ lưu vực. Cuối cùng mô hình sẽ tính toán thông số các tiểu lưu vực và các đoạn sông suối. Quá trình tính toán các thông số kết thúc thì quá trình phân chia ranh giới lưu vực như vậy đã hoàn thành.

Kết quả phân định lưu vực là chia lưu vực thành các tiểu lưu vực.



Hình 3.7. Bản đồ phân chia các tiểu lưu vực

3.2.2. Phân tích đơn vị phản ứng thủy văn HRU

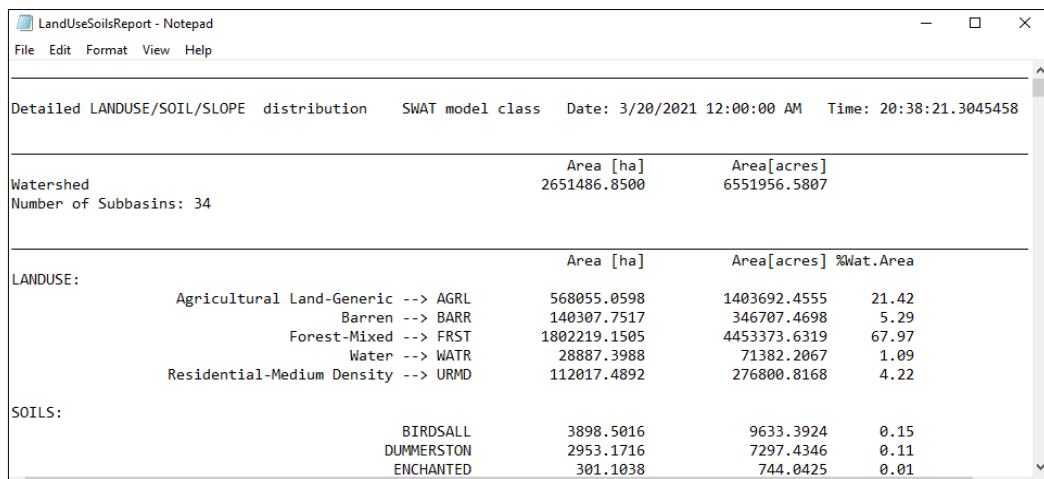
Một tiểu lưu vực có thể được chia nhỏ thành những đơn vị phản ứng thủy văn, các cell trong mỗi đơn vị phản ứng thủy văn sẽ tương đồng về thuộc tính sử dụng đất, đất và quản lý. SWAT giả định rằng không có sự tác động lẫn nhau giữa các đơn vị phản ứng thủy văn trong tiểu lưu vực. Các quá trình rửa trôi, bồi lắng, di chuyển dinh dưỡng sẽ được tính toán độc lập trên mỗi đơn vị phản ứng thủy văn, trên cơ sở đó sẽ cộng lại trên toàn bộ tiểu lưu vực. Lợi ích khi dùng đơn vị phản ứng thủy văn là làm tăng độ chính xác dự báo của các quá trình. Thông thường mỗi tiểu lưu vực có từ 1 - 10 đơn vị phản ứng thủy văn.

Sau khi phân định lưu vực thành công, bản đồ sử dụng đất và đất được đưa vào SWAT. Giá trị mã số của từng loại hình sử dụng đất, đất được gán theo bảng mã của SWAT và phân chia lại. Phân chia độ dốc (là yếu tố quan trọng xác định lượng nước, sự di chuyển bồi lắng; rửa trôi và dinh dưỡng), trong lưu vực được chia thành 5 lớp, lớp 1 từ 0 - 8%; lớp 2 từ 8 - 16%; lớp 3 từ 16 - 23%; lớp 4 từ 23 - 35%; lớp 5 trên 35%

Bước tiếp theo trong phân tích HRU là định nghĩa HRUs. Có các cách xác định HRUs: (1) Sử dụng đất chiếm ưu thế, đất, độ dốc; (2) Chọn một HRU chiếm ưu thế; (3) Số lượng mục tiêu HRUs; (4) Nhiều HRU

Luận án lựa chọn phương pháp (4) vì nó mô tả tốt hơn tính không đồng nhất trong lưu vực và mô phỏng chính xác hơn những quá trình thủy văn.

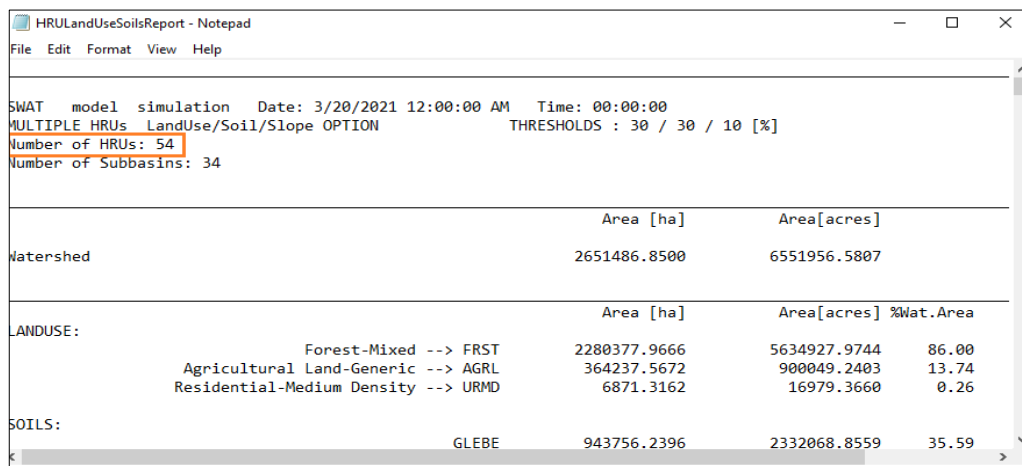
Kết quả phân loại sử dụng đất, thổ nhưỡng theo SWAT, phân cấp độ dốc hiển thị như hình 3.8.



Detailed LANDUSE/SOIL/SLOPE distribution SWAT model class Date: 3/20/2021 12:00:00 AM Time: 20:38:21.3045458			
Watershed		Area [ha]	Area[acres]
Number of Subbasins: 34		2651486.8500	6551956.5807
LANDUSE:		Area [ha]	Area[acres] %Wat.Area
Agricultural Land-Generic --> AGRL	568055.0598	1403692.4555	21.42
Barren --> BARR	140307.7517	346707.4698	5.29
Forest-Mixed --> FRST	1802219.1505	4453373.6319	67.97
Water --> WATR	28887.3988	71382.2067	1.09
Residential-Medium Density --> URMD	112017.4892	276800.8168	4.22
SOILS:			
BIRDSALL	3898.5016	9633.3924	0.15
DUMMERSTON	2953.1716	7297.4346	0.11
ENCHANTED	301.1038	744.0425	0.01

Hình 3.8. Kết quả phân loại sử dụng đất, thổ nhưỡng, phân cấp độ dốc

Bước cuối cùng là thiết lập ngưỡng diện tích sử dụng đất, thổ nhưỡng và độ dốc tương ứng là 30%, 30%, 20%.



SWAT model simulation Date: 3/20/2021 12:00:00 AM Time: 00:00:00			
MULTIPLE HRUs LandUse/Soil/Slope OPTION		THRESHOLDS : 30 / 30 / 10 [%]	
Number of HRUs: 54			
Number of Subbasins: 34			
Watershed		Area [ha]	Area[acres]
		2651486.8500	6551956.5807
LANDUSE:		Area [ha]	Area[acres] %Wat.Area
Forest-Mixed --> FRST	2280377.9666	5634927.9744	86.00
Agricultural Land-Generic --> AGRL	364237.5672	900049.2403	13.74
Residential-Medium Density --> URMD	6871.3162	16979.3660	0.26
SOILS:			
GLEBE	943756.2396	2332068.8559	35.59

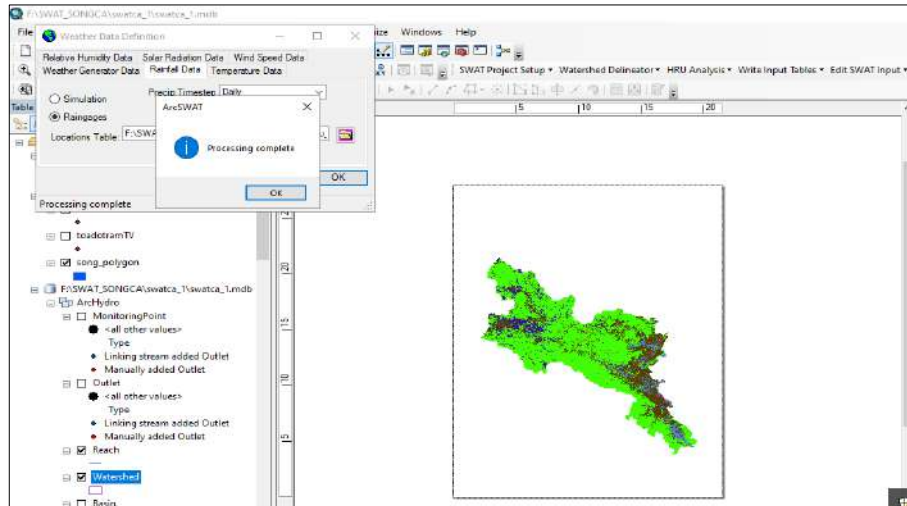
Hình 3.9. Định nghĩa đơn vị phản ứng thủy văn

3.2.3. Thiết lập dữ liệu đầu vào mô hình

Dữ liệu thời tiết cần thiết cho mô hình SWAT bao gồm lượng mưa; nhiệt độ không khí lớn nhất, nhỏ nhất; bức xạ mặt trời; tốc độ gió và độ ẩm tương đối. Những dữ liệu này có thể được đưa vào SWAT từ dữ liệu quan trắc hàng ngày trong quá khứ tại những trạm đo trên hoặc gần lưu vực;

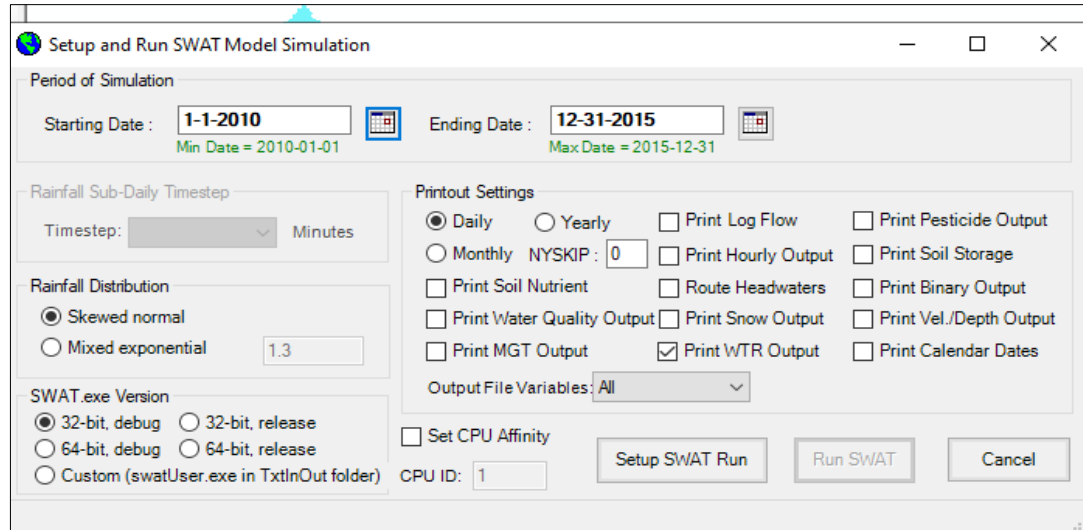
Nguồn dữ liệu nghiên cứu được thu thập gồm lượng mưa ngày qua các năm và các yếu tố khác: Nhiệt độ không khí lớn nhất; nhỏ nhất, bức xạ Mặt Trời, tốc độ gió và độ ẩm tương đối.

Sau khi mô phỏng dữ liệu khí hậu, bước tiếp theo là thiết lập các dữ liệu đầu vào cần thiết để chạy mô hình SWAT.



Hình 3.10. Nhập dữ liệu khí tượng

Chạy mô hình: Sau khi đã thiết lập xong dữ liệu khí tượng, tiến hành chạy mô hình. Thời gian tính toán mô phỏng từ ngày 01/01/1986 đến 31/12/2015.



Hình 3.11. Thiết lập các tùy chọn và chạy mô hình

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

3.2.4.1. Phân tích độ nhạy các thông số

SWAT là mô hình bán phân bố, các tham số của mô hình thay đổi theo không gian. Do đó, phân tích độ nhạy là bước quan trọng để tìm ra thông số có ảnh hưởng

quyết định đến kết quả mô phỏng. Điều này giúp cho việc hiệu chỉnh mô hình được thuận tiện hơn bằng cách chỉ cần quan tâm đến các thông số có độ nhạy cao.

Phân tích độ nhạy dựa trên dòng chảy mặt cho thấy các thông số nhạy nhất trong quá trình mô phỏng thủy văn trên lưu vực đó là CN2, ALPHA_BF, GW_DELAY và GWQMN. Bốn thông số này sau đó đã được lựa chọn để hiệu chỉnh thông qua SWAT-CUP.

3.2.4.2. Hiệu chỉnh, kiểm định kết quả mô phỏng

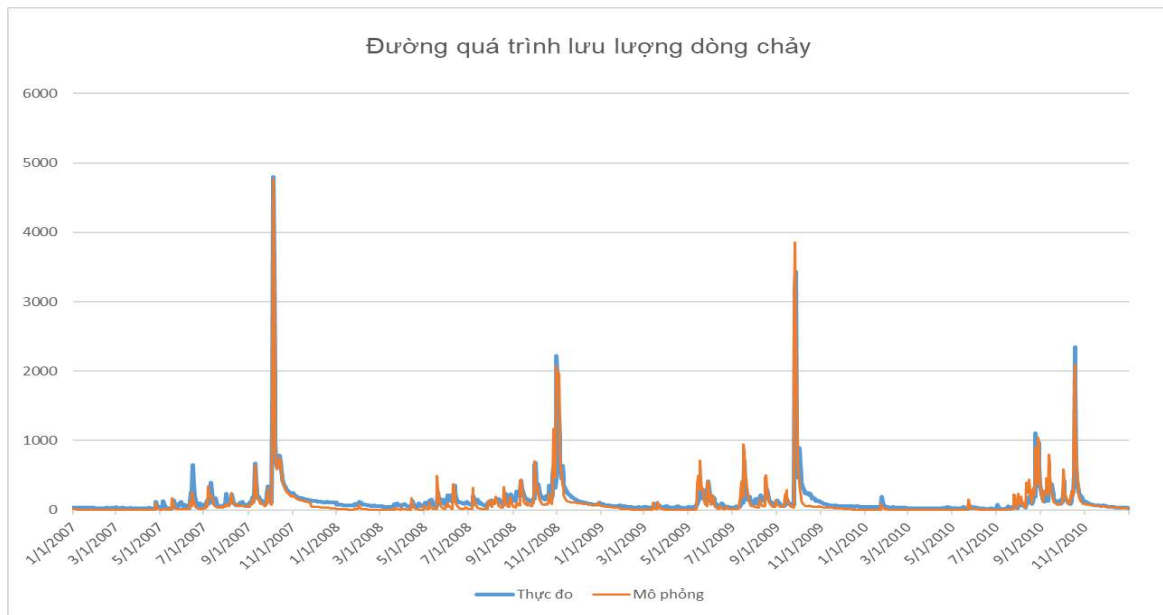
Để kiểm tra khả năng của mô hình, bước hiệu chỉnh và kiểm nghiệm cần phải được tiến hành. Không chỉ đánh giá trực quan thông qua biểu đồ so sánh lưu lượng thực đo và mô phỏng, các chỉ số thống kê cũng cần được tính toán và xem xét. Ba chỉ tiêu để đánh giá mô hình thủy văn đó là: hệ số hiệu quả Nash & Sutcliffe, hệ số bình phương R^2 và PBIAS.

Chỉ tiêu phân loại mức độ chính xác của kết quả mô phỏng thủy văn (nguồn Moriasi, 2007)

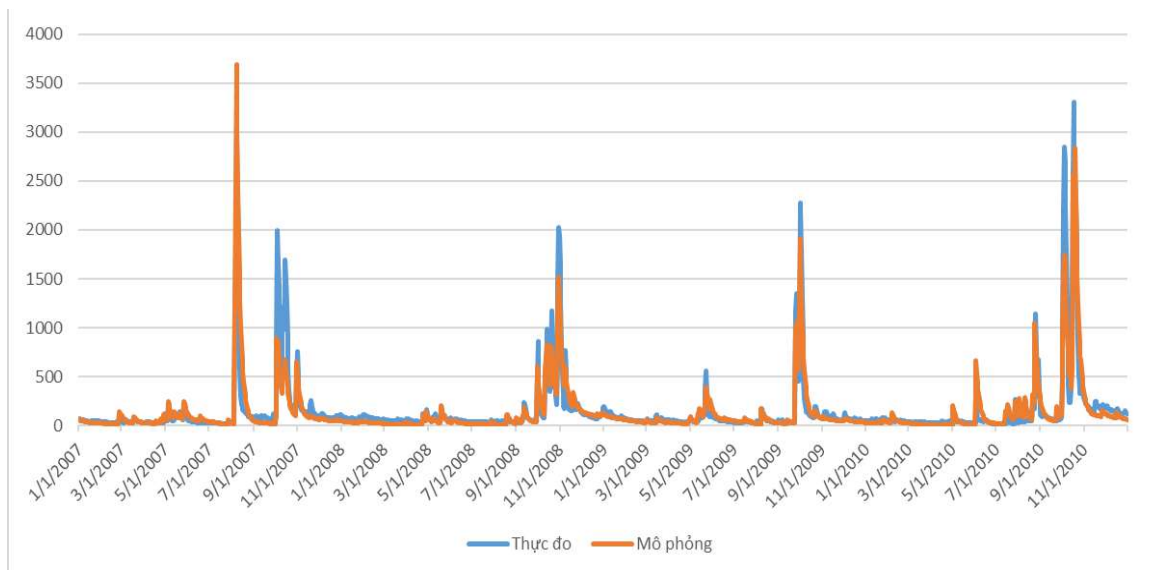
Xếp hạng	NSE & R^2	PBIAS
Rất tốt	$0.75 < \text{NSE} \ \& \ R^2 \leq 1$	$ \text{PBIAS} < 10$
Tốt	$0.65 < \text{NSE} \ \& \ R^2 \leq 0.75$	$10 \leq \text{PBIAS} < 15$
Đạt yêu cầu	$0.5 < \text{NSE} \ \& \ R^2 \leq 0.65$	$15 \leq \text{PBIAS} < 25$
Không đạt	$\text{NSE} \ \& \ R^2 < 0.5$	$ \text{PBIAS} > 25$

Mô hình đã thiết lập mô phỏng dòng chảy cho toàn bộ lưu vực sông Cả. Dòng chảy mô phỏng được đánh giá tại trạm thủy văn: Nghĩa Khánh, Dừa, Quỳ Châu, Sơn Diệm và Hòa Duyệt.

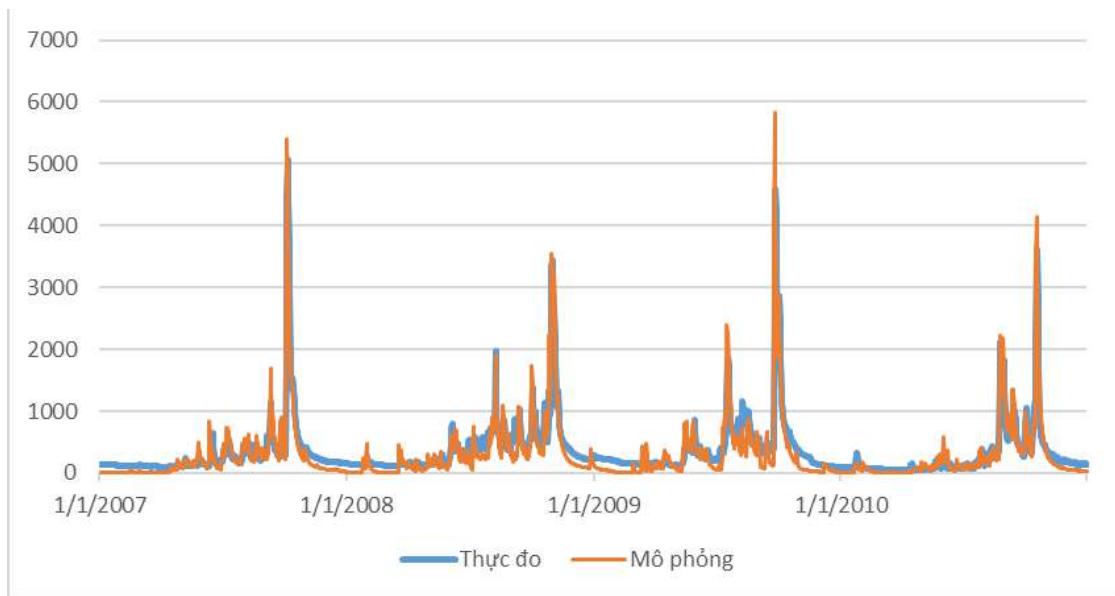
Kết quả hiệu chỉnh mô hình mô phỏng cho các tiểu lưu vực được thể hiện từ hình 3.12 đến hình 3.16:



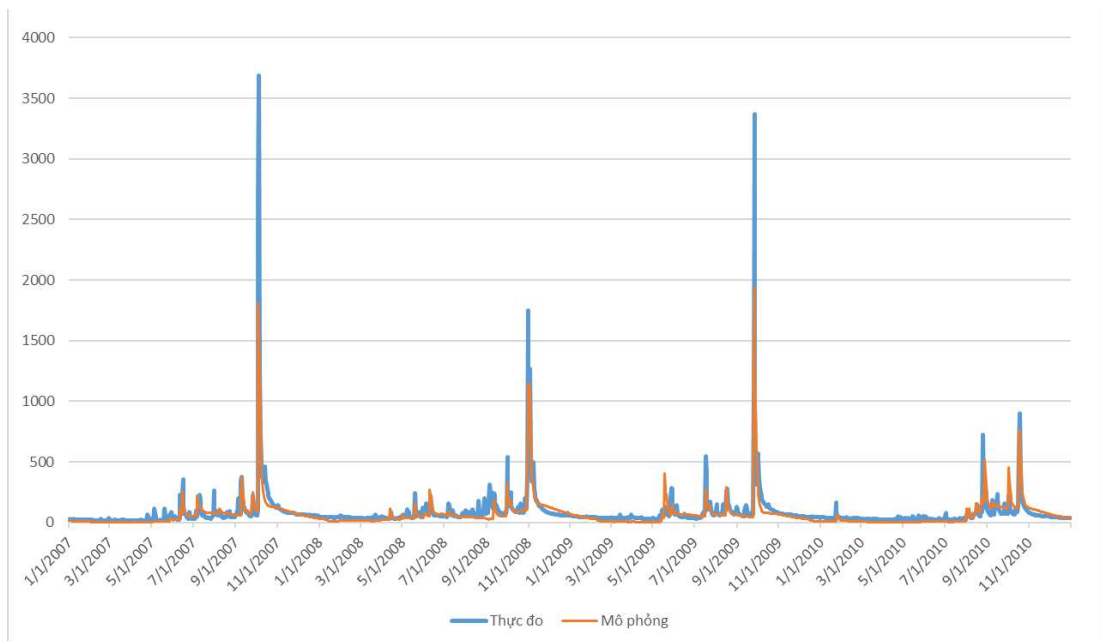
Hình 3.12. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Nghiã Khánh năm 2007 - 2010



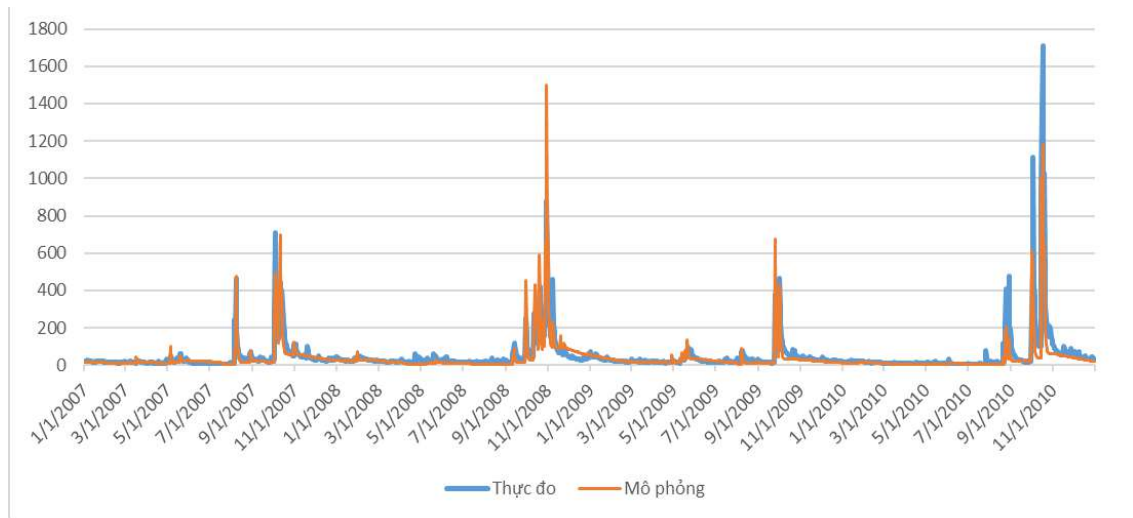
Hình 3.13. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Hòa Duyệt năm 2007 - 2010



Hình 3.14. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Dừa năm 2007 - 2010

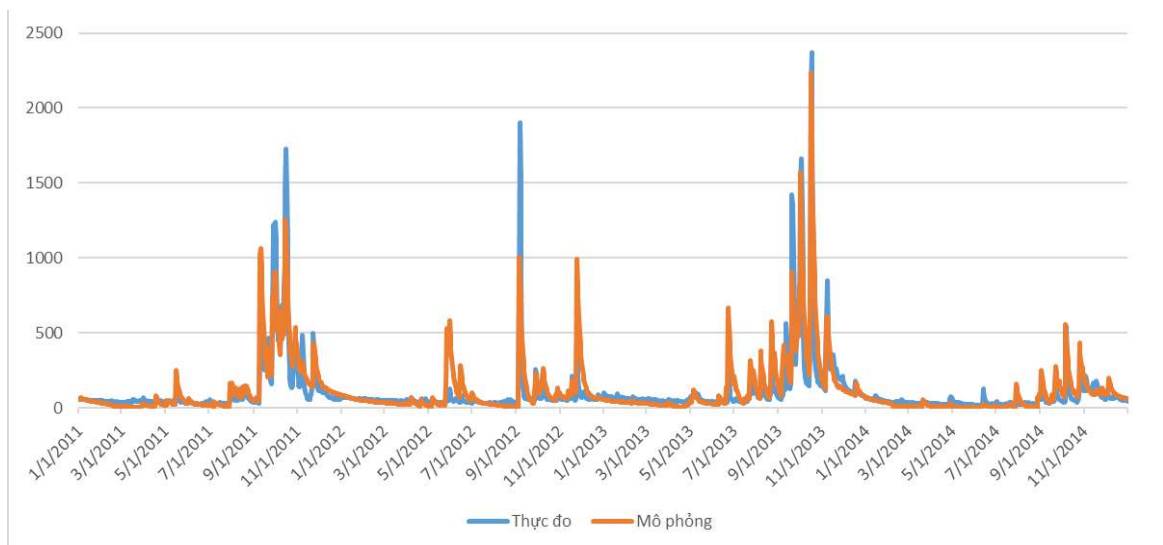


Hình 3.15. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Quỳnh Châu năm 2007 - 2010

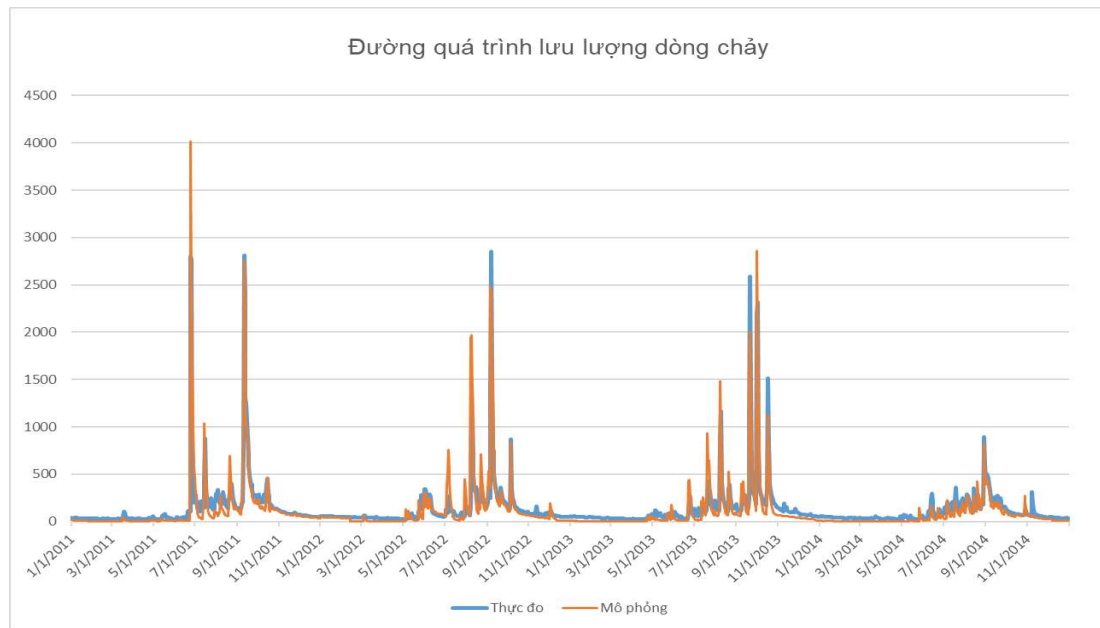


Hình 3.16. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Sơn Diêm năm 2007 - 2010

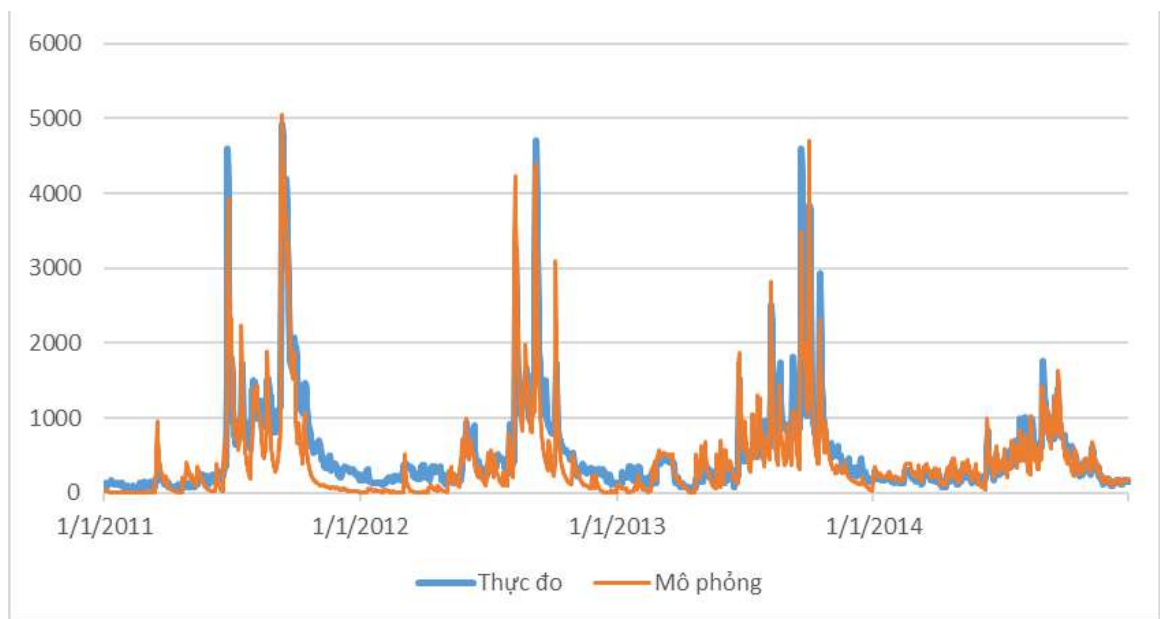
Giữ nguyên bộ thông số tiến hành kiểm định sự phù hợp của các bộ thông số với từng tiêu lưu vực với số liệu năm 2011-2014. Kết quả được thể hiện từ hình 3.17 đến hình 3.21:



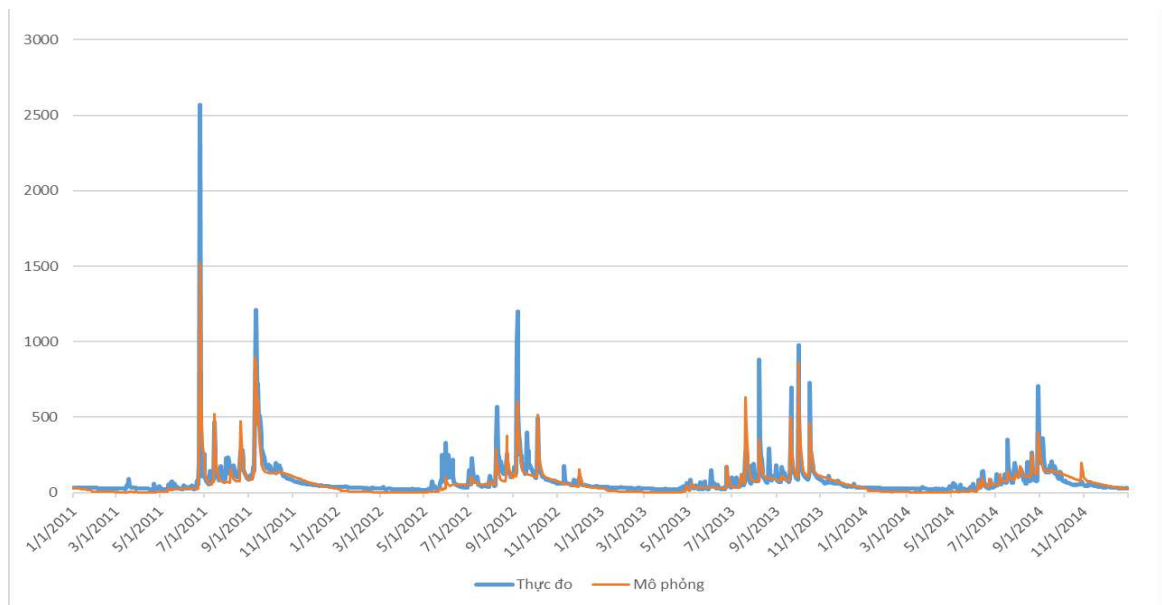
Hình 3.17. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Hòa Duyệt năm 2011-2014



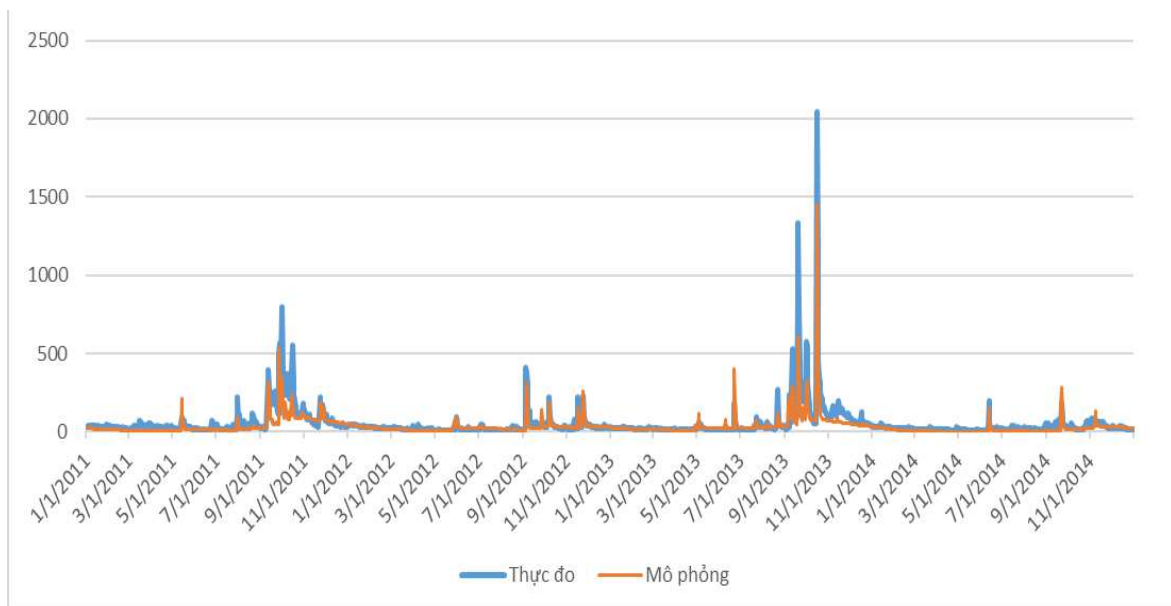
Hình 3.18. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Nghiã Khánh năm 2011-2014



Hình 3.19. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Dừa năm 2011-2014



Hình 3.20. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Quỳ Châu năm 2011-2014



Hình 3.21. Dòng chảy bình quân ngày (m^3/s) tính toán và thực đo trạm Sơn Diệm năm 2011-2014

Luận án đánh giá kết quả mô phỏng dựa trên chỉ số Nash – Sutcliffe (NSE).
Kết quả đánh giá các chỉ số được kết quả như sau:

Bảng 3.11. Chỉ số đánh giá kết quả hiệu chỉnh và kiểm định

Trạm	Thời gian		NSE	
	Hiệu chỉnh	Kiểm định	Hiệu chỉnh	Kiểm định
Hòa Duyệt	2007-2010	2011-2014	0,85	0,76

Dừa	2007-2010	2011-2014	0,75	0,76
Nghĩa Khánh	2007-2010	2011-2014	0,78	0,74
Quỳ Châu	2007-2010	2011-2014	0,73	0,73
Sơn Diệm	2007-2010	2011-2014	0,74	0,72

Qua quá trình hiệu chỉnh và kiểm định mô hình SWAT trên lưu vực sông Cả cho thấy dạng đường quá trình dòng chảy tính toán và thực đo có sự phù hợp. Nói chung mô hình có khả năng mô phỏng được biến động theo thời gian của dòng chảy của cả 2 mùa: Mùa lũ và mùa cạn trên sông nhưng đối với các đỉnh lũ thì mức độ chính xác về lưu lượng đỉnh vẫn còn sai lệch tương đối. Đối với những đỉnh lũ nhỏ lưu lượng dòng chảy mô phỏng có xu hướng lớn hơn so với thực đo, còn các đỉnh lũ lớn thì mô phỏng có xu thế nhỏ hơn so với thực đo. Đối với kết quả đánh giá theo chỉ tiêu NSE cho kết quả đạt ở mức độ đạt yêu cầu.

3.2.5. Thay đổi thảm phủ trên lưu vực

Dữ liệu sử dụng đất sông Cả năm 2030 là kết quả trong mục 3.1 của Luận án và được thành lập bằng phương pháp mô phỏng Markov – Cellular Automata với dữ liệu đầu vào là các ảnh Landsat 5 TM và Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) và Cảm biến hồng ngoại nhiệt (TIRS) của các năm 2005, 2010 và 2015. Mô hình mô phỏng Markov – Cellular Automata cũng đã được hiệu chỉnh và kiểm định phù hợp với điều kiện lưu vực sông Cả. Kết quả mô hình mô phỏng được kiểm chứng với bản đồ thảm phủ năm 2015 và đạt hệ số Kappa lần lượt là: $K_{no} = 0,95$, $K_{location} = 0,91$, $K_{locationStrata} = 0,91$, $K_{standard} = 0,91$.

Bộ thông số của mô hình SWAT sau khi đã hiệu chỉnh và kiểm nghiệm được sử dụng để tính toán dòng chảy cho thời kỳ trong tương lai từ năm 2020 – 2039. Với số liệu đầu vào của mô hình bao gồm mưa ngày tại các trạm đo mưa, nhiệt độ tại các trạm khí tượng trong tương lai được lấy từ kịch bản BĐKH theo ngày từ năm 2020 - 2039 và thay đổi thảm phủ trên lưu vực tính từ năm 2015 đến năm 2030.

Theo kết quả phân định tiểu lưu vực ở mục 3.2.1 và bản đồ mô phỏng kịch bản thay đổi thảm phủ để làm đầu vào mô hình SWAT. Kết quả thay đổi thảm phủ trong tương lai và hiện tại được thống kê với từng tiểu lưu vực như sau:

Bảng 3.12. Thống kê thay đổi diện tích đất của từng tiểu lưu vực sông Cả

Tiểu lưu vực	Vùng nước		Đất nông nghiệp		Đất rừng		Đất xây dựng		Đất trồng	
	DT thay đổi (ha)	% DT thay đổi	DT thay đổi (ha)	% DT thay đổi	DT thay đổi (ha)	% DT thay đổi	DT thay đổi (ha)	% DT thay đổi	DT thay đổi (ha)	% DT thay đổi
1	3721,7	1,90	7662,7	3,92	-14578,6	-7,45	639,8	0,33	2554,5	1,31
2	3183,5	1,63	1010,6	0,52	-5917,0	-3,02	238,8	0,12	1484,1	0,76
3	7127,3	3,64	773,5	0,40	-9842,2	-5,03	707,7	0,36	1233,7	0,63
4	1232,4	0,63	9059,5	4,63	-10521,2	-5,38	167,8	0,09	61,5	0,03
5	14443,8	7,38	-10307,7	-5,27	-18898,5	-9,66	1879,9	0,96	12882,5	6,58
6	4363,3	2,23	5131,4	2,62	-11030,1	-5,64	1246,7	0,64	288,7	0,15
7	2483,2	1,27	-3,1	0,00	-3318,3	-1,70	585,8	0,30	252,5	0,13
8	1012,2	0,52	494,3	0,25	-1739,6	-0,89	10,0	0,01	223,0	0,11
9	-386,3	-0,20	2129,3	1,09	-2115,6	-1,08	9,9	0,01	362,7	0,19
10	5712,2	2,92	-1045,6	-0,53	-9696,5	-4,96	295,6	0,15	4734,3	2,42
11	26708,2	13,65	2927,7	1,50	-52988,0	-27,08	4275,3	2,19	19076,7	9,75
12	-963,3	-0,49	-3,5	0,00	-3918,7	-2,00	988,9	0,51	3896,7	1,99
13	4687,2	2,40	-51,3	-0,03	-8287,1	-4,24	268,3	0,14	3382,9	1,73
14	20338,3	10,39	334,4	0,17	-26917,3	-13,76	4938,3	2,52	1306,3	0,67
15	15018,5	7,68	-409,0	-0,21	-18428,0	-9,42	1115,6	0,57	2703,0	1,38
16	5802,5	2,97	115,3	0,06	-7437,4	-3,80	391,8	0,20	1127,9	0,58
17	8908,6	4,55	455,0	0,23	-11898,0	-6,08	72,3	0,04	2462,1	1,26
18	-5047,5	-2,58	-5,8	0,00	-5229,2	-2,67	2762,6	1,41	7519,9	3,84
19	2868,5	1,47	-1,4	0,00	-3747,4	-1,92	298,5	0,15	581,8	0,30
20	1107,2	0,57	0,0	0,00	-2081,2	-1,06	262,8	0,13	711,1	0,36
21	434,4	0,22	2022,5	1,03	-2672,9	-1,37	26,5	0,01	189,6	0,10
22	-2598,9	-1,33	-16,9	-0,01	-13555,5	-6,93	3736,8	1,91	12434,5	6,36
23	2219,3	1,13	-4,1	0,00	-5346,2	-2,73	727,9	0,37	2403,2	1,23
24	-301,5	-0,15	0,0	0,00	-469,2	-0,24	380,8	0,19	390,0	0,20
25	602,2	0,31	2658,2	1,36	-3511,3	-1,79	32,2	0,02	218,6	0,11
26	-816,8	-0,42	0,0	0,00	-5520,2	-2,82	2070,2	1,06	4266,8	2,18
27	3829,9	1,96	1541,8	0,79	-9469,6	-4,84	1730,1	0,88	2367,8	1,21
28	-11480,4	-5,87	-86,0	-0,04	-3714,9	-1,90	2785,8	1,42	12495,6	6,39
29	-3249,0	-1,66	-211,9	-0,11	-173,8	-0,09	2087,1	1,07	1547,6	0,79
30	-1303,5	-0,67	0,0	0,00	-26,4	-0,01	856,0	0,44	473,9	0,24
31	3269,7	1,67	289,9	0,15	-7446,7	-3,81	744,9	0,38	3142,2	1,61
32	-185,3	-0,09	-228,1	-0,12	-2252,4	-1,15	1234,3	0,63	1431,5	0,73
33	-2118,1	-1,08	-78,6	-0,04	-1196,5	-0,61	962,1	0,49	2431,1	1,24
34	4198,3	2,15	896,4	0,46	-24925,8	-12,74	6846,1	3,50	12985,0	6,64

Qua kết quả thống kê, kịch bản thay đổi thảm phủ tương lai (2030) so với thảm phủ năm 2015 trong bảng 3.12 có thể thấy: Tại tất cả các tiểu lưu vực diện tích đất rừng hỗn hợp có xu hướng giảm đáng kể. Đáng chú ý tại tiểu lưu vực 11, 14 và 34

diện tích giảm so với hiện tại lớn hơn 10%. Bên cạnh đó, diện tích đất ở đô thị và đất cần cỗi lại gia tăng nhanh ở tất cả các tiểu lưu vực. Xét trên toàn lưu vực diện tích rừng hỗn hợp theo kịch bản trong tương lai giảm 308.871,2 ha (11,68% diện tích lưu vực). Diện tích đất đô thị và đất cần cỗi tăng lần lượt là 45.376,9 ha (1,72% diện tích lưu vực) và 123.623 ha (4,68% diện tích lưu vực). Sự thay đổi này sẽ tác động đáng kể lên dòng chảy trên lưu vực.

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 thảm phủ + kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5; Thay đổi thảm phủ + kịch bản biến đổi khí hậu RCP 8.5, cụ thể trong Bảng 3.13.

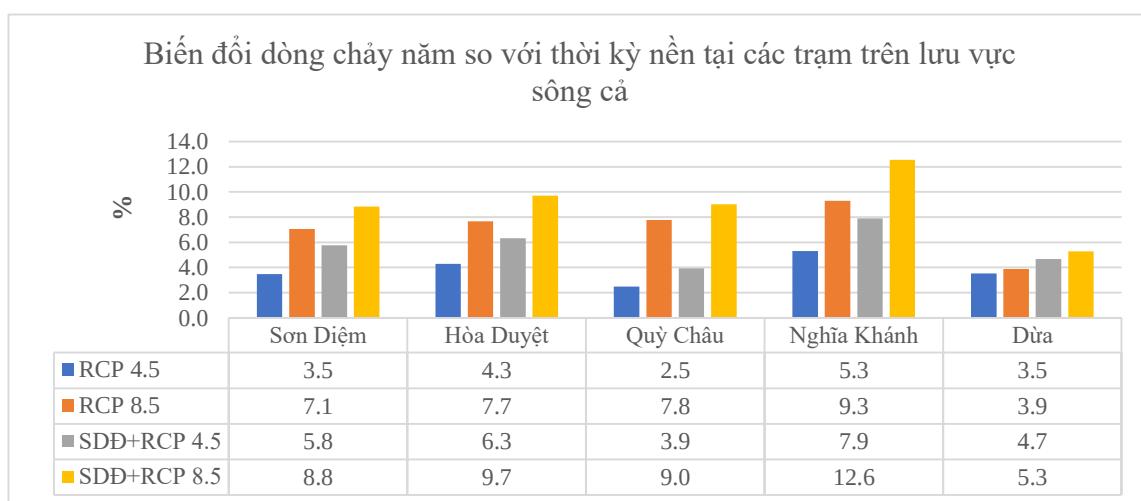
Bảng 3.13. Mô tả các kịch bản mô phỏng dòng chảy

Kịch bản	Mô tả	Dữ liệu khí tượng	Dữ liệu thảm phủ	Các dữ liệu khác
Kịch bản nền	Thời kỳ cơ sở	1986-2005	2005	Không đổi
RCP 4.5	Chỉ chịu tác động của BĐKH	2020-2039	2015	Không đổi
RCP 8.5	Chỉ chịu tác động của BĐKH	2020-2039	2015	Không đổi
SDĐ 2030 + RCP 4.5	Chịu tác động của BĐKH và thay đổi thảm phủ	2020-2039	2030	Không đổi
SDĐ 2030 + RCP 8.5	Chịu tác động của BĐKH và thay đổi thảm phủ	2020-2039	2030	Không đổi

3.2.6.1. Dòng chảy năm

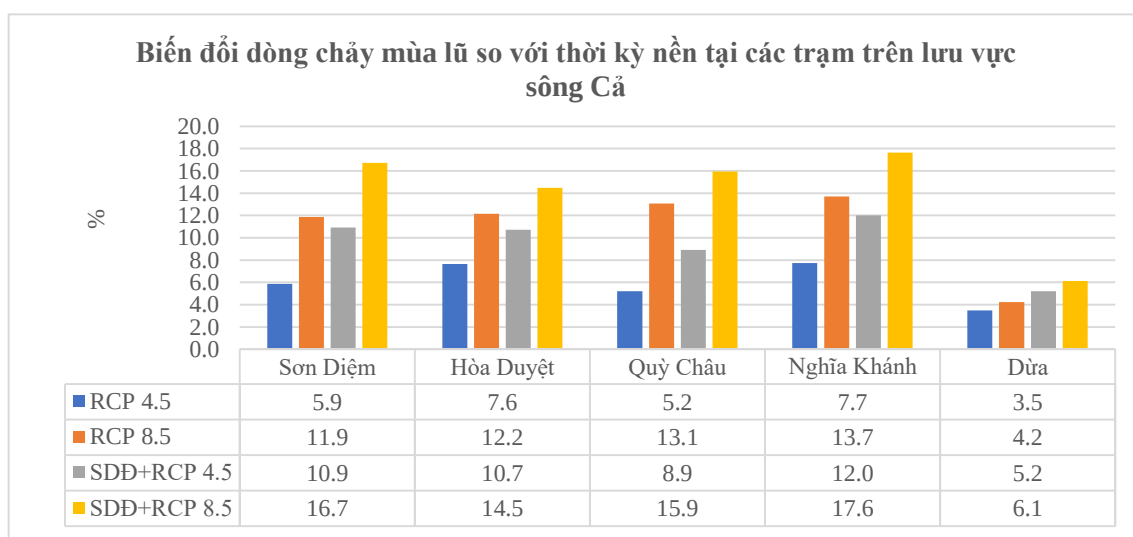
Theo 4 kịch bản, lưu lượng nước năm trên toàn lưu vực có xu thế tăng so với thời kỳ nền (1986-2005). Xu thế tăng thể hiện rõ rệt nhất trong kịch bản thay đổi sử dụng đất kết hợp kịch bản biến đổi khí hậu RCP 8.5 với lượng dòng chảy năm tăng rõ rệt trong thời kỳ từ 2020 – 2039, lượng tăng dòng chảy tăng nhiều nhất tại trạm Nghĩa Khánh là 12,6% so với thời kỳ nền. Xu thế tăng lượng dòng chảy năm ít nhất tại hầu hết các trạm ở kịch bản RCP 4.5, trạm Quỳnh Châu có lượng dòng chảy năm

tăng ít nhất là 2,5% so với thời kỳ nền. Trong trường hợp dòng chảy chịu tác động của BĐKH kết hợp thay đổi sử dụng đất, lượng dòng chảy năm tăng hơn so với kịch bản chịu ảnh hưởng của tác động biến đổi khí hậu. Tại các trạm biến đổi dòng chảy năm theo các kịch bản có sự khác nhau nhưng không nhiều (nhỏ hơn 10%) đặc biệt là trạm Dừa sự khác biệt về biến đổi dòng chảy năm của các kịch bản so với thời kỳ nền rất ít.



Hình 3.22. Biến đổi dòng chảy năm so với thời kỳ nền trên lưu vực sông Cả

3.2.6.2. Dòng chảy mùa lũ



Hình 3.23. Biến đổi dòng chảy mùa lũ so với thời kỳ nền trên lưu vực sông Cả

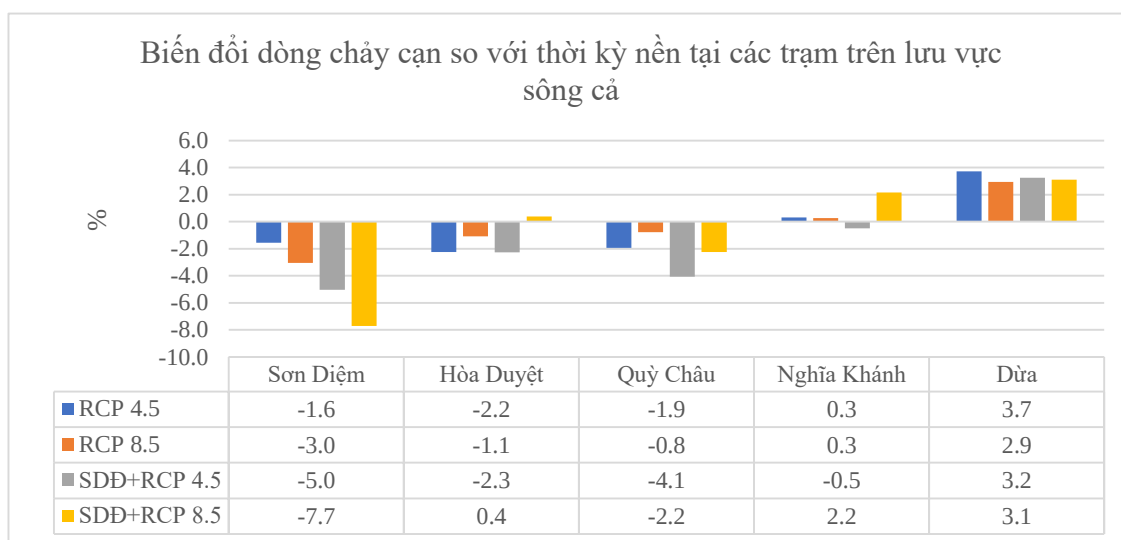
Lưu vực sông Cả là lưu vực sông lớn thứ hai của Bắc Trung Bộ, tổng diện tích lưu vực khoảng 27.200 km². Hệ thống sông Cả là tập hợp của rất nhiều sông, các

sông này có đặc điểm dòng chảy, mùa dòng chảy khác nhau. Bên cạnh đó vào tháng V và VII lưu vực chịu ảnh hưởng của lũ tiểu mãn. Vì vậy, thời gian bắt đầu và kết thúc mùa lũ giữa các khu vực và giữa các năm cũng rất khác nhau. Trong Luận án tính toán mùa lũ bắt đầu từ tháng VII và kết thúc vào tháng XI.

Theo hình 3.23, lưu lượng nước trong các tháng mùa lũ đều tăng đáng kể so với kịch bản nền. Tỷ lệ dòng chảy tăng lớn nhất tại trạm Nghĩa Khánh 16,7% (lưu lượng dòng chảy trung bình mùa lũ tăng tương ứng 178 m³/s). Do có diện tích không chế lớn nhất nên lượng dòng chảy trung bình mùa lũ tại trạm Dừa tăng nhiều nhất. Theo kịch bản biến đổi khí hậu RCP 8.5 và thay đổi thảm phủ, sự gia tăng lưu lượng trung bình mùa lũ tại trạm Dừa là 211 m³/s. Tuy nhiên, nếu xét theo tỷ lệ biến đổi dòng chảy trung bình mùa lũ thì trạm Dừa lại biến đổi ít nhất. Theo kịch bản biến đổi khí hậu RCP 4.5 kết quả tính tỷ lệ tăng dòng chảy tại trạm Dừa ít nhất (3,5%) so với tất cả các kịch bản tại các trạm.

Kịch bản thay đổi thảm phủ kết hợp với BĐKH làm gia tăng đáng kể lưu lượng dòng chảy trong thời kỳ mùa lũ. Theo kịch bản BĐKH RCP 8.5 và thay đổi thảm phủ các trạm đều có lưu lượng dòng chảy mùa lũ đều tăng nhiều nhất trên 10%, ngoại trừ trạm Dừa tỷ lệ dòng chảy chỉ tăng 6,1%. Quá trình phát triển kinh tế xã hội tại các tiểu lưu vực đã làm thay đổi rất lớn mục đích sử dụng đất dẫn tới sự thay đổi diện tích rừng tự nhiên do đất nông - lâm nghiệp chuyển thành đất đô thị và đất xấu. Đây là một trong những nguyên nhân chủ yếu làm gia tăng đáng kể lưu lượng dòng chảy mùa lũ trên lưu vực.

3.2.6.3. Dòng chảy mùa cạn



Hình 3.24. Biến đổi dòng chảy cạn so với thời kỳ nền trên lưu vực sông Cả

So với thời kỳ mùa lũ trong thời kỳ mùa cạn xét từ tháng XII đến tháng VI năm sau, lượng dòng chảy trong thời kỳ mùa cạn tại các trạm biến đổi ít hơn nhiều cả về lượng và tỉ lệ. Ở các kịch bản dòng chảy tại các trạm hầu hết có xu thế là giảm so với thời kỳ nền ngoại trừ trạm Dừa có xu thế tăng nhẹ từ 2 - 4%. Điều này có thể do diện tích lưu vực không chế đến trạm Dừa khá lớn, trong khu vực này lượng mưa giữa các vùng rất khác nhau. Dòng chảy mùa cạn tại trạm Sơn Diệm giảm nhiều nhất, đặc biệt ở kịch bản RCP 8.5 kết hợp thay đổi thảm phủ.

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

Kịch bản	Dòng chảy năm			Dòng chảy mùa lũ			Dòng chảy mùa cạn		
	Q(m ³ /s)	ΔQ(m ³ /s)	ΔQ(%)	Q(m ³ /s)	ΔQ(m ³ /s)	ΔQ(%)	Q(m ³ /s)	ΔQ(m ³ /s)	ΔQ(%)
Sơn Diệm									
Nền	511,2			346,4			164,8		
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
SDD+RCP 4.5	540,8	29,5	5,8	384,3	37,8	10,9	156,5	-8,3	-5,0
SDD+RCP 8.5	556,4	45,2	8,8	404,3	57,9	16,7	152,1	-12,7	-7,7
Hòa Duyệt									
Nền	1096,9			725,9			371,0		
RCP 4.5	1144,0	47,1	4,3	781,3	55,4	7,6	362,7	-8,3	-2,2

Kịch bản	Dòng chảy năm			Dòng chảy mùa lũ			Dòng chảy mùa cạn		
	Q(m ³ /s)	ΔQ(m ³ /s)	ΔQ(%)	Q(m ³ /s)	ΔQ(m ³ /s)	ΔQ(%)	Q(m ³ /s)	ΔQ(m ³ /s)	ΔQ(%)
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									
Nền	1017,2			629,3			388,0		
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									
Nền	1500,0			1007,7			492,3		
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									
Nền	4746,0			3456,0			1290,0		
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
SDĐ+RCP 8.5	4997,3	251,3	5,3	3667,3	211,3	6,1	1330,0	40,0	3,1

3.2.6.4. Dòng chảy tháng

Kết quả thống kê dòng chảy tháng theo các kịch bản tại tác trạm được thống kê trong bảng 3.15.

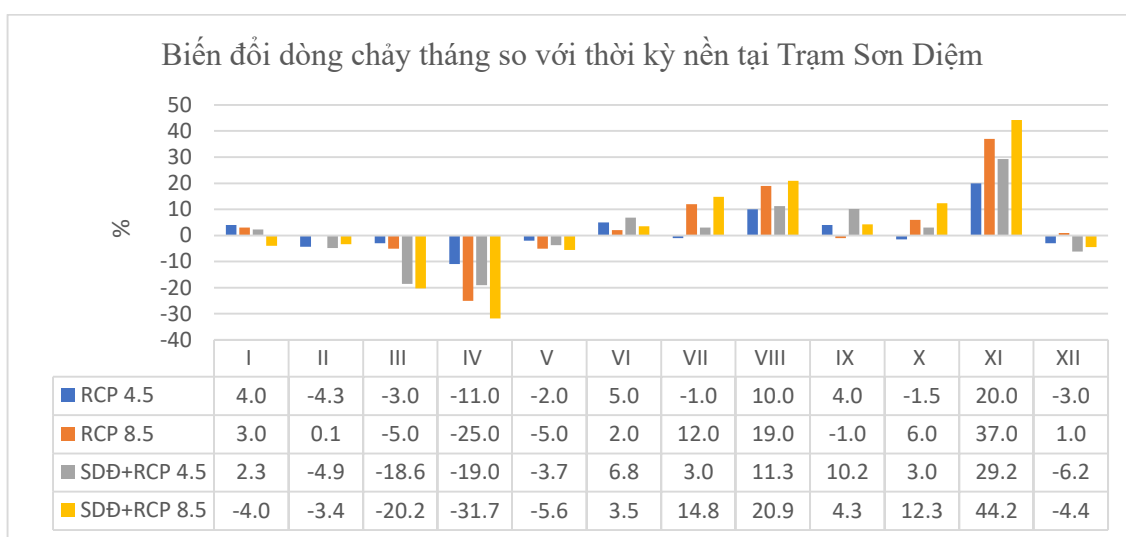
Theo bảng 3.15, lưu lượng dòng chảy trung bình các tháng tại trạm Sơn Diệm lần lượt là 42,6, 44,1, 45,6, 45,1, và 46,4 m³/s tương ứng với các kịch bản Nền, RCP 4.5, RCP 8.5, SDĐ+RCP4.5 và SDĐ+RCP8.5; tại trạm Hòa Duyệt lần lượt là 91,4, 95,3, 98,4, 97,2, 100,3 m³/s; tại trạm Quỳ Châu là 84,8, 86,9, 91,4, 88,1, 92,4 m³/s; tại trạm Nghĩa Khánh là 125,0, 131,6, 136,6, 134,9, 140,7 m³/s; tại trạm Dừa là 395,5, 409,5, 410,9, 414,0, 416,4 m³/s. Từ đó, có thể thấy lượng dòng chảy trung bình tháng

các trạm lưu vực sông Cả có xu thế tăng dần từ kịch bản Nền cho đến kịch bản SDD+RCP8.5.

Dòng chảy tối thiểu là vào tháng 2, 3, 4 tại trạm Sơn Diệm với xu thế lưu lượng giảm dần từ kịch bản Nền cho đến kịch bản SDD+RCP8.5. Dòng chảy tối đa là vào tháng 8, 9, 10 tại trạm Dừa với xu thế lưu lượng tăng dần từ kịch bản Nền cho đến kịch bản SDD+RCP8.5. Theo kịch bản SDD+RCP8.5, tháng kiệt nhất tại lưu vực sông Cả là tháng 4, tại trạm Sơn Diệm lưu lượng chỉ đạt ở mức 11,9 m³/s, trạm Dừa chỉ đạt 90,6 m³/s. Tháng có lưu lượng lớn nhất là tháng 9, tại trạm Sơn Diệm lưu lượng đạt 112,0 m³/s, còn trạm Dừa lên tới 1024,5 m³/s. Theo đó, có thể thấy, lượng dòng chảy lưu vực sông Cả phân bố không đều theo không gian, trạm Sơn Diệm, Hòa Duyệt có lưu lượng thấp hơn tương đối nhiều so với các trạm Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh và Dừa.

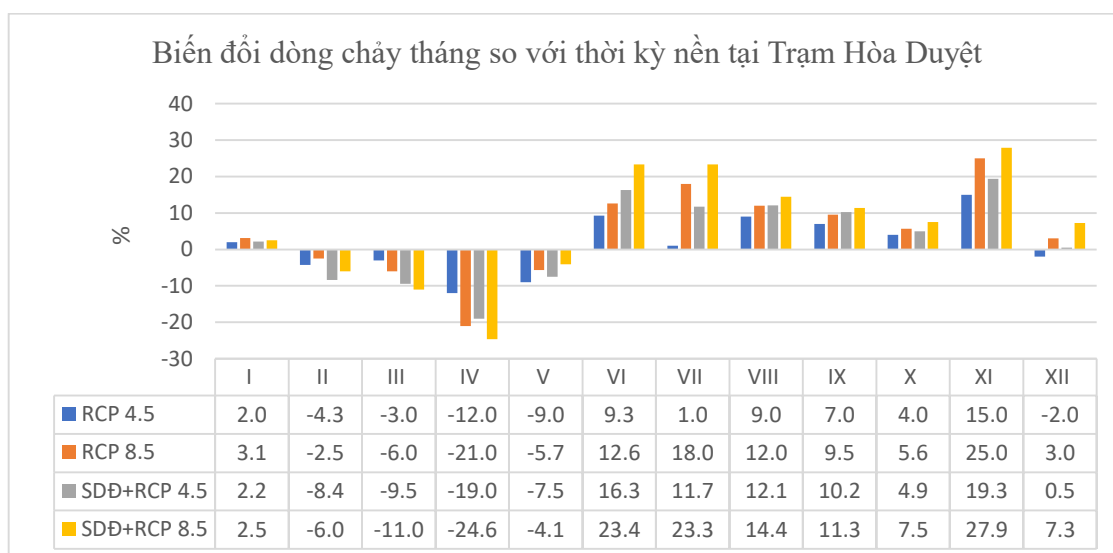
Các tháng mùa lũ trùng hợp với mùa mưa là tháng 7 đến tháng 11, các tháng mùa lũ không trùng mùa mưa là tháng 5, tháng 6. Nhìn chung, chế độ nước tại các trạm trùng với chế độ mưa, mùa lũ trùng mùa mưa và mùa cạn trùng mùa khô. Tuy nhiên trên thực tế mùa lũ thường lùi sau mùa mưa khoảng 1 đến 1,5 tháng, vì nước mưa cần thời gian để tích đủ lượng nước. Theo kết quả mô phỏng, có thể thấy đối với mùa lũ hiện tại (tháng 7-11), 2 trạm Sơn Diệm, Hòa Duyệt mùa lũ có xu thế lùi về tháng 12, trạm Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Dừa mùa lũ có xu thế đến sớm (tháng 6) với lưu lượng dòng chảy trung bình tháng đó (tháng 12 đối với Sơn Diệm, Hòa Duyệt; tháng 7 đối với Quỳnh Châu, Nghĩa Khánh, Dừa) tăng dần theo các kịch bản. Tương tự như vậy, đối với mùa khô.

Xét theo khoảng thời gian biến đổi dòng chảy giữa các tháng tại các trạm thấy rõ sự khác nhau được thể hiện ở hình 3.25 và các hình 3.26, 3.27, 3.28, 3.29.



Hình 3.25. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Sơn Diệm

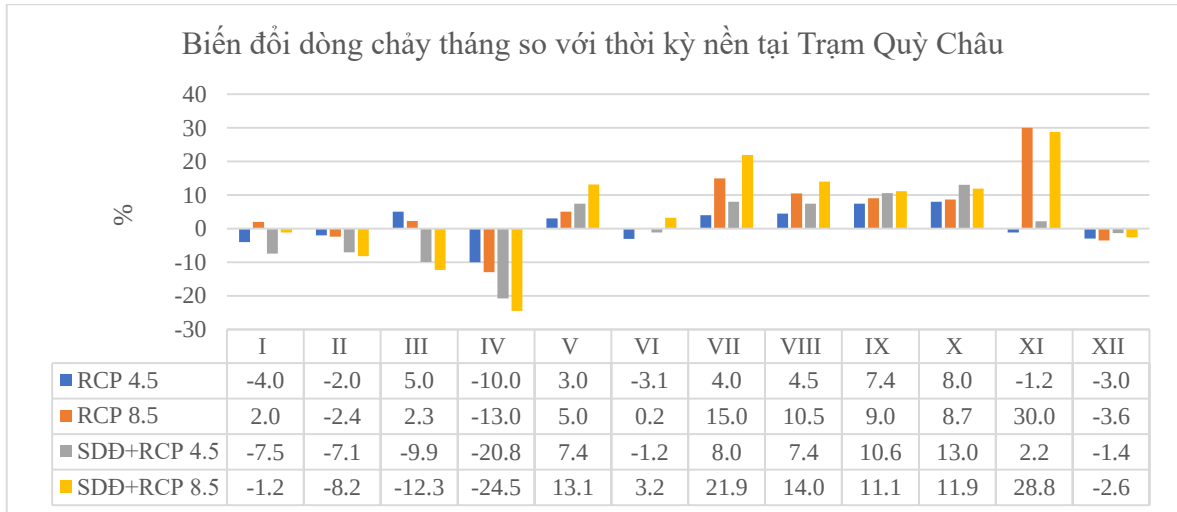
Tại trạm Sơn Diệm lưu lượng nước các tháng mùa lũ hầu hết đều tăng, các tháng trong mùa cạn lưu lượng các tháng đều giảm ngoại trừ tháng VI (đây là tháng chuyển tiếp giữa mùa cạn sang mùa lũ) lại tăng. Tháng XI là tháng có lưu lượng nước tăng cao nhất (hơn 40%) và tháng VI là tháng có lưu lượng nước giảm thấp nhất (30%) theo kịch bản thay đổi sử dụng đất và RCP8.5.



Hình 3.26. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Hòa Duyệt

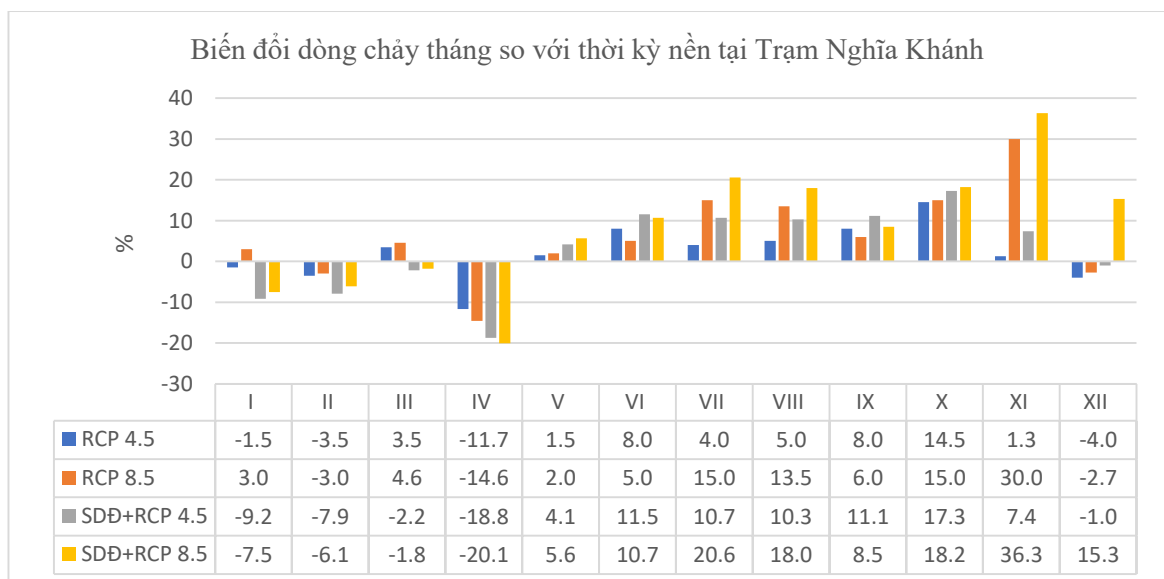
Tại trạm Hòa Duyệt lưu lượng nước các tháng mùa lũ hầu hết đều tăng, các tháng giữa mùa cạn đều giảm chỉ tăng trong hai tháng đầu mùa cạn và tháng cuối mùa

cạn. Tháng XI là tháng có lưu lượng nước tăng cao nhất (gần 30%) và tháng IV là tháng có lưu lượng nước giảm thấp nhất (hơn 20%) theo kịch bản thay đổi sử dụng đất và RCP8.5.



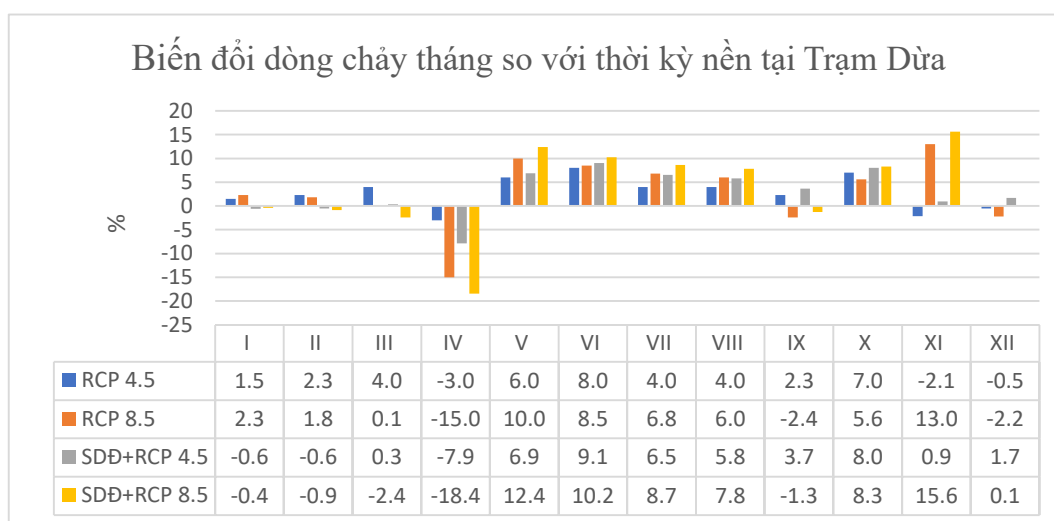
Hình 3.27. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Quỳ Châu

Tại trạm Quỳ Châu các tháng trong mùa lũ đều tăng khoảng 10-20%, riêng tháng XI theo kịch bản RCP4.5 dòng chảy tăng đến 30%. Tháng IV có lượng dòng chảy giảm nhiều nhất ở tất cả các kịch bản biến đổi từ 10-25%. Tháng IX theo kịch bản RCP 8.5 có lưu lượng nước tăng lớn nhất (30%).



Hình 3.28. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Nghĩa Khánh

Tại trạm Nghĩa Khánh lưu lượng nước các tháng mùa lũ đều tăng. Tháng X, XI là 2 tháng có xu thế tăng nhiều nhất. Tháng XI theo kịch bản RCP 8.5 và thay đổi thảm phủ có lưu lượng nước tăng nhiều nhất (hơn 35%). Các tháng đầu và giữa mùa cạn lưu lượng dòng chảy tháng của các kịch bản chủ yếu giảm hoặc tăng rất ít chỉ có thời kỳ cuối mùa cạn (tháng V, VI) thì lưu lượng tăng và tháng IV là tháng có lưu lượng nước giảm nhiều nhất (10-20%).



Hình 3.29. Biến đổi dòng chảy tháng của các kịch bản so với thời kỳ nền tại trạm Dừa

Tại trạm Dừa, xu thế biến đổi dòng chảy tháng có sự khác biệt đôi chút so với các trạm trên. Lưu lượng dòng chảy các tháng chủ yếu có xu thế tăng trong cả mùa lũ và mùa cạn. Các tháng mùa lũ dòng chảy tăng nhiều. Tháng XI theo kịch bản RCP 8.5 và thay đổi thảm phủ có lưu lượng nước tăng nhiều nhất (hơn 15%). Các tháng mùa cạn lưu lượng dòng chảy tăng rất ít chỉ riêng tháng IV có lưu lượng nước giảm nhiều nhất lên đến 18,1% ở kịch bản RCP 8.5 và thay đổi thảm phủ.

Bảng 3.15. 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	111,7	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	106,4	82,4	73,4	33,6
	SDĐ+RCP 4.5	22,7	18,9	14,7	14,2	25,5	29,4	40,1	76,5	118,4	80,1	69,2	31,2
	SDĐ+RCP 8.5	21,3	19,2	14,4	11,9	25,0	28,5	44,7	83,1	112,0	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	251,7	233,5	169,5	73,3
	RCP 8.5	51,8	44,2	36,6	31,6	57,8	68,0	41,9	93,1	257,5	237,2	184,3	77,1
	SDĐ+RCP 4.5	51,3	41,5	35,2	32,4	56,7	70,2	39,7	93,2	259,2	235,6	175,9	75,2
	SDĐ+RCP 8.5	51,5	42,6	34,6	30,2	58,8	74,5	43,8	95,2	261,9	241,5	188,5	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	144,1	181,0	155,5	86,8	61,7
	RCP 8.5	51,7	43,0	39,5	32,9	66,7	89,9	104,6	152,3	183,7	156,5	114,3	61,3
	SDĐ+RCP 4.5	46,9	40,9	34,8	29,9	68,3	88,6	98,3	148,1	186,3	162,8	89,8	62,8
	SDĐ+RCP 8.5	50,1	40,4	33,9	28,5	71,9	92,5	110,9	157,2	187,2	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	125,4	217,4	333,5	288,2	121,2	66,6
	RCP 8.5	59,4	49,9	50,6	42,2	96,9	127,1	138,6	235,0	327,3	289,4	155,5	67,5
	SDĐ+RCP 4.5	52,4	47,3	47,3	40,2	98,9	135,0	133,5	228,3	343,2	295,2	128,4	68,7
	SDĐ+RCP 8.5	53,3	48,2	47,5	39,5	100,3	134,0	145,3	244,4	335,1	297,5	163,1	80,0
Dừa	Nền	153,0	127,0	116,0	111,0	222,0	364,0	513,0	837,0	1038,0	709,0	359,0	197,0
	RCP 4.5	155,3	129,9	120,6	107,7	235,3	393,1	533,5	870,5	1061,9	758,6	351,3	196,0
	RCP 8.5	156,5	129,3	116,1	94,4	244,2	394,9	547,9	887,2	1013,1	748,6	405,7	192,6
	SDĐ+RCP 4.5	152,1	126,3	116,4	102,3	237,3	397,0	546,4	885,5	1076,2	765,8	362,4	200,4
	SDĐ+RCP 8.5	152,4	125,9	113,2	90,6	249,5	401,2	557,4	902,3	1024,5	768,0	415,1	197,2

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

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

1. Về đề xuất khung nghiên cứu phục vụ dự tính biến đổi thảm phủ cho một lưu vực sông theo hướng tiếp cận xác suất thống kê sử dụng chuỗi Markov, Cellular Automata, kỹ thuật Delphi.

Từ nghiên cứu tổng quan các tài liệu trong và ngoài nước, Luận án đã đề xuất được 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 và xây dựng phương pháp kết hợp viễn thám, tham vấn Delphi, phân tích chuỗi Markov và Cellular Automata để dự tính biến đổi thảm phủ và đề xuất được quy trình đánh giá tác động của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy bề mặt lưu vực sông Cả.

2. Về mô phỏng sự thay đổi thảm phủ và đưa ra kịch bản thảm phủ trong tương lai cho lưu vực sông Cả từ ảnh viễn thám 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 kinh tế - xã hội, quản lý đất đai, phát triển bảo vệ rừng, chuyển đổi mục đích sử dụng đất.

Luận án đã xác định được các tác nhân và ràng buộc để mô phỏng sự thay đổi thảm phủ tới dòng chảy bề mặt lưu vực sông Cả bằng phương pháp tham vấn ý kiến chuyên gia Delphi 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.

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 phù hợp giữa bản đồ thảm phủ thành lập từ ảnh viễn thám và mô phỏng, đồng thời cũng chứng minh 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 13,05%, đất nông nghiệp, xây dựng, vùng nước và đất trống tăng lần lượt là: 3,15%, 4,34%, 1,45% và 4,10%. 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 dự tính thảm phủ không gian, thời gian và định lượng của lưu vực sông Cả, đặc biệt là khu vực bên phía Lào, sẽ là nguồn dữ liệu bổ sung hữu ích trong việc đánh giá tác động của các yếu tố tự nhiên khác.

3. Về đánh giá định lượng tác động đồng thời của sự thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu đối với dòng chảy lưu vực sông Cả trong tương lai.

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. Mức tăng nhiều nhất tại trạm Dừa với kịch bản thảm phủ + RCP8.5 là 4997,3 m³/s. Lượng dòng chảy trung

bình thánh các trạm lưu vực sông Cả có xu thế tăng dần từ kịch bản Nền cho đến kịch bản SDD+RCP8.5, cụ thể tại trạm Sơn Diệm lần lượt là 42,6, 44,1, 45,6, 45,1, và 46,4 m³/s; tại trạm Hòa Duyệt lần lượt là 91,4, 95,3, 98,4, 97,2, 100,3 m³/s; tại trạm Quỳnh Châu là 84,8, 86,9, 91,4, 88,1, 92,4 m³/s; tại trạm Nghĩa Khánh là 125,0, 131,6, 136,6, 134,9, 140,7 m³/s; tại trạm Dừa là 395,5, 409,5, 410,9, 414,0, 416,4 m³/s tương ứng với các kịch bản Nền, RCP 4.5, RCP 8.5, SDD+RCP4.5 và SDD+RCP8.5. 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:

- Các nghiên cứu tiếp theo có thể kế thừa các tác nhân, ràng buộc của Luận án và tiếp tục tìm kiếm, nghiên cứu mở rộng thêm các tác nhân, ràng buộc khác, xây dựng một quy tắc chuyển đổi hoàn chỉnh hơn nữa để nắm bắt càng đầy đủ các điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội, đặc biệt là các tác nhân có liên quan tới ảnh hưởng từ con người và chính sách.

- Luận án đã đưa ra được khung nghiên cứu và quy trình thực hiện đánh giá tác động của thay đổi thảm phủ và biến đổi khí hậu tới dòng chảy lưu vực sông. Các nghiên cứu tiếp theo có thể kế thừa khung nghiên cứu và quy trình này, tuy nhiên, cần cải thiện hơn nữa dữ liệu đầu vào cho mô hình mô phỏng như: dữ liệu thảm phủ, thủy văn bên phía Lào, xét thêm các yếu tố khác có ảnh hưởng tới dòng chảy lưu vực sông.

- Các nghiên cứu tiếp theo cũng có thể áp dụng quy trình mô phỏng sự thay đổi thảm phủ, từ đó đưa ra kịch bản thảm phủ tương lai, sau đó hướng tới việc đánh giá tác động tới dòng chảy lưu vực sông có xét đến ảnh hưởng qua lại giữa thảm phủ tương lai và biến đổi khí hậu hoặc đánh giá riêng rẽ thay đổi thảm phủ hay biến đổi khí hậu có đóng góp quan trọng hơn trong thay đổi dòng chảy tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Nguyễn Huy Anh, Đinh Thanh Kiên (2011), *Ứng dụng GIS và viễn thám thành lập bản đồ lớp phủ mặt đất khu vực Chân Mây Lăng Cô, Phú Lộc, Thừa Thiên Huế*, Kỷ yếu hội thảo khoa học “Ứng dụng GIS toàn quốc năm 2010, Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hồ Chí Minh.
2. Nguyễn Thị Tịnh Âu và nnk (2014), *Tác động của sự thay đổi thảm phủ đến cân bằng nước trên lưu vực sông Đăk Bla, Kon Tum*, Kỷ yếu hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc 2014, Trường ĐH Sư phạm Kỹ thuật Tp. Hồ Chí Minh;
3. Trần Việt Bách (2017). *Ứng dụng mô hình SWAT để tính toán lưu lượng dòng chảy và bùn cát trên lưu vực sông Cầu*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường số 57 (3/2017).
4. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2016). *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam*.
5. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2020). *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam*.
6. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022). *Báo cáo tài nguyên nước quốc gia giai đoạn 2016-2021*.
7. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2012). *Báo cáo đánh giá môi trường. Dự án quản lý thiên tai (WB5)*.
8. Phạm Văn Cự và cộng sự (2006), “*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 tỉnh Thái Bình*”;
9. Lê Thị Giang, Đào Châu Thu (2003). *Tìm hiểu sự thay đổi sử dụng đất nông lâm nghiệp tại huyện Yên Châu, tỉnh Sơn La qua việc sử dụng kỹ thuật giải đoán ảnh viễn thám*, Tạp chí Khoa học đất, 17: 169-174.
10. Nguyễn Thị Hồng và nnk (2014), *Ứng dụng GIS và mô hình SWAT đánh giá ảnh hưởng thay đổi sử dụng đất đến lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Vu Gia*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Tập 30;
11. Huỳnh Thị Lan Hương (2013), *Kết quả nghiên cứu tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Ba*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, số 13/2013.
12. Nguyễn Thị Thu Huyền, Nguyễn Văn Hùng, Nguyễn Thanh Hùng, Vũ Đình Cường, Hoàng Mạnh Cường (2018), *Nghiên cứu ứng dụng mô hình SWAT đánh*

- giá biến động dòng chảy, bùn cát trên lưu vực sông Nhật Lệ tỉnh Quảng Bình. Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi số 48/2018.*
13. Phạm Thị Hương Lan (2003), *Đánh giá ảnh hưởng của rừng đến dòng chảy dựa vào chuỗi số liệu nhiều năm*, Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ 8 (tập 2, Thủy văn và Môi trường), Viện Khí tượng Thủy văn, 12/2003
 14. Nguyễn Thị Liễu (2014), *Ứng dụng GIS và mô hình SWAT mô phỏng tác động của sự thay đổi thảm phủ lên dòng chảy lưu vực sông Tà Lài*, Tiểu luận tốt nghiệp, Trường Đại học Nông lâm TP Hồ Chí Minh;
 15. Vũ Hữu Long, Phạm Khánh Chi, Trần Hùng (2011), *Sử dụng tư liệu vệ tinh MODIS nghiên cứu mùa vụ cây trồng, lập bản đồ hiện trạng và biến động phủ vùng Đồng bằng sông Hồng giai đoạn 2008-2010*, Nhà xuất bản Nông nghiệp, CMH.
 16. Nguyễn Hoàng Minh, Trần Thị Vân, Lại Tiến Vinh, Trần Hồng Thái (2015), *Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước lưu vực sông Lô*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn, số 651(8)/2015.
 17. Nguyễn Ý Như, Nguyễn Thanh Sơn (2009), *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*, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên & Công nghệ T.25 Số 3S (2009) 492-498;
 18. Nguyễn Ngọc Phi (2009). *Ứng dụng viễn thám theo dõi biến động đất đô thị thành phố Vinh, tỉnh Nghệ An*. Truy cập ngày 12/12/2018, tại trang web idm.gov.vn/nguon_luc/Xuat_ban/2009/a310/a53.htm.
 19. Nguyễn Kỳ Phùng (2012), *Ứng dụng mô hình SWAT đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy lưu vực sông Đồng Nai*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi số 12/2012;
 20. Nguyễn Thị Phương, Trịnh Phương Thảo, Trần Ngọc Anh, Nguyễn Xuân Hiền, Bùi Văn Chanh (2017), *Ứng dụng mô hình SWAT đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến dòng chảy lũ trạm Đồng Trăng, lưu vực sông Cái Nha Trang tỉnh Khánh Hòa*. Tạp chí khí tượng thủy văn, số tháng 10/2017.
 21. Trương Chí Quang, Nguyễn Thiên Hoa, Võ Quốc Tuấn, Võ Quang Minh (2015), *Mô hình Markov-Cellular Automata trong mô phỏng sự thay đổi sử dụng đất các tỉnh ven biển đồng bằng sông Cửu Long*, Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ;

22. Ngô Đình Quế (2005), *Đánh giá tác động của rừng đến dòng chảy và xói mòn đất trên một số lưu vực sông miền Trung và Tây Nguyên*, Trung tâm Nghiên cứu Sinh thái và Môi trường rừng, Viện Khoa học Lâm nghiệp Việt Nam;
23. Lê Văn Quy, Phan Văn Thành, Mai Trọng Hoàng, Lê Văn Tuất, Phùng Ngọc Trường (2020), *Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến chế độ dòng chảy lưu vực sông Ba*, Tạp chí Khoa học Biến đổi khí hậu, số 14/2020.
24. Hoàng Xuân Thành (2006), *Thành lập bản đồ thảm thực vật trên cơ sở phân tích, xử lý ảnh viễn thám tại khu vực Tủa Chùa – Lai Châu*;
25. Trần Thục, Huỳnh Thị Lan Hương (2003), *Tính toán đánh giá ảnh hưởng của sự thay đổi sử dụng đất đến dòng chảy lưu vực sông Trà Khúc*, Tuyển tập báo cáo Hội thảo khoa học lần thứ 8 (tập 2, Thủy văn và Môi trường), Viện Khí tượng Thủy văn, 12/2003;
26. Thái Văn Trùng (1978), *Thảm thực vật rừng Việt Nam (trên quan điểm hệ sinh thái)*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
27. Nguyễn Quang Tuấn, Trần Văn No, Đỗ Thị Việt Hương (2008), *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*, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.
28. Nguyễn Khắc Thời, Nguyễn Thị Thu Hiền, Phạm Vọng Thành (2010). *Nghiên cứu sử dụng tư liệu ảnh vệ tinh để thành lập bản đồ biến động sử dụng đất nông nghiệp khu vực Gia Lâm-Long Biên giai đoạn 1999-2005*, Tạp chí Khoa học đất, 33.
29. Vũ Văn Tuấn, Phạm Thị Hương Lan (2004), *Ứng dụng mô hình toán để đánh giá ảnh hưởng của rừng tới một số đặc trưng thủy văn trong lưu vực sông nhỏ*, Tạp chí KTTV, số 8 (524)/2004.
30. Hoàng Minh Tuyển (2007), *Nghiên cứu xây dựng khung hỗ trợ ra quyết định trong quản lý tài nguyên nước lưu vực sông Cả*. Đề tài nghiên cứu cấp Bộ, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Bộ TNMT.
31. Trần Thanh Xuân, Trần Thục, Hoàng Minh Tuyển (2011), *Tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học – Kỹ thuật.

32. Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Ghasemi, S. S., & Yang, H. (2009). *Assessing the impact of climate change on water resources in Iran*. Water Resour. Res., 45, W10434, DOI: 10.1029/2008WR007615.
33. Agarwal, C., Green, G. M., Grove, J. M., Evans, T. P., & Schweik, C. M. (2002). *A review and assessment of land-use change models: dynamics of space, time, and human choice*. Gen. Tech. Rep. NE-297. Newton Square, PA: US Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 61 p., 297.
34. Ahmed, B., Ahmed, R., & Zhu, X. (2013). *Evaluation of model validation techniques in land cover dynamics*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2(3), 577-597.
35. Al-shalabi, M., Billa, L., Pradhan, B., Mansor, S., & Al-Sharif, A. A. (2013). *Modelling urban growth evolution and land-use changes using GIS based cellular automata and SLEUTH models: the case of Sana'a metropolitan city, Yemen*. Environmental earth sciences, 70(1), 425-437.
36. Al-sharif, A. A., & Pradhan, B. (2014). *Monitoring and predicting land use change in Tripoli Metropolitan City using an integrated Markov chain and cellular automata models in GIS*. Arabian journal of geosciences, 7(10), 4291-4301.
37. An, P., Moon, W., & Rencz, A. (1991). *Integration of geological, geophysical, and remote sensing data using fuzzy set theory*. Canadian Journal of Exploration Geophysics, 27(1), 1-11.
38. Anderson, J. R. (1976). *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data* (Vol. 964): US Government Printing Office.
39. Araya, Y. H., & Cabral, P. (2010). *Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal*. Remote Sensing, 2(6), 1549-1563.
40. Arantes, L. T., Carvalho, A. C., Carvalho, A. C., Lorandi, R., Moschini, L. E., & Lollo, J. A. (2021). *Surface runoff associated with climate change and land use and land cover in southeast region of Brazil*. Environmental Science, 3, 100054. doi: 10.1016/j.envc.2021.100054.
41. Aronoff, S. (1985). *The minimum accuracy value as an index of classification accuracy*. Photogrammetric engineering and remote sensing, 51(1), 99-111.
42. Arsanjani, J. J., Kainz, W., & Mousivand, A. J. (2011). *Tracking dynamic land-use change using spatially explicit Markov Chain based on cellular automata: the case of Tehran*. International Journal of Image and Data Fusion, 2(4), 329-345. doi:10.1080/19479832.2011.605397

43. ASTER-GDEM. (October 2011). *ASTER GDEM 2 README*.
44. Balzter, H., Braun, P. W., & Köhler, W. (1998). *Cellular automata models for vegetation dynamics*. Ecological modelling, 107(2-3), 113-125.
45. Barsi, J. A., Lee, K., Kvaran, G., Markham, B. L., & Pedelty, J. A. (2014). *The spectral response of the Landsat-8 operational land imager*. Remote Sensing, 6(10), 10232-10251.
46. Beyene, T., Lettenmaier, D.P. & Kabat, P. (2010). *Hydrologic impacts of climate change on the Nile River Basin: implications of the 2007 IPCC scenarios*. Climatic Change 100, 433–461. doi: 10.1007/s10584-009-9693-0.
47. Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.
48. Cohen, J. (1960). *A coefficient of agreement for nominal scales*. Educational and psychological measurement, 20(1), 37-46.
49. Corner, R. J., Dewan, A. M., & Chakma, S. (2014). *Monitoring and prediction of land-use and land-cover (LULC) change in Dhaka megacity* (pp. 75-97): Springer.
50. Costa, M. H., Botta, A., & Cardille J. A. (2003). *Effect of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia*. Journal of Hydrology, 283(1-4), 206-217, doi: 10.1016/S0022-1694(03)00267-1.
51. Dibaba, W. T., Demissie, T. A., Miegel, K. (2020). *Watershed Hydrological Response to Combined Land Use/Land Cover and Climate Change in Highland Ethiopia: Finchaa Catchment*. Water, 12(6), 1801. doi: 10.3390/w12061801.
52. Duong, N. D., Thoa, K., & Hoan, N. T. (2005). *Monitoring of forest cover change in Tanh Linh district, Binh Thuan province, Vietnam by multi-temporal Landsat TM data*. Truy cập ngày 8/12/2018, tại trang web <https://www.researchgate.net/>.
53. Duong, N. D., (2006). *Study land cover change in Vietnam in period 2001-2003 using MODIS 32days composite*. Truy cập ngày 8/12/2018, tại trang web <https://www.academia.edu/>.
54. D BEHERA, M., Borate, S. N., Panda, S. N., Behera, P. R., & Roy, P. S. (2012). *Modelling and analyzing the watershed dynamics using Cellular Automata (CA)–Markov model–A geo-information based approach*. Journal of earth system science, 121(4), 1011-1024.

55. Eastman, J. R. (2015). *TerrSet manual*. Accessed in TerrSet version, 18, 1-390.
56. Emlaei, Z., Pourebrahim, S., Heidari, H., Lee, K. E. (2022). *The Impact of Climate Change as Well as Land-Use and Land-Cover Changes on Water Yield Services in Haraz Basin*. Sustainability, 14, 7578. doi: 10.3390/su14137578.
57. Farley, K. A., Jobbágy, E. G. & Jackson, R. B. (2005). *Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy*. Global Change Biology, 11: 1565-1576. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x>
58. Foody, G. M., Campbell, N., Trodd, N., & Wood, T. (1992). *Derivation and applications of probabilistic measures of class membership from the maximum-likelihood classification*. Photogrammetric engineering and remote sensing, 58(9), 1335-1341.
59. Gertler, P., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L., & Vermeersch, C. (2011). *Impact Evaluation in Practice*. The World Bank. ISBN: 978-0-8213-8541-8
60. Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). *Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model*. Ecological modelling, 222(20-22), 3761-3772.
61. Hadi Memarian, S. K. B., Jamal Bin Talib, Christopher Teh Boon Sung, Alias Mohd Sood, Karim Abbaspour. (2012). *Validation of CA-Markov for Simulation of Land Use and Cover change in the Langat Basin, Malaysia*. Journal of Geographic Information System, 4, 13. doi:10.4236/jgis.2012.46059
62. Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A., & Salem, B. B. (2015). *Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA*. Applied geography, 63, 101-112.
63. Hao, W., Anqi, L., Xudong, X., Danxia, S., & Yan, L. (2021). *Identifying core driving factors of urban land use change from global land cover products and POI data using the random forest method*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 103(102475). doi: 10.1016/j.jag.2021.102475.
64. Houet, T., & Hubert-Moy, L. (2006). *Modeling and projecting land-use and land-cover changes with Cellular Automaton in considering landscape trajectories*. EARSeL eProceedings, 5(1), 63-76.
65. Huong, H. T. L. (2021). *Impact of climate change on seasonal distribution of flows in Ca basin, Central Viet Nam*. Vietnam Journal of Hydrometeorology, 7, 85-95, doi: 10.36335/VNJHM.2021(7).85-96.

66. Iacono, M., Levinson, D., El-Geneidy, A., & Wasfi, R. (2015). *A Markov chain model of land use change*. TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment, 8(3), 263-276.
67. Isma'il, M., & Abubakar, S. (2015). *Geospatial Analysis of Landuse/Landcover Change in Wudil Town of Kano State, Nigeria*. International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences, 3(5), 189.
68. Jansen, L. J. M., & Gregorio, A. D. (2000). *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
69. Jayawardena, A., Takahasi, Y., Tachikawa, Y., & Takeuchi, K. (2012). *Catalogue of Rivers for Southeast Asia and the Pacific - Volume 6: UNESCO-IHP Regional Steering Committee for Southeast Asia and the Pacific*.
70. Jha, M., Pan, Z., Takle, E. S., & Gu, R. (2004). *Impacts of climate change on streamflow in the Upper Mississippi River Basin: A regional climate model perspective*. J. Geophys. Res., 109, D09105, DOI: 10.1029/2003JD003686.
71. Jokar Arsanjani, J., Helbich, M., Kainz, W., & Darvishi Bolorani, A. (2013). *Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21, 265-275. doi: 10.1016/j.jag.2011.12.014
72. Jan A.G.M. Van Dijk. (1990). *Delphi questionnaires versus individual and group interviews: A comparison case*. Technological Forecasting and Social Change, 37(3), 293-304. doi: 10.1016/0040-1625(90)90029-U.
73. Kalkhan, M. A., Reich, R. M., & Czaplewski, R. L. (1995). *Statistical properties of five indices in assessing the accuracy of remotely sensed data using simple random sampling*. Paper presented at the Proceedings ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition.
74. Kibii, J. K., Kipkorir, E. C., Kosgei, J. R. (2021). *Application of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to Evaluate the Impact of Land Use and Climate Variability on the Kaptagat Catchment River Discharge*. Sustainability, 13(4), 1802. DOI: 10.3390/su13041802.
75. Kingston, D. G., & Taylor, R. G. (2010). *Sources of uncertainty in climate change impacts on river discharge and groundwater in a headwater catchment of the Upper Nile Basin, Uganda*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 1297–1308, doi: 10.5194/hess-14-1297-2010.

76. Kirppendorff, K. (1989). *Content analysis: An introduction to its methodology*. Beverley Hills: Sage.
77. Koukoulas, S., & Blackburn, G. A. (2001). *Introducing new indices for accuracy evaluation of classified images representing semi-natural woodland environments*. Photogrammetric engineering and remote sensing, 67(4), 499-510.
78. Lambin, E. F. (1997). *Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions*. Progress in physical geography, 21(3), 375-393.
79. Li, S. Z. (1995). *Markov Random Field Modeling in Computer Vision* (1 ed.). Springer Japan. <https://doi.org/10.1007/978-4-431-66933-3>
80. Loo, R. (2002). *The Delphi method: A powerful tool for strategic management*. Policing, 25(4), 762-769.
81. Louca, M., Vogiatzakis, I. N., & Moustakas, A. (2015). *Modelling the combined effects of land use and climatic changes: Coupling bioclimatic modelling with Markov-chain Cellular Automata in a case study in Cyprus*. Ecological Informatics, 30, 241-249. doi: 10.1016/j.ecoinf.2015.05.008
82. Lu, Q., Chang, N.-B., Joyce, J., Chen, A. S., Savic, D. A., Djordjevic, S., & Fu, G. (2018). *Exploring the potential climate change impact on urban growth in London by a cellular automata-based Markov chain model*. Computers, Environment and Urban Systems, 68, 121-132. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2017.11.006
83. Lucas, I., Janssen, F., & van der Wel, F. J. (1994). *Accuracy assessment of satellite derived landcover data: A review*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 60(4), 479-426.
84. Luo, X., & Dimitrakopoulos, R. (2003). *Data-driven fuzzy analysis in quantitative mineral resource assessment*. Computers & Geosciences, 29(1), 3-13.
85. Manandhar, R., Odeh, I. O., & Ancev, T. (2009). *Improving the accuracy of land use and land cover classification of Landsat data using post-classification enhancement*. Remote Sensing, 1(3), 330-344.
86. Moreno, N., Wang, F., & Marceau, D. J. (2009). *Implementation of a dynamic neighborhood in a land-use vector-based cellular automata model*. Computers, Environment and Urban Systems, 33(1), 44-54.
87. Nadoushan, M. A., Soffianian, A., & Alebrahim, A. (2015). *Modeling land use/cover changes by the combination of Markov chain and cellular automata*

- Markov (CA-Markov) models*. Journal of Earth, Environment and Health Sciences, 1(1), 16.
88. Nae-Wen Kuo & Yue-Hwa Yu. (1999). *An Evaluation System for National Park Selection in Taiwan*, Journal of Environmental Planning and Management, 42:5, 735-745, DOI: 10.1080/09640569910975
 89. Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles*. Journal of Hydrology.10 (3): 282–290. doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.
 90. OECD (2010). *Guidance on Sustainability Impact Assessment*, OECD Publishing, Paris. doi: 10.1787/9789264086913-en.
 91. Olivera, F., Valenzuela, M., Srinivasan, R., Choi, J., Cho, H., Koka, S., & Agrawal, A. (2006). *ArcGIS-SWAT: A geodata model and GIS Interface for SWAT*. Journal of the American Water Resources Association, 42(2), 295-309. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2006.tb03839.x
 92. Ozturk, D. (2015). *Urban growth simulation of Atakum (Samsun, Turkey) using cellular automata-Markov chain and multi-layer perceptron-Markov chain models*. Remote Sensing, 7(5), 5918-5950.
 93. Palmate, S. S. (2017). *Modelling spatiotemporal land dynamics for a trans-boundary river basin using integrated Cellular Automata and Markov Chain approach*. Applied geography, 82, 11-23.
 94. Peck, A. J., & Williamson, D. R. (1987). *Effects of forest clearing on groundwater*. Journal of Hydrology, 94(1), 47-65, doi: 10.1016/0022-1694(87)90032-1
 95. Pontius Jr, R. G. (2002). *Statistical methods to partition effects of quantity and location during comparison of categorical maps at multiple resolutions*. Photogrammetric engineering and remote sensing, 68(10), 1041-1050.
 96. Pontius, R. G. (2000). *Quantification error versus location error in comparison of categorical maps*. Photogrammetric engineering and remote sensing, 66(8), 1011-1016.
 97. Ranjbar, H., & Honarmand, M. (2004). *Integration and analysis of airborne geophysical and ETM+ data for exploration of porphyry type deposits in the Central Iranian Volcanic Belt using fuzzy classification*. International journal of remote sensing, 25(21), 4729-4741.

98. Reveshty, M. A. (2011). *The assessment and predicting of land use changes to urban area using multi-temporal satellite imagery and GIS: A case study on Zanjan, IRAN (1984-2011)*. Journal of Geographic Information System, 3(4), 298.
99. Roche, C. J. R. (1999). *Impact Assessment for Development Agencies: Learning to Value Change*. Oxfarm.
100. Rogan, J., & Chen, D. (2004). *Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change*. Progress in planning, 61(4), 301-325.
101. Rogers, P (2012). *Introduction to Impact Evaluation*. Impact Evaluation Notes no. 1. InterAction, March 2012.
102. Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Wang, N., & Lin, Y. (2017). *Monitoring and modeling of spatiotemporal urban expansion and land-use/land-cover change using integrated markov chain cellular automata model*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 6(9), 288.
103. Saaty, T. L. (1977). *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. Journal of mathematical psychology, 15(3), 234-281.
104. Saaty, T. L. (2013). *Analytic hierarchy process*. In Encyclopedia of operations research and management science (pp. 52-64): Springer.
105. Sayemuzzaman, M. & Jha, M. K. (2014). *Modeling of Future land cover land use change in North Carolina using Markov chain and Cellular Automata*. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 7(3), 295-306. doi: 10.3844/ajeassp.2014.295.306.
106. Schmithüsen, J. 1959. *Allgemeine Vegetationsgeographic*. De Gruyter & Co. Berlin.
107. Setegn, S. G., Rayner, D., Melesse, A. M., Dargahi, B., & Srinivasan, R. (2011). *Impact of climate change on the hydroclimatology of Lake Tana Basin, Ethiopia*. Water Resour. Res., 47, W04511, doi: 10.1029/2010WR009248.
108. Shafizadeh Moghadam, H., & Helbich, M. (2013). *Spatiotemporal urbanization processes in the megacity of Mumbai, India: A Markov chains-cellular automata urban growth model*. Applied geography, 40, 140-149. doi:10.1016/j.apgeog.2013.01.009.
109. Sinha, R. K., Eldho, T. I. & Subimal, G. (2020). *Assessing the impacts of land use/land cover and climate change on surface runoff of a humid tropical river*

- basin in Western Ghats, India*. International Journal of River Basin Management. doi: 10.1080/15715124.2020.1809434.
110. Skulmoski, G. J., Hartman, F., Krahn J. (2007). *The Delphi method for graduate research*. Journal of Information Technology Education: Research, 6(1), 1-21. doi:10.28945/199
 111. Strahler, A. H. (1980). *The use of prior probabilities in maximum likelihood classification of remotely sensed data*. Remote sensing of Environment, 10(2), 135-163.
 112. Sun, G., Zhou, G., Zhang, Z., Wei, X., McNulty, S. G., & Vose, J. M. (2006). *Potential water yield reduction due to forestation across China*. Journal of Hydrology, 328(3-4), 548-558.
 113. Susan, L. N. (2009). *Overview of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model*. In: Soil and Water Assessment Tool (SWAT): Global Applications. Special Publication No. 4., 3-23. Arnold, J et al.: Funny Publishing.
 114. Turner, B. L., Lambin, E. F., & Reenberg, A. (2007). *The emergence of land change science for global environmental change and sustainability*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(52), 20666-20671.
 115. USGS. (2018). *Landsat Data Archive*. Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>
 116. Vázquez-Quintero, G., Solís-Moreno, R., Pompa-García, M., Villarreal-Guerrero, F., Pinedo-Alvarez, C., & Pinedo-Alvarez, A. (2016). *Detection and projection of forest changes by using the Markov Chain Model and Cellular Automata*. Sustainability, 8(3), 236.
 117. Veldkamp, A., & Lambin, E. F. (2001). *Predicting land-use change*. In: Elsevier.
 118. Wolfram, S. (1983). *Statistical Mechanics of Cellular Automata*. Reviews of Model Physics, 55, 601-644.
 119. Xia, H., Liu, H., & Zheng, C. (2013). *A Markov-Kalman model of land-use change prediction in XiuHe Basin, China*. In International Conference on Geo-Informatics in Resource Management and Sustainable Ecosystem (pp. 75-85). Springer, Berlin, Heidelberg.
 120. Yin, J., He, F., Jiu, X. Y., Qiu, G. Y. (2017). *Effects of land use/land cover and climate changes on surface runoff in a semi-humid and semi-arid transition zone in northwest China*. Hydrology and Earth System Sciences, 21, 183-196.

121. Zabihi, H., Ahmad, A., Vogeler, I., Said, M. N., Golmohammadi, M., Golein, B., & Nilashi, M. (2015). *Land suitability procedure for sustainable citrus planning using the application of the analytical network process approach and GIS*. Computers and Electronics in Agriculture, 117, 114-126.
122. Zhang, H., Meng, C., Wang, Y., Wang, Y., & Li, M. (2020). *Comprehensive evaluation of the effects of climate change and land use and land cover change variables on runoff and sediment discharge*. Science of The Total Environment, 702, 134401, ISSN 0048-9697. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134401.

Trang web

123. <http://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands/>
124. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>

**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.