

**“ỨNG DỤNG GIS VÀ MÔ HÌNH SWAT ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG
BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU ĐẾN LƯU LƯỢNG DÒNG CHẢY VÀ
PHỤC VỤ QUẢN LÝ HỢP LÝ LƯU VỰC SÔNG BÉ”**

Sinh viên

NGUYỄN THỊ KIM NGÀ

Khóa luận được đệ trình để đáp ứng yêu cầu
cấp bằng Kỹ sư Ngành
Hệ thống Thông tin Địa lý

Giáo viên hướng dẫn

Th.S Bùi Chí Nam

TP. Hồ Chí Minh, Tháng 05 năm 2013

LỜI CẢM ƠN

Để có được thành quả như ngày hôm nay, đầu tiên em xin chân thành cảm ơn Cha Mẹ và những người thân trong gia đình, đã nuôi dưỡng và tạo điều kiện cho em học tập.

Để hoàn thành đề tài này và có kiến thức như ngày hôm nay, em xin gửi lời cảm ơn đến Ban Giám Hiệu cùng toàn thể Thầy Cô Khoa Môi Trường và Tài Nguyên Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh đã tận tình giảng dạy, truyền đạt kiến thức cũng như kinh nghiệm quý báu cho chúng em trong suốt quá trình học tập và nghiên cứu tại trường.

Em xin chân thành cảm ơn Thầy Th.S Bùi Chí Nam, Cán bộ công tác tại Phân viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường phía Nam đã hướng dẫn em hoàn thành báo cáo này. Cảm ơn Thầy đã tận tình chỉ bảo, hỗ trợ và động viên em trong suốt thời gian thực tập. Em cũng xin trân trọng cảm ơn Ban lãnh đạo Phân viện đã tạo điều kiện để em được thực tập tại quý cơ quan. Đặc biệt, em xin gửi lời cảm ơn đến các Cán bộ công tác tại Phòng Nghiên cứu Khí tượng - Khí hậu và phụ cận đã trao đổi kiến thức, kinh nghiệm quý báu cũng như chia sẻ tài liệu, dữ liệu.

Với tất cả lòng chân thành em xin gửi lời cảm ơn, lời tri ân sâu sắc nhất đến Thầy PGS.TS Nguyễn Kim Lợi cùng tất cả quý Thầy Cô trong Bộ môn Hệ Thống Thông Tin Địa Lý đã hỗ trợ em rất nhiều để hoàn thành bài báo cáo này.

Tuy đã hoàn thành tốt đề tài nhưng cũng không thể tránh khỏi những sai sót nhất định trong quá trình nghiên cứu, rất mong được sự thông cảm và chia sẻ quý báu của quý Thầy Cô và Bạn bè.

Em xin gửi lời chúc đến tất cả Thầy Cô Trường Đại học Nông Lâm và các Cán bộ công tác tại Phân viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường phía Nam cùng các Bạn luôn dồi dào sức khỏe và thành công.

Xin chân thành cảm ơn!

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Thị Kim Nga

TÓM TẮT

Sinh viên thực hiện Nguyễn Thị Kim Nga, Ngành Hệ Thống Thông Tin Địa Lý, Khoa Môi Trường và Tài Nguyên, Trường Đại Học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.

Đề tài **“Ứng dụng GIS và mô hình SWAT đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến lưu lượng dòng chảy và phục vụ quản lý hợp lý lưu vực sông Bé ”** được thực hiện trong khoảng thời gian từ ngày 01/03/2013 - 01/06/2013.

Giáo viên hướng dẫn Thầy Th.S Bùi Chí Nam, Phòng Nghiên cứu Khí tượng - Khí hậu, Phân viện Khí tượng Thủy văn và Môi trường phía Nam.

Lưu vực sông Bé là một phụ lưu lớn nhất trong bốn phụ lưu lớn ở hữu ngạn sông Đồng Nai, do hai nhánh sông Dak Lap và Dak Glun hợp thành. Tổng diện tích lưu vực là 7.650 km^2 , chu vi là 418 km. Lưu vực bắt nguồn từ vùng núi thuộc cao nguyên Xnaro, phần đuôi của dãy Trường Sơn Nam, thuộc các Tỉnh Bình Phước, Bình Dương, Đắc Nông, Đồng Nai và một phần thuộc Campuchia. Phạm vi lưu vực trải dài trong khoảng tọa độ từ $11^{\circ}06'$ - $12^{\circ}22'$ độ vĩ Bắc và $106^{\circ}35'$ - $107^{\circ}31'$ độ kinh Đông. Đặc điểm hướng dòng chảy sông Bé phù hợp hướng địa hình từ cao đến thấp theo hướng Bắc - Nam. Các sông nhánh gần như chảy theo hướng Đông - Bắc và Tây - Nam. Từ Phước Hòa đến cửa sông, sông chảy theo hướng chính Tây Bắc - Đông Nam.

Đề tài được thực hiện nhằm mục đích ứng dụng công nghệ GIS và mô hình SWAT tính toán lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Bé, dự báo diễn biến dòng chảy dưới tác động của biến đổi khí hậu đến năm 2030. Qua đó, đề xuất cơ sở khoa học hỗ trợ cho việc quản lý hiệu quả tài nguyên nước trên lưu vực.

Đề tài sử dụng các phương pháp như phương pháp phân tích thống kê (thu thập, tổng hợp, hồi cứu và phân tích các kết quả đã nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến đề tài), phương pháp GIS (biên tập bản đồ, tích hợp dữ liệu không gian, dữ liệu thuộc tính và cung cấp dữ liệu đầu vào cho mô hình SWAT, hiển thị kết quả chạy mô hình và kết quả nghiên cứu) và phương pháp mô hình SWAT (thiết lập mô hình, tính toán lưu lượng dòng chảy, kiểm định và đánh giá kết quả mô hình).

Những nội dung chính của đề tài bao gồm tìm hiểu lý thuyết về dòng chảy và lưu vực sông, tìm hiểu mô hình GIS và mô hình SWAT, bản chất biến đổi khí hậu và các

yếu tố liên quan, tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước nói chung, đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Bé nói riêng và các biện pháp hỗ trợ khai thác; sử dụng; quản lý và bảo vệ tài nguyên nước.

Kết quả đạt được trước tiên của nghiên cứu là mô phỏng lưu lượng dòng chảy lưu vực sông Bé trong giai đoạn 1979 - 2007 bằng mô hình SWAT và kiểm định mô hình với số liệu thực đo tại hai trạm Phước Long và Phước Hòa, kết quả tốt (giá trị R^2 và NSI đều đạt trên 0,7). Kết quả nghiên cứu cho thấy biến đổi khí hậu ảnh hưởng rõ rệt đến dòng chảy trên lưu vực và sự thay đổi chế độ dòng chảy trên lưu vực sông Bé phản ánh xu thế chung của biến đổi khí hậu. Qua đó, nêu ra một số biện pháp thích ứng với tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước cũng như lưu lượng nước lưu vực sông Bé.

Dựa vào kết quả đề tài đạt được rút ra một số kiến nghị như cần nghiên cứu sâu hơn về mô hình, hiệu chỉnh mô hình và các thông số đầu vào nhằm cải thiện kết quả, thu thập và chuẩn bị dữ liệu đầu vào thật tốt để kết quả mô phỏng của mô hình đạt độ chính xác cao, tính toán và đánh giá tác động của BĐKH đến LLDC và chất lượng nước trên lưu vực sông Bé tại các mốc thời gian tiếp theo của các kịch bản biến đổi khí hậu khác nhau.

MỤC LỤC

TRANG TỰA.....	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
TÓM TẮT.....	iii
MỤC LỤC	v
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT	ix
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	x
DANH MỤC HÌNH ẢNH.....	xii
GIỚI THIỆU.....	1
Đặt vấn đề.....	1
Mục tiêu nghiên cứu	2
Nội dung nghiên cứu	2
Đối tượng.....	3
Ý nghĩa.....	3
Cấu trúc luận văn.....	4
Chương 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU	5
1. Tổng quan tình hình nghiên cứu	5
1.1 Tình hình nghiên cứu trên thế giới.....	5
1.2 Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam	5
2. Cơ sở lý thuyết.....	6
2.1 Các đặc trưng biểu thị dòng chảy và lưu vực sông	6
2.1.1 Đặc trưng dòng chảy	6
2.1.2 Lưu vực sông	9
2.2 Hệ thống thông tin địa lý (GIS).....	10
2.2.1 Định nghĩa.....	10
2.2.2 Lịch sử phát triển.....	11
2.2.3 Các thành phần của GIS.....	11
2.2.4 Mô hình dữ liệu	12
2.2.5 Các chức năng của GIS.....	13

2.3	Mô hình SWAT	14
2.3.1	Lịch sử phát triển	14
2.3.2	Tổng quan mô hình	15
2.3.3	Pha đất của chu trình thủy văn	16
2.3.4	Pha nước của chu trình thủy văn	17
3	Tổng quan về BĐKH	19
3.1	Định nghĩa về BĐKH.....	19
3.2	Các nguyên nhân gây BĐKH	20
3.3	Khái quát BĐKH ở Việt Nam	20
3.4	Tác động BĐKH đến các yếu tố.....	21
3.4.1	Tác động đến nông - lâm - ngư nghiệp	21
3.4.2	Tác động đến công nghiệp.....	22
3.4.3	Tác động đến du lịch và dịch vụ	22
3.4.4	Tác động đến dân cư và sức khỏe cộng đồng.....	22
3.4.5	Tác động đến nguồn nước	23
3.5	Kịch bản BĐKH.....	27
3.5.1	Khái niệm kịch bản BĐKH	27
3.5.2	Phân loại kịch bản BĐKH Việt Nam	27
Chương 2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ LƯU LƯỢNG DÒNG CHẢY		30
1.	Điều kiện tự nhiên.....	30
1.1	Vị trí địa lý	30
1.2	Địa hình.....	32
1.3	Yếu tố khí tượng - thủy văn.....	32
1.3.1	Khí hậu.....	32
1.3.2	Nhiệt độ.....	33
1.3.3	Lượng mưa.....	34
1.3.4	Độ ẩm.....	35
1.3.5	Bốc hơi.....	35
1.3.6	Số giờ nắng	36

1.3.7 Gió.....	36
1.3.8 Thổ nhưỡng.....	37
1.3.9 Thảm thực vật.....	37
1.3.10 Thủy văn.....	38
1.4 Kinh tế - xã hội.....	39
1.4.1 Dân cư, xã hội.....	39
1.4.2 Hiện trạng phát triển kinh tế.....	40
1.5 Hiện trạng khai thác TNN trên lưu vực sông Bé.....	40
1.5.1 Tiềm năng thủy điện:.....	40
1.5.2 Tiềm năng cung cấp nước cho tưới tiêu và sinh hoạt.....	41
1.5.3 Tiềm năng và nhu cầu sử dụng nước lưu vực sông Bé.....	42
2. Phương pháp nghiên cứu.....	42
2.1 Phương tiện - phương pháp nghiên cứu.....	42
2.1.1 Phương tiện nghiên cứu.....	42
2.1.2 Phương pháp nghiên cứu.....	42
2.2 Mô phỏng LLDC trong SWAT từ năm 1979 - 2007.....	43
2.2.1 Thu thập dữ liệu.....	43
2.2.2 Tiến trình thực hiện mô hình SWAT.....	49
2.3 Áp dụng kịch bản BĐKH IPCC đánh giá sự thay đổi LLDC lưu vực sông Bé ...	54
Chương 3. KẾT QUẢ, THẢO LUẬN.....	55
1. Kết quả đạt được mô phỏng LLDC từ 1979 - 2007.....	55
1.1 Đánh giá mô hình.....	55
1.2 Diễn biến LLDC.....	60
2. Sự thay đổi LLDC do tác động BĐKH lưu vực sông Bé:.....	65
3. Đề xuất các biện pháp hỗ trợ quy hoạch thích ứng với BĐKH.....	71
3.1 Các biện pháp chung.....	71
3.2 Biện pháp thích ứng với BĐKH trong lĩnh vực TNN ở Việt Nam.....	72
3.3 Biện pháp thích ứng với tác động của BĐKH đến lưu lượng nước sông Bé.....	73
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	76
KẾT LUẬN.....	76

KIẾN NGHỊ.....	78
TÀI LIỆU THAM KHẢO	79

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

BĐKH	Biến đổi khí hậu
TNN	Tài nguyên nước
LLDC	Lưu lượng dòng chảy
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
GIS	Geographic Information System
VQHTLMN	Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam
DEM	Digital Elevation Model (Mô hình độ cao số)
KNK	Khí nhà kính
HU'NK	Hiệu ứng nhà kính
IPPC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Ủy ban Liên Quốc gia về biến đổi khí hậu)
TNMT	Tài nguyên và Môi trường
PVKHKTTVMT	SIHYMETE (Phân Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường)
HRU	Hydrologic Response Unit

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1: Biến đổi dòng chảy trung bình năm của các sông chính dự báo theo kịch bản BĐKH trung bình B2 của Bộ TNMT	24
Bảng 1.2: Biến đổi dòng chảy mùa lũ của các sông chính dự báo theo kịch bản BĐKH trung bình B2 của Bộ TNMT	25
Bảng 1.3: Biến đổi dòng chảy mùa cạn của các sông chính dự báo theo kịch bản BĐKH trung bình B2 của Bộ TNMT	25
Bảng 2.1: Các sông nhánh trên lưu vực sông Bé	31
Bảng 2.2 : Độ ẩm trung bình tháng tại một số trạm đo trên lưu vực sông Bé (đơn vị %)	35
Bảng 2.3: Lượng bốc hơi trung bình tháng tại một số trạm đo trên lưu vực sông Bé (đơn vị mm)	36
Bảng 2.4: Số giờ nắng trung bình tháng tại một số trạm đo trên lưu vực sông Bé (đơn vị mm)	36
Bảng 2.5: Tốc độ gió trung bình tháng tại một số trạm đo trên lưu vực sông Bé (đơn vị m/s)	37
Bảng 2.6: Một số đặc trưng dòng chảy chính ở lưu vực sông Bé	39
Bảng 2.7: Tiềm năng cung cấp nước của các hồ trên sông Bé	41
Bảng 2.8: Các loại đất trên lưu vực sông Bé	46
Bảng 2.9: Các loại hình sử dụng đất trên lưu vực sông Bé	47
Bảng 2.10: Đặc trưng địa lý của các trạm quan trắc	48
Bảng 2.11: Trạm quan trắc thủy văn trên lưu vực sông Bé	49
Bảng 2.12: Mức độ mô phỏng của mô hình tương ứng chỉ số Nash	53
Bảng 3.1: Thống kê so sánh LLDC mô phỏng và thực đo tại Phước Long, Phước Hòa trong giai đoạn 1979 - 1994	60
Bảng 3.2: Thống kê so sánh LLDC mô phỏng và thực đo tại Phước Long (1995 -1997) và Phước Hòa (1995 - 2000)	60
Bảng 3.3: Thống kê LLDC (m^3/s) mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 1979 - 1994 tại Phước Long, Phước Hòa	63

Bảng 3.4: Thống kê LLDC (m^3/s) mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 1995 - 1997 tại Phước Long, Phước Hòa	63
Bảng 3.5: Thống kê giá trị LLDC (m^3/s) mô phỏng trung bình tháng tại trạm Phước Long.....	69
Bảng 3.6: Thống kê giá trị LLDC (m^3/s) mô phỏng trung bình tháng tại trạm Phước Hòa.....	69

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1: Đường quá trình lưu lượng của một trận lũ.....	7
Hình 1.2: Các thành phần của GIS	12
Hình 1.3: Mô hình Vector, Mô hình Raster	13
Hình 1.4: Sơ đồ vòng tuần hoàn thủy văn	16
Hình 1.5: Vòng tính toán cho HRU/ Lưu vực con	17
Hình 1.6 : Các quá trình biến đổi và vận chuyển chất trong lòng sông ngòi	18
Hình 1.7: Các tác nhân chính hình thành nên BĐKH	27
Hình 2.1: Bản đồ vị trí lưu vực sông Bé.....	30
Hình 2.2: Bản đồ nhiệt độ trung bình năm lưu vực sông Bé.....	33
Hình 2.3: Bản đồ lượng mưa trung bình năm lưu vực sông Bé	34
Hình 2.4: Bản đồ thủy văn lưu vực sông Bé	38
Hình 2.5: Sơ đồ bậc thang thủy điện trên sông Bé.....	40
Hình 2.6: Quá trình mô phỏng LLDC	43
Hình 2.7: Bản đồ địa hình lưu vực sông Bé (độ cao)	44
Hình 2.8: Bản đồ loại đất lưu vực sông Bé	45
Hình 2.9: Bản đồ loại hình sử dụng đất lưu vực sông Bé	46
Hình 2.10: Bản đồ phân bố trạm khí tượng thủy văn lưu vực sông Bé.....	48
Hình 2.11: Quy trình ứng dụng mô hình SWAT trong mô phỏng LLDC lưu vực sông Bé	49
Hình 2.12: Bản đồ phân định lưu vực sông Bé	50
Hình 2.13: Bản đồ đơn vị thủy văn lưu vực sông Bé	52
Hình 3.1: Tương quan LLDC thực đo và mô phỏng tại Phước Long giai đoạn 1979 - 1994	56
Hình 3.2: Tương quan LLDC thực đo và mô phỏng tại Phước Hòa giai đoạn 1979 - 1994	56
Hình 3.3: Tương quan LLDC thực đo và mô phỏng tại Phước Long giai đoạn 1995 - 1997	57

Hình 3.4: Tương quan LLDC thực đo và mô phỏng tại Phước Hòa giai đoạn 1995 - 2000	57
Hình 3.5: Giá trị LLDC mô phỏng và thực đo tại Phước Long giai đoạn 1979 - 1997	58
Hình 3.6: Giá trị LLDC mô phỏng và thực đo tại Phước Hòa 1979 - 2000.....	58
Hình 3.7: Bản đồ phân định tiểu lưu vực sông Bé	59
Hình 3.8: Diễn biến LLDC (mô phỏng) và lượng mưa tại Phước Long, Phước Hòa ...	61
Hình 3.9: LLDC trung bình mô phỏng giai đoạn 1979 - 1994 tại trạm Phước Long, Phước Hòa	62
Hình 3.10: LLDC trung bình mô phỏng giai đoạn 1995 - 1997 tại trạm Phước Long, Phước Hòa	63
Hình 3.11: Giá trị LLDC mô phỏng từ 1980 - 2030 tại trạm Phước Long	65
Hình 3.12: Giá trị LLDC mô phỏng từ 1980 - 2030 tại trạm Phước Hòa	66
Hình 3.13: Thay đổi giá trị LLDC mô phỏng trung bình năm giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 tại trạm Phước Long và Phước Hòa	67
Hình 3.14: Thống kê so sánh giá trị LLDC trung bình năm giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 tại trạm Phước Long và Phước Hòa	68
Hình 3.15: Thay đổi giá trị LLDC mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 tại trạm Phước Long	68
Hình 3.16: Thay đổi giá trị LLDC mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 tại trạm Phước Hòa.....	69
Hình 3.17: Bản đồ thể hiện sự thay đổi LLDC (%) trên từng tiểu lưu vực trong giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999	71

GIỚI THIỆU

❖ Đặt vấn đề

Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nặng nề của biến đổi khí hậu. Ảnh hưởng của BĐKH tác động đến mọi lĩnh vực trong đời sống, là một trong những thách thức lớn nhất đối với đời sống con người trong thế kỷ 21. BĐKH tác động làm cho các thiên tai, đặc biệt là lũ lụt; hạn hán ngày càng ác liệt, có thể tác động đến nông nghiệp, gây rủi ro lớn đối với công nghiệp và các hệ thống kinh tế - xã hội trong tương lai. Chúng ta cần phải biết mức độ ảnh hưởng của BĐKH như thế nào để đưa ra các phương án thích ứng kịp thời và hiệu quả.

Sông Bé là chi lưu lớn nằm bên bờ hữu sông Đồng Nai, được bắt nguồn từ vùng núi phía Tây của khu vực Nam Tây Nguyên (cao nguyên Xnaro) thuộc các Tỉnh Bình Phước, Bình Dương, Đắk Nông, Đồng Nai và một phần thuộc Campuchia. Tài nguyên nước lưu vực sông Bé được sử dụng đa mục tiêu như cấp nước cho sinh hoạt, sản xuất công nghiệp, tưới tiêu trong vùng,...và đặc biệt là cho hệ thống thủy điện như Thác Mơ; Cắn Đơn; Sroc Phu Miêng và Phước Hòa. Ngoài ra, lưu vực sông Bé còn là nguồn cung cấp nước chính cho hạ lưu sông Đồng Nai - Sài Gòn. Do vậy, việc khai thác sử dụng hợp lý TNN lưu vực sông Bé cần phải xem xét, cân nhắc đa tiêu chí, đáp ứng sự cân bằng giữa TNN và nhu cầu khai thác, sử dụng và duy trì dòng chảy môi trường.

Sự phát triển không ngừng của công nghệ thông tin đã đưa tin học thâm nhập sâu vào nhiều lĩnh vực khoa học và đời sống, mở ra một giai đoạn mới trong quá trình phát triển khoa học. Hệ thống thông tin địa lý (GIS) là một trong những ứng dụng rất có giá trị của công nghệ tin học trong ngành địa lý, điều tra cơ bản, quy hoạch đô thị và cảnh báo môi trường. Hiện nay cùng với sự phát triển của công nghệ GIS, nhiều mô hình thủy văn đã ra đời cho phép tính toán lưu lượng dòng chảy một cách chính xác, dễ dàng và nhanh chóng hơn so với phương pháp quan trắc truyền thống. Một trong số đó là mô hình SWAT, đây là mô hình ở cấp độ lưu vực sông có khả năng tích hợp với GIS, nhờ đó nâng cao độ chính xác của kết quả mô phỏng dòng chảy từ mưa và các

đặc trưng vật lý trên lưu vực. Trong mối liên kết này, GIS cung cấp dữ liệu đầu vào; giao diện tương tác người dùng cho SWAT, trong khi SWAT sử dụng dữ liệu từ GIS để mô phỏng các quá trình vật lý diễn ra trên lưu vực.

Việc tính toán tác động của BĐKH đến TNN mà đặc biệt là LLDC, là một vấn đề cấp thiết đặt ra cho các nhà quản lý TNN. Do vậy, đề tài **“Ứng dụng GIS và mô hình SWAT đánh giá tác động biến đổi khí hậu đến lưu lượng dòng chảy và phục vụ quản lý hợp lý lưu vực sông Bé ”** là một đề tài có tính khoa học và thực tiễn, nhằm góp phần giải quyết bài toán trên đối với các nhà quản lý TNN, hỗ trợ đưa ra những quyết định chiến lược phát triển đúng đắn.

❖ Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chung của nghiên cứu là ứng dụng công nghệ GIS và mô hình SWAT tính toán LLDC lưu vực sông Bé, dự báo diễn biến dòng chảy dưới tác động của BĐKH. Qua đó đề xuất cơ sở khoa học hỗ trợ cho việc quản lý hiệu quả TNN trên lưu vực.

Các mục tiêu cụ thể như sau:

- Mô phỏng LLDC trên lưu vực sông Bé từ năm 1979 - 2007 dựa vào nguồn dữ liệu Viện Quy hoạch Thủy lợi miền Nam.
- Đánh giá tác động BĐKH đến LLDC lưu vực sông Bé đến năm 2030 dựa vào nguồn dữ liệu được CGIAR mô phỏng theo kịch bản A1B của IPCC.
- Đề xuất giải pháp hỗ trợ khắc phục tình trạng thiếu hụt nước và bảo vệ TNN trên lưu vực sông Bé.

❖ Nội dung nghiên cứu

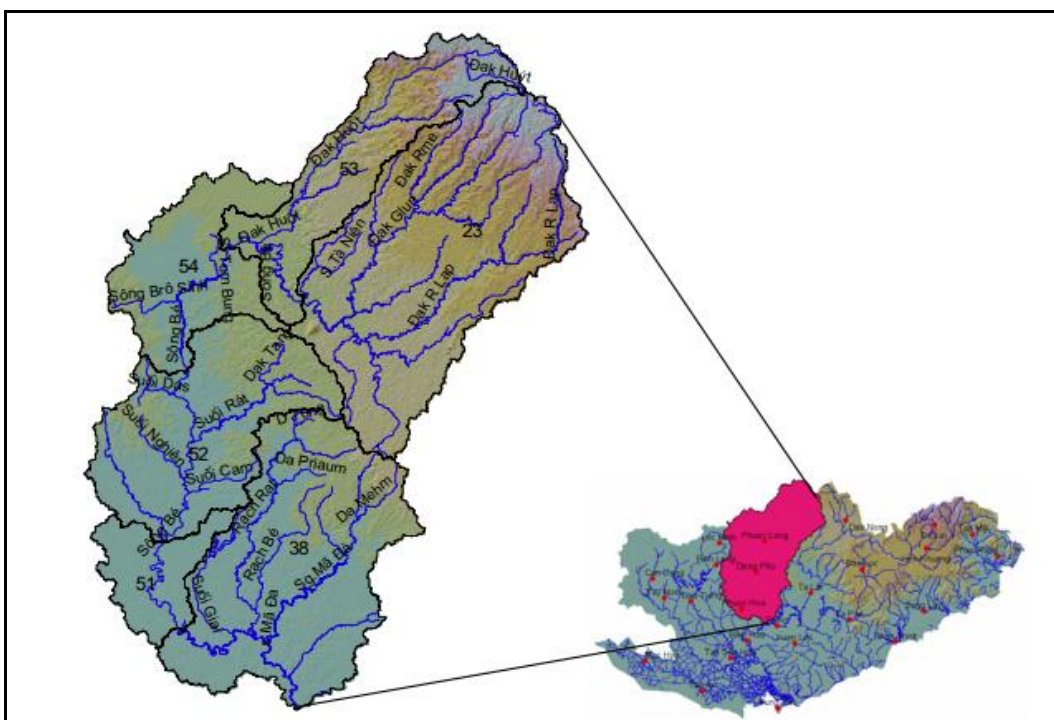
- Tìm hiểu lý thuyết về dòng chảy và lưu vực sông.
- Tìm hiểu lý thuyết về GIS.
- Tìm hiểu lý thuyết về mô hình SWAT.
- Tìm hiểu bản chất BĐKH và các yếu tố liên quan.
- Tính toán LLDC sông Bé ở giai đoạn hiện trạng (1979 - 2007) và theo kịch bản BĐKH đến năm 2030.
- Các biện pháp hỗ trợ khai thác, sử dụng, quản lý và bảo vệ TNN.

❖ Đối tượng

- LLDC lưu vực sông Bé giai đoạn 1979 - 2007.
- Tác động của BĐKH đến LLDC đến năm 2030.
- Các phương thức hỗ trợ khai thác; sử dụng; quản lý và bảo vệ TNN.

❖ Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu lưu vực sông Bé được giới hạn nằm trên địa phận các Tỉnh Đắk Nông, Bình Phước, Bình Dương, Đồng Nai và một phần thuộc Campuchia.



❖ Ý nghĩa

- **Khoa học:** luận văn đã ứng dụng kết hợp mô hình SWAT với công nghệ GIS trong đánh giá LLDC và đánh giá tác động của BĐKH đến LLDC lưu vực sông Bé. Cung cấp thông tin cho nhà quản lý, nhà quy hoạch và đề xuất những biện pháp, kế hoạch nhằm quản lý, sử dụng TNN hiệu quả, hợp lý. Chứng minh cách tiếp cận kết hợp công nghệ GIS với mô hình SWAT trong tính toán, đánh giá TNN lưu vực sông là phương pháp có độ tin cậy cao, phản ánh chính xác và nhanh chóng.
- **Thực tiễn:** kết quả nghiên cứu có thể xem xét ứng dụng trong nghiên cứu khoa học và phục vụ sản xuất. Kết quả phản ánh lưu lượng nước của lưu vực nên có thể góp

phần tích cực vào hoàn thiện hệ công cụ hỗ trợ cho công tác quy hoạch, quản lý và sử dụng hiệu quả TNN lưu vực sông theo nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội, bảo vệ môi trường theo hướng phát triển bền vững.

❖ **Cấu trúc luận văn**

STT	Cấu trúc	Nội dung chính
1	Giới thiệu	Giới thiệu những vấn đề cơ bản của nghiên cứu (Đặt vấn đề, Mục tiêu, Nội dung, Đối tượng, Ý nghĩa, Cấu trúc luận văn).
2	Tổng quan nghiên cứu	Tổng quan tình hình nghiên cứu, Cơ sở lý thuyết (Đặc trưng dòng chảy và lưu vực sông, mô hình GIS và SWAT), Tổng quan về BĐKH (định nghĩa, nguyên nhân và tác động, biện pháp thích ứng và vài nét về kịch bản BĐKH).
3	Khu vực nghiên cứu và phương pháp đánh giá lưu lượng dòng chảy	Đặc điểm khu vực nghiên cứu (Điều kiện tự nhiên, Kinh tế - xã hội, Hiện trạng nguồn nước), Tiến trình thực hiện (Phương tiện và phương pháp, Thu thập dữ liệu, Các bước tiến hành trong mô hình).
4	Kết quả, thảo luận	Các kết quả đạt được của nghiên cứu.
5	Kết luận và kiến nghị	Tóm tắt những kết quả nghiên cứu đã đạt được và đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

Chương 1

TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

1. Tổng quan tình hình nghiên cứu

1.1 Tình hình nghiên cứu trên thế giới

Ngày nay, trên thế giới mô hình toán trong nghiên cứu thủy văn lưu vực sông được sử dụng khá rộng rãi và đạt hiệu quả cao. Tuy nhiên, không có mô hình nào giải quyết hết mọi vấn đề thủy văn cũng như không có mô hình nào thích hợp cho mọi lưu vực bởi điều kiện tự nhiên khác biệt. Việc lựa chọn mô hình ứng dụng cho mỗi điều kiện nhất định cũng là một vấn đề khó khăn đối với các chuyên gia thủy văn (Nguyễn Hải Âu, 2009).

Nhìn chung, nghiên cứu phát triển và ứng dụng mô hình toán trong quản lý sử dụng hợp lý TNN lưu vực sông là một trong những vấn đề quan trọng, đã và đang phát triển mạnh trên thế giới, đặc biệt ở Mỹ, châu Âu, châu Úc. Bên cạnh những mô hình có tính chất thương mại cao như họ mô hình MIKE, TELEMAC,... thì cũng có rất nhiều mô hình được hỗ trợ miễn phí như SWAT, CE-QUAL W2 (DHI, 2004).

Một số nghiên cứu trong thời gian gần đây, điển hình như:

1. Các nguồn tài nguyên nước và ô nhiễm của sông Kok lưu vực ở miền Bắc Thái Lan và Myanmar đã được phân tích bằng cách sử dụng MIKE BASIN và LOAD.
2. Ứng dụng MIKE BASIN xây dựng chiến lược quản lý tài nguyên nước lưu vực sông.
3. Nghiên cứu ứng dụng mô hình MIKE 11- NAM đánh giá mưa - dòng chảy lưu vực sông Layang.

1.2 Tình hình nghiên cứu tại Việt Nam

Hiện nay, vấn đề đánh giá tác động BĐKH tới các mặt phát triển của kinh tế - xã hội đang được quan tâm đặc biệt. Đã có rất nhiều những nghiên cứu tính toán mức độ ảnh hưởng của BĐKH như:

1. Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường. Nghiên cứu tác động của BĐKH ở lưu vực sông Hương và chính sách thích nghi ở Huyện Phú Vang, Tỉnh Thừa Thiên Huế (2005 - 2008).
2. Trung tâm Tư vấn Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Viện KH KTTV&MT. Đánh giá tác động của BĐKH lên TNN và các biện pháp thích ứng - Lưu vực sông Hồng - Thái Bình. 2010.
3. Trung tâm Tư vấn Khí tượng Thủy văn và Môi trường, Viện KH KTTV&MT. Đánh giá tác động của BĐKH lên TNN và các biện pháp thích ứng - Lưu vực sông Đồng Nai. 2010.
4. Trung tâm Nghiên cứu Thủy văn & TNN, Viện KH KTTV&MT. Đánh giá tác động của BĐKH lên TNN và các biện pháp thích ứng - Lưu vực sông Cả. 2010.
5. Trung tâm Nghiên cứu Thủy văn & TNN, Viện KH KTTV&MT. Đánh giá tác động của BĐKH lên TNN và các biện pháp thích ứng - Lưu vực sông Thu Bồn. 2010.
6. Trung tâm Nghiên cứu Thủy văn & TNN, Viện KH KTTV&MT. Đánh giá tác động của BĐKH lên TNN và các biện pháp thích ứng - Đồng bằng sông Cửu Long. 2010.
7. Công ty Blak & Veatch. Báo cáo nghiên cứu khả thi hệ thống thủy lợi tổng hợp Phước Hoà , năm 2001.
8. Tô Văn Trường và nnk (2008). Báo cáo tổng hợp Quy hoạch TNN lưu vực sông Đồng Nai, Cục Quản lý TNN Việt Nam .

2. Cơ sở lý thuyết

2.1 Các đặc trưng biểu thị dòng chảy và lưu vực sông

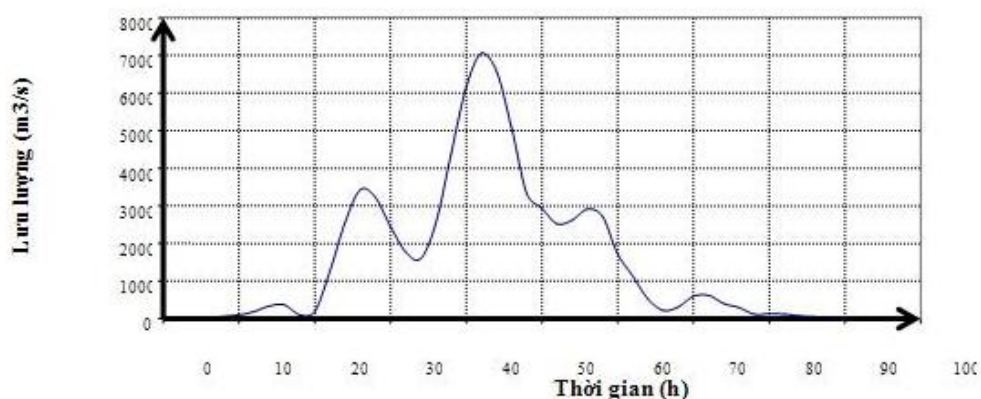
2.1.1 Đặc trưng dòng chảy

a. Lưu lượng nước

Lưu lượng nước Q (water discharge): là lượng nước chảy qua mặt cắt cửa ra trong một đơn vị thời gian là 1 giây (m^3/s). Lưu lượng là tích số của vận tốc trung bình dòng chảy nhân cho diện tích mặt cắt ướt của dòng chảy.

Lưu lượng nước tại một thời điểm bất kỳ gọi là lưu lượng tức thời. Quá trình thay đổi của lưu lượng nước theo thời gian tại tuyến cửa ra gọi là quá trình lưu lượng, ký

hiệu là $Q(t)$ hoặc $Q \sim t$. Đồ thị của sự thay đổi giữa lưu lượng nước và thời gian là đường quá trình lưu lượng nước.



Hình 1.1: Đường quá trình lưu lượng của một trận lũ (Nguyễn Thanh Sơn, 2004)

Lưu lượng bình quân trong một khoảng thời gian T bất kỳ là giá trị trung bình của lưu lượng nước trong khoảng thời gian đó. Lưu lượng bình quân được tính theo công thức tích phân hoặc biểu thức sau:

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T Q(t) dt \quad \text{hoặc} \quad \bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (1.1)$$

Trong đó:

$\bar{Q}$ giá trị bình quân của lưu lượng (m^3/s);

n số thời gian tính toán (s);

Q_i lưu lượng bình quân tại mỗi thời đoạn thứ i bất kỳ (m^3/s).

b. Tổng lượng dòng chảy

Tổng lượng dòng chảy W (m^3 hay km^3) là lượng nước chảy qua mặt cắt cửa ra trong một khoảng thời gian T nào đó từ thời điểm t_1 đến t_2 , $T = t_2 - t_1$.

$$W = \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt \quad \text{hoặc} \quad W = \bar{Q}(t_2 - t_1) \quad (1.2)$$

Trong đó: $\bar{Q}$ là lưu lượng bình quân trong khoảng thời gian T .

c. Độ sâu dòng chảy

Giả sử đem tổng lượng nước chảy qua mặt cắt cửa ra trong một khoảng thời gian nào đó trải đều trên toàn diện tích lưu vực, ta được một lớp nước có chiều dày là Y - gọi là độ sâu dòng chảy.

$$Y = \frac{10^3 \cdot W}{10^6 \cdot F} = \frac{W}{10^3 \cdot F} \quad (1.3)$$

Trong đó:

- W tổng lượng nước (m^3);
- F diện tích lưu vực (km^2);
- T khoảng thời gian tính toán (s);
- Y lớp dòng chảy (mm).

d. Module dòng chảy

Module dòng chảy là trị lưu lượng trên 1 đơn vị diện tích lưu vực là $1 km^2$.

$$M = \frac{10^3 \cdot \bar{Q}}{F} \quad (l/s.km^2) \quad (1.4)$$

Từ các công thức trên, ta có dạng các biến đổi sau:

$$\begin{aligned} W &= Y \cdot F \cdot 10^3 \\ \text{và} \quad Y &= M \cdot T \cdot 10^6 \quad (mm) \end{aligned} \quad (1.5)$$

Trong đó:

- Q lưu lượng (m^3/s);
- F diện tích lưu vực (km^2).

e. Hệ số dòng chảy

Hệ số dòng chảy α là tỷ số giữa độ sâu dòng chảy Y (mm) (hay còn gọi là lớp dòng chảy) và lượng mưa tương ứng X (mm) sinh ra trong thời gian T .

$$\alpha = \frac{Y}{X} \quad (1.6)$$

Trong đó: α là hệ số không thứ nguyên, vì $0 \leq Y \leq X$ nên $0 \leq \alpha \leq 1$.

Hệ số α càng lớn, tổn thất dòng chảy càng nhỏ và ngược lại. Bởi vậy, α phản ánh tình hình sản sinh dòng chảy trên lưu vực. Module dòng chảy M phản ánh khả năng

phong phú của nguồn nước trong một lưu vực. Tương tự, độ sâu dòng chảy Y càng lớn thì lượng nước càng nhiều. Để so sánh mức độ dồi dào nguồn nước, hai trị số M và Y thường được sử dụng.

2.1.2 Lưu vực sông

a. Diện tích lưu vực (km^2): là diện tích hứng nước mưa tính đến một vị trí nào đó của sông. Diện tích lưu vực được giới hạn bởi đường phân nước càng lớn thì nguồn cung cấp nước cho sông càng lớn.

b. Chiều dài lưu vực (km): là khoảng cách theo đường gấp khúc qua các điểm giữa của đoạn thẳng cắt ngang qua lưu vực và vuông góc với hướng dòng chảy đi từ nguồn nước. Trong thực tế lấy chiều dài sông chính là chiều dài lưu vực.

c. Chiều rộng lưu vực B (km): được xác định theo công thức: $B = F / L$. Chiều rộng lưu vực sông không cố định mà thay đổi theo chiều dài sông. Sự thay đổi của nó ảnh hưởng đến sự tập trung nước trong sông.

d. Độ cao bình quân lưu vực H_{bq} (m): ảnh hưởng đến điều kiện thủy văn khí hậu. Độ cao bình quân của lưu vực có ảnh hưởng rất lớn tới các nhân tố khí hậu, đặc biệt là đối với các lưu vực rộng lớn.

$$H_{bq} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i h_i}{\left(\sum_{i=1}^n f_i = F \right)} \quad (\text{m}) \quad (1.7)$$

Trong đó:

- h cao trình bình quân giữa hai đường đồng mức (m);
- f_i diện tích giữa hai đường đồng mức (m^2);
- n số mảnh diện tích.

e. Độ dốc trung bình lưu vực (J_{tb}): ảnh hưởng rất quan trọng tới quá trình tập trung dòng chảy, sự tạo thành lũ và tính chất lũ trong lưu vực. Lưu vực càng dốc thì dòng chảy tập trung càng nhanh và lũ lên càng nhanh.

$$J = \Delta h. \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\left(\sum_{i=1}^n f_i = F \right)} \quad (1.8)$$

Trong đó:

l_i khoảng cách bình quân giữa hai đường đồng mức bằng nhau;

$h\Delta$ chênh lệch cao độ giữa hai đường đồng mức (trên bản đồ địa hình thường có giá trị như nhau đối với mọi đường đồng mức).

f. Mật độ lưới sông D (km/km²): mật độ lưới sông bằng tổng chiều dài của tất cả các sông suối trên lưu vực chia cho diện tích của nó.

$$D = \frac{\sum L_i}{F} \quad (1.9)$$

Sông suối càng dày mật độ lưới sông càng lớn. Những vùng có nguồn nước phong phú thì D thường có giá trị lớn. Một số phân cấp mật độ lưới sông:

Cấp 1: D = 1,5 - 2,0 Mật độ sông, suối rất dày;

Cấp 2: D = 1,0 - 1,5 Mật độ sông, suối dày;

Cấp 3: D = 0,5 - 1,0 Mật độ sông, suối tương đối dày;

Cấp 4: D < 0,5 Mật độ sông, suối thưa.

2.2 Hệ thống thông tin địa lý (GIS)

2.2.1 Định nghĩa

Thuật ngữ GIS được sử dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như địa lý, kỹ thuật tin học, quản lý môi trường và tài nguyên, khoa học xử lý về dữ liệu không gian,... Sự đa dạng trong các lĩnh vực ứng dụng dẫn đến có rất nhiều định nghĩa về GIS.

Theo Burrough (1986), GIS là một hộp công cụ mạnh được dùng để lưu trữ và truy vấn tùy ý, biến đổi và hiển thị dữ liệu không gian từ thế giới thực cho những mục tiêu đặc biệt.

Theo Smith (1987), GIS là hệ thống cơ sở dữ liệu mà các dữ liệu gắn liền với vị trí không gian và qui trình hoạt động của nó nhằm đáp ứng những yêu cầu của đối tượng không gian trong cơ sở dữ liệu.

Theo Nguyễn Kim Lợi và ctv (2009), GIS là một hệ thống thông tin mà nó sử dụng dữ liệu đầu vào, các thao tác phân tích, cơ sở dữ liệu đầu ra liên quan về mặt địa lý không gian, nhằm trợ giúp việc thu nhận; lưu trữ; quản lý; xử lý; phân tích và hiển thị các thông tin không gian từ thế giới thực, để giải quyết các vấn đề tổng hợp thông tin cho các mục đích của con người đặt ra như hỗ trợ việc ra quyết định cho vấn đề quy hoạch; quản lý; sử dụng đất; tài nguyên thiên nhiên;...

2.2.2 Lịch sử phát triển

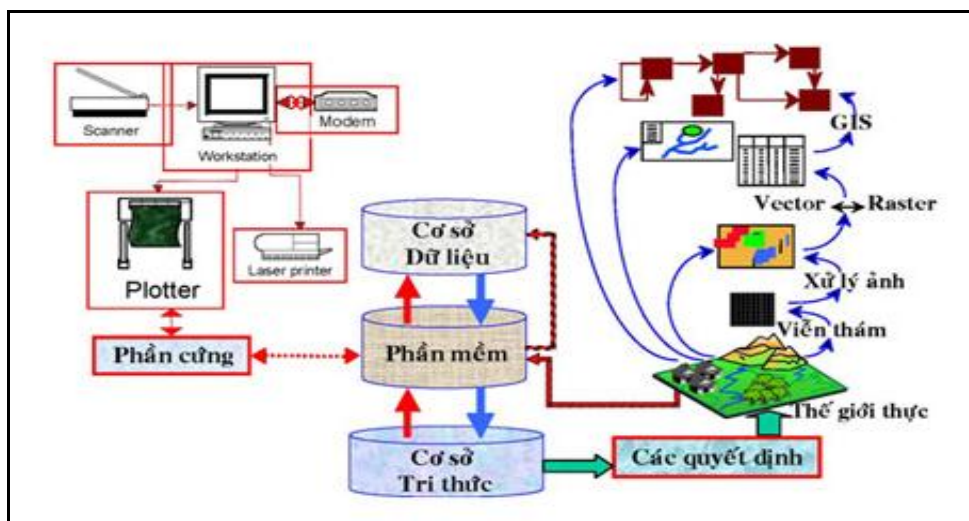
GIS đầu tiên ra đời vào những năm đầu của thập kỉ 70 và ngày càng phát triển mạnh mẽ trên nền tảng của các tiến bộ công nghệ máy tính, đồ họa máy tính, phân tích dữ liệu không gian và quản trị dữ liệu.

Từ những năm 80 trở lại đây, công nghệ GIS đã có một sự nhảy vọt về chất, trở thành một công cụ hữu hiệu trong công tác quản lý và trợ giúp quyết định. Phần mềm GIS đang hướng tới đưa công nghệ GIS thành Hệ tự động thành lập bản đồ và xử lý dữ liệu Hypermedia (phương tiện cao cấp), Hệ chuyên gia, Hệ trí tuệ nhân tạo và Hướng đối tượng (Đặng Văn Đức, 2001).

Ngày nay công nghệ GIS đang phát triển mạnh theo hướng tổ hợp và liên kết mạng (Enterprise). Trong suốt quá trình hình thành và phát triển, công nghệ GIS luôn tự hoàn thiện từ thấp đến cao, từ đơn giản đến phức tạp để phù hợp với các tiến bộ mới nhất của khoa học và kỹ thuật.

2.2.3 Các thành phần của GIS

Về thành phần của GIS thì tùy vào quy mô ứng dụng của GIS mà ta có số thành phần tương ứng là 3, 4, 5 hoặc 6. Nhưng thường thì ta xem GIS có bốn thành phần cơ bản: Phần cứng, Phần mềm, Cơ sở dữ liệu địa lý, Cơ sở tri thức chuyên gia (con người).



Hình 1.2: Các thành phần của GIS

2.2.4 Mô hình dữ liệu

Có hai thành phần quan trọng của dữ liệu địa lý:

- Dữ liệu không gian (dữ liệu bản đồ): biểu diễn các đối tượng không gian dưới dạng điểm, đường, vùng hoặc biểu diễn bề mặt.
- Dữ liệu thuộc tính: lưu trữ các thuộc tính của đối tượng không gian như thuộc tính không gian (tọa độ, chu vi, diện tích, mối quan hệ không gian,...) và thuộc tính mô tả (thuộc tính phân loại và các thông tin khác liên quan đến đối tượng).

Mô hình biểu diễn dữ liệu không gian có hai loại là Vector và Raster.

a. Mô hình Vector (Vector Data Model)

Trong mô hình dữ liệu Vector, các đối tượng không gian được thể hiện trên mặt phẳng tọa độ Descartes:

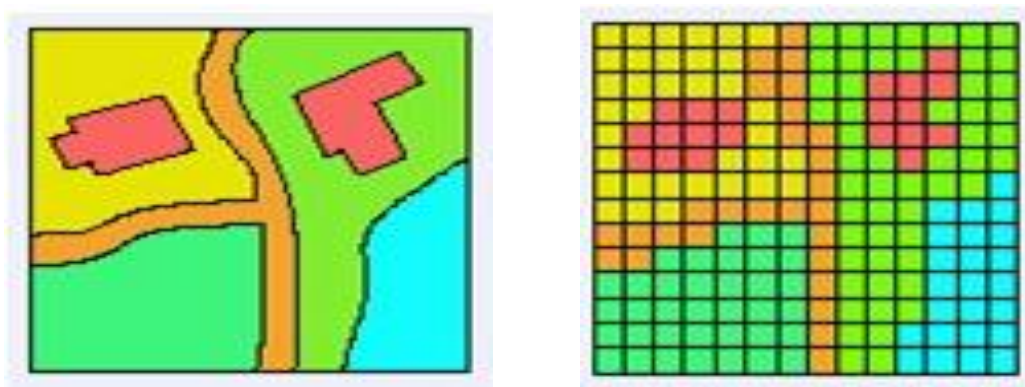
- Đối tượng điểm được xác định bởi một cặp tọa độ x, y .
- Đối tượng đường được biểu diễn bằng một chuỗi những cặp tọa độ x, y .
- Đối tượng vùng được biểu diễn bằng một đa giác. Tọa độ đỉnh của đa giác được biểu diễn thành một chuỗi những cặp tọa độ x, y có tọa độ điểm đầu và cuối trùng nhau.

b. Mô hình Raster (Raster Data Model)

Mô phỏng bề mặt Trái Đất và các đối tượng trên đó bằng một lưới (đều hoặc không đều) gồm các hàng và cột. Những phần tử nhỏ này gọi là những pixel hay cell. Giá trị

của pixel là thuộc tính của đối tượng. Kích thước pixel càng nhỏ thì đối tượng càng được mô tả chính xác.

Một mặt phẳng chứa đầy các pixel tạo thành Raster. Cấu trúc này thường được áp dụng để mô tả các đối tượng; hiện tượng phân bố liên tục trong không gian, dùng để lưu giữ thông tin dạng ảnh (ảnh mặt đất, hàng không, vũ trụ,...). Một số dạng mô hình biểu diễn bề mặt như DEM (Digital Elevation Model), DTM (Digital Terrain Model), TIN (Triangulated Irregular Network) trong cơ sở dữ liệu cũng thuộc dạng Raster .



Hình 1.3: Mô hình Vector (trái), Mô hình Raster (phải)

2.2.5 Các chức năng của GIS

GIS có 4 chức năng cơ bản:

- Thu thập - lưu trữ dữ liệu: dữ liệu được sử dụng trong GIS đến từ nhiều nguồn khác nhau, có nhiều dạng và được lưu trữ theo nhiều cách khác nhau. GIS cung cấp công cụ để tích hợp dữ liệu thành một định dạng chung để so sánh và phân tích.
- Quản lý dữ liệu: sau khi dữ liệu được thu thập và tích hợp, GIS cung cấp chức năng lưu trữ và duy trì dữ liệu. Hệ thống quản lý dữ liệu hiệu quả phải đảm bảo các điều kiện về an toàn dữ liệu, toàn vẹn dữ liệu, lưu trữ và trích xuất dữ liệu, thao tác dữ liệu.
- Phân tích không gian: đây là chức năng quan trọng nhất của GIS, cung cấp các chức năng như nội suy không gian, tạo vùng đệm và chồng lớp.
- Hiện thị kết quả: với nhiều thao tác trên dữ liệu địa lý, kết quả cuối cùng được hiển thị tốt nhất ở dạng bản đồ hoặc biểu đồ. GIS cung cấp nhiều công cụ mới và thú vị để mở rộng tính nghệ thuật và khoa học của ngành bản đồ.

2.3 Mô hình SWAT

2.3.1 Lịch sử phát triển

Sự phát triển của mô hình SWAT là nỗ lực của Trung tâm Phục vụ Nghiên cứu Nông nghiệp (ARS: Agricultural Research Service) thuộc Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA: United States Department of Agriculture) trong gần 30 năm qua. SWAT tích hợp nhiều mô hình của USDA - ARS, bao gồm mô hình Hệ thống Quản lý Nông nghiệp về hóa chất - dòng chảy và xói mòn (CREAMS), mô hình Hệ thống Quản lý Nông nghiệp về ảnh hưởng của sự tích trữ nước ngầm (GLEAMS) và mô hình Chính sách Khí hậu về tác động Môi trường (EPIC).

Từ khi SWAT ra đời vào đầu những năm 1990, nó đã liên tục trải qua nhiều lần được xem xét, đánh giá và cải tiến nhằm mở rộng khả năng mô phỏng (Rallison, R.E. and N. Miller, 1981). Những cải tiến đáng kể nhất của các mô hình theo các phiên bản khác nhau bao gồm:

SWAT 94.2: bổ sung khái niệm đơn vị đồng nhất về phản ứng thủy văn (HRUs: Hydrologic Response Units).

SWAT 96.2: phương án tự động bón phân và tưới nước được thêm vào như là những quản lý tùy chọn, tính toán lượng nước do tán lá cây lưu trữ, thành phần mô phỏng CO₂ trong mô hình tăng trưởng cây trồng phục vụ các nghiên cứu về BĐKH.

SWAT 98.1: cải tiến chương trình con về mô phỏng lượng tuyết tan, cải thiện tính toán chất lượng nước trong dòng sông suối, mở rộng tính truyền vòng tuần hoàn chất dinh dưỡng, sửa đổi mô hình để có thể áp dụng ở khu vực Nam bán cầu.

SWAT 99.2: cải tiến tính truyền vòng tuần hoàn chất dinh dưỡng, bổ sung phần ước tính lượng tổn thất chất dinh dưỡng do quá trình bồi lắng trong hồ chứa/ao/đầm lầy, bổ sung phương trình ảnh hưởng các khu đô thị lên dòng chảy từ mô hình SWMM (Storm Water Management Model).

SWAT 2000: bổ sung phương trình thẩm Green & Ampt, cải thiện mô hình mô phỏng thời tiết, cho phép đọc vào hoặc mô phỏng dữ liệu bức xạ Mặt Trời hàng ngày, độ ẩm tương đối và tốc độ gió, xem xét lại tất cả các phương pháp ước tính ET tiềm năng,...

SWAT 2005: cải thiện tính truyền vận chuyển vi khuẩn trong dòng chảy, thêm kịch bản dự báo thời tiết, bổ sung phần mô phỏng lượng mưa rơi, thông số lưu trữ nước trong tính toán giá trị CN hàng ngày có thể là hàm số của lượng nước trong đất (độ ẩm đất) hay của lượng bốc thoát hơi nước từ cây cối.

Ngoài những thay đổi đã được liệt kê ở trên, giao diện cho các mô hình đã được phát triển cho môi trường hệ điều hành Windows (Visual Basic), GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) và ArcView. Mô hình SWAT cũng đã được kiểm chứng chặt chẽ.

2.3.2 Tổng quan mô hình

Mô hình SWAT có thể mô phỏng một số quá trình vật lý khác nhau trên lưu vực sông. Một lưu vực có thể được phân chia thành nhiều lưu vực con. Việc phân chia này đặc biệt có lợi khi những vùng khác nhau của lưu vực có những thuộc tính khác nhau về đất, thảm phủ,... Thông tin đầu vào cho mỗi lưu vực con được tổ chức thành các yếu tố khí hậu, thông số của các đơn vị thủy văn (HRUs), hồ hay các vùng chứa nước, nước ngầm, kênh chính hoặc sông nhánh, hệ thống tiêu nước. Những đơn vị thủy văn sẽ được tổng hợp thành các lưu vực con, các lưu vực con này được xem là đồng nhất về thảm phủ, thổ nhưỡng và chế độ sử dụng đất (Rallison, R.E. and N. Miller, 1981).

Các số liệu đầu vào của mô hình:

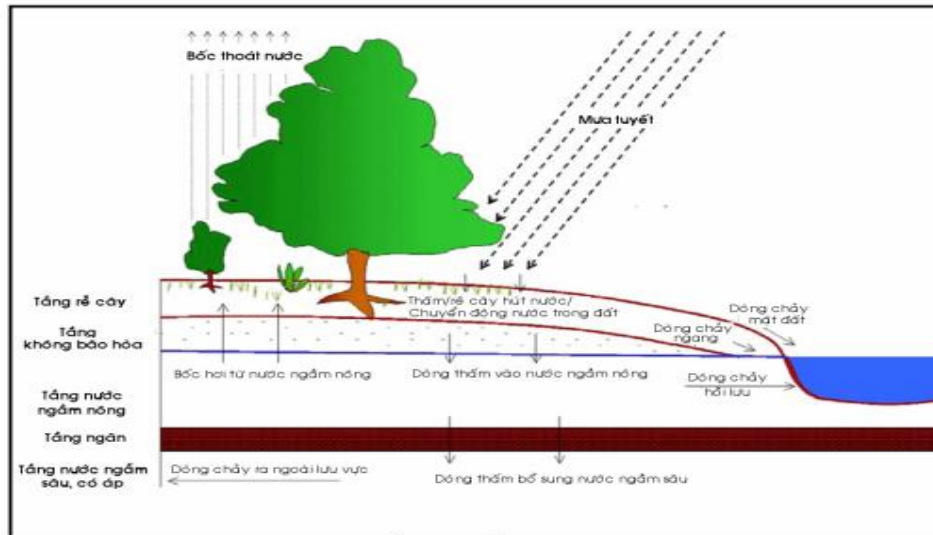
- Số liệu không gian dưới dạng bản đồ bao gồm: bản đồ độ cao số DEM, bản đồ thảm phủ, bản đồ loại đất, bản đồ mạng lưới sông; suối; hồ chứa trên lưu vực.
- Số liệu thuộc tính bao gồm: số liệu về khí tượng (nhiệt độ không khí, bức xạ, tốc độ gió, mưa), số liệu về thủy văn (dòng chảy, bùn cát, hồ chứa,...), số liệu về đất (loại đất, đặc tính loại đất theo lớp của các phẫu diện đất,...), số liệu về loại cây trồng trên lưu vực, độ tăng trưởng của cây trồng, số liệu về loại phân bón trên lưu vực canh tác,...
- Các kết quả đầu ra của mô hình: đánh giá cả về lượng và chất của nguồn nước, lượng bùn cát vận chuyển trên lưu vực, quá trình canh tác đất thông qua module chu trình chất dinh dưỡng, công tác quản lý lưu vực.

Chu trình thủy văn có thể chia thành hai pha (Susan L. Neitsch et al., 2009):

- Pha thứ nhất: được gọi là pha đất của chu trình thủy văn hay còn gọi là mô hình

thủy văn. Pha đất sẽ tính toán tổng lượng nước, bùn cát, chất dinh dưỡng và hoá chất tới kênh chính của từng lưu vực.

- Pha thứ hai: được gọi là pha nước hay pha diễn toán của chu trình thủy văn hay còn gọi là mô hình diễn toán. Pha nước sẽ tính toán các thành phần qua hệ thống mạng lưới sông suối tới mặt cắt cửa ra.



Hình 1.4: Sơ đồ vòng tuần hoàn thủy văn

2.3.3 Pha đất của chu trình thủy văn

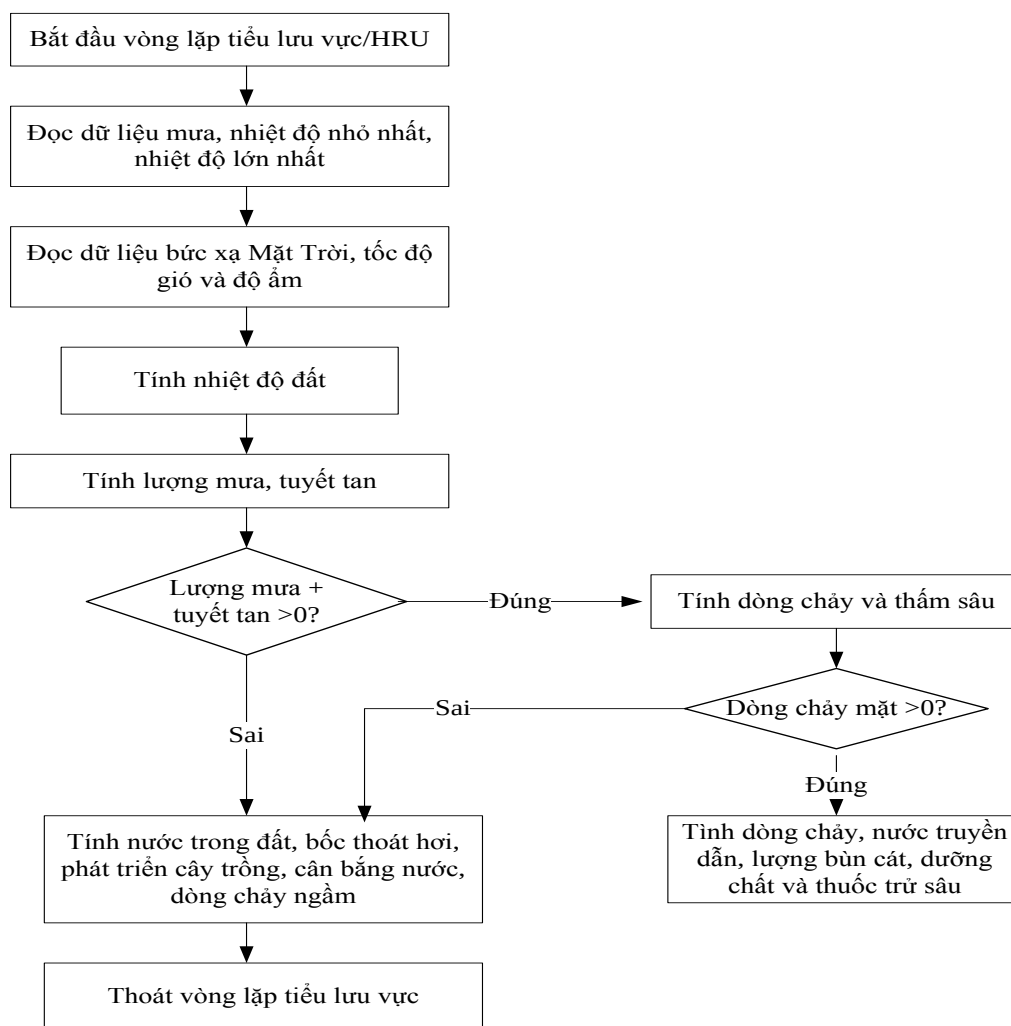
Cơ sở tính toán dòng chảy được sử dụng trong mô hình SWAT được dựa vào phương trình cân bằng nước:

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1.10)$$

Trong đó :

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

Việc phân chia lưu vực nghiên cứu thành các lưu vực con 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.

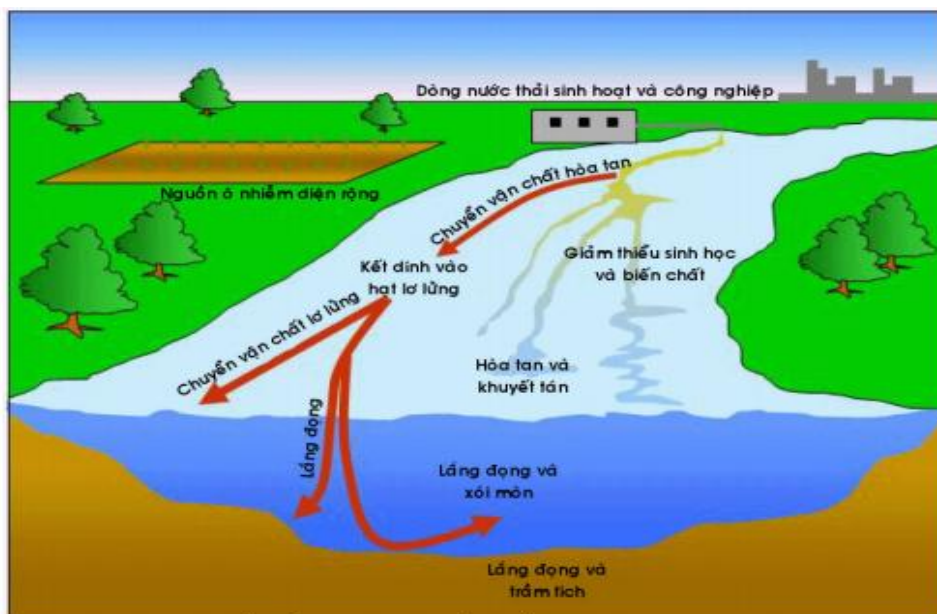


Hình 1.5: Vòng tính toán cho HRU/ Lưu vực con

2.3.4 Pha nước của chu trình thủy văn

Một khi SWAT xác định được nguồn tải về nước; bùn cát; dinh dưỡng và thuốc trừ sâu vào trong dòng kênh chính, thì tải lượng những chất này được tính truyền dọc theo mạng lưới sông ngòi của lưu vực (Williams, J.R. and R.W. Hann. 1972). Ngoài dòng

chảy khối lượng trong kênh, SWAT còn mô phỏng biến chuyển của các chất hóa học trong dòng nước và trong lớp bùn lắng đáy kênh.



Hình 1.6 : Các quá trình biến đổi và vận chuyển chất trong lòng sông ngòi được mô phỏng trong SWAT

Mô hình SWAT sử dụng phương pháp số hiệu đường cong SCS (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 (Rallison, R.E. and N. Miller, 1981). Do vậy, để phù hợp với khả năng dữ liệu hiện có, đề tài 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 (S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, 2005). Trong phương pháp đường cong số 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 đường cong số SCS có dạng như sau:

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - I_a)^2}{(R_{\text{day}} - I_a + S)} \quad (1.11)$$

Trong đó:

Q_{surf} lượng dòng chảy mặt hay mưa hiệu quả (mm);

R_{day} lượng mưa ngày (mm);

I_a khả năng trữ nước ban đầu (mm);

S thông số lượng trữ (mm).

Thông số lượng trữ thay đổi theo tính chất đất, việc sử dụng và quản lý đất, độ dốc và thời gian, được định nghĩa như sau:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{\text{CN}} - 10 \right) \quad (1.12)$$

Với CN là số hiệu đường cong. Với I_a thường xấp xỉ bằng $0,2S$, phương trình được viết lại như sau:

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - 0,2S)^2}{(R_{\text{day}} + 0,8S)} \quad (1.13)$$

3 Tổng quan về BĐKH

3.1 Định nghĩa về BĐKH

Biến đổi khí hậu (Climate Change): sự thay đổi của khí hậu được quy trực tiếp hay gián tiếp là do hoạt động của con người, làm thay đổi thành phần của khí quyển toàn cầu và đóng góp thêm vào sự biến động khí hậu tự nhiên trong các thời gian có thể so sánh được (IPCC, 1995).

BĐKH (Climate Change hoặc Climatic Change): xác định sự khác biệt giữa các giá trị trung bình dài hạn của một tham số hay thống kê khí hậu. Trong đó, trung bình được thực hiện trong một khoảng thời gian xác định, thường là vài thập kỷ. Sự thay đổi của khí hậu được quy trực tiếp hay gián tiếp là do hoạt động của con người, làm thay đổi thành phần của khí quyển toàn cầu và đóng góp thêm vào sự biến động khí hậu tự nhiên trong các thời gian có thể so sánh được (Bộ TNMT, 2009).

Hiệu ứng nhà kính là hiệu ứng làm cho không khí của Trái Đất nóng lên do bức xạ sóng ngắn của Mặt Trời, có thể xuyên qua tầng khí quyển chiếu xuống mặt đất, mặt đất hấp thụ nóng lên; lại bức xạ sóng dài vào khí quyển để CO_2 hấp thụ làm cho không khí nóng lên. Nguyên nhân chủ yếu gia tăng HUNK là sự gia tăng nồng độ các khí nhà kính phát thải vào khí quyển từ các hoạt động của con người.

Khí nhà kính là những khí có khả năng hấp thụ các bức xạ sóng dài (hồng ngoại) được phản xạ từ bề mặt Trái Đất khi được chiếu sáng bằng ánh sáng Mặt Trời, sau đó phân tán nhiệt lại cho Trái Đất, gây nên HUNK.

3.2 Các nguyên nhân gây BĐKH

BĐKH xảy ra do các quá trình tự nhiên bên trong, các tác động bên ngoài hoặc do tác động của con người làm thay đổi thành phần khí quyển hay trong khai thác sử dụng đất. Những biến đổi bên trong là do quá trình động lực của Trái Đất, bức xạ Mặt Trời và chủ yếu là do các hoạt động của con người làm phát sinh. Những nghiên cứu gần đây cho thấy việc phát ra KNK (chủ yếu là CO_2 và Metan CH_4), là nguyên nhân hàng đầu của BĐKH (Bộ TNMT, 2009).

Có thể thấy rằng các nguyên nhân gây ra BĐKH do các yếu tố tự nhiên đóng góp một phần rất nhỏ và có tính chu kì kể từ quá khứ đến nay. Theo các kết quả nghiên cứu và công bố từ IPCC thì nguyên nhân gây ra BĐKH chủ yếu là do các hoạt động của con người (IPCC, 2007).

3.3 Khái quát BĐKH ở Việt Nam

BĐKH ở Việt Nam là một bộ phận của BĐKH toàn cầu. Theo các công trình nghiên cứu về BĐKH, dựa trên xu thế biến đổi của một số yếu tố khí hậu tiêu biểu, các tác giả đều nhận định chung “tính chất và mức độ biến đổi của khí hậu nước ta phản ánh xu thế nóng lên đã và đang tiếp diễn trên phạm vi thế giới” (IPCC, 2007).

Nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, Việt Nam là một trong những quốc gia chịu ảnh hưởng nhiều của thiên tai do thời tiết gây ra. Hàng năm, nước ta phải chịu từ 6 - 7 cơn bão. Tuy nhiên trong những năm gần đây, số cơn bão đổ bộ vào Việt Nam ngày càng nhiều, với tần suất ngày càng cao. Bên cạnh đó, mùa mưa ở nước ta từ Tháng V - X với thời tiết nóng và khô, mùa khô từ Tháng XI - IV với thời tiết lạnh và

khô, số tháng mùa khô và số tháng mùa mưa ở nước ta đang có xu hướng kéo dài hơn theo quá trình ảnh hưởng chung của BĐKH toàn cầu.

Theo báo cáo của Bộ TNMT, Việt Nam trong khoảng 50 năm qua nhiệt độ trung bình tăng khoảng 0,5 - 0,7 °C, mực nước biển đã dâng khoảng 20 cm và đến năm 2050 sẽ không còn những khu vực dưới 14 °C, xuất hiện những khu vực nhiệt độ năm trên 28 °C. Nước ta đứng thứ V về khả năng dễ tổn thương do các tác động của tình trạng BĐKH và đã được Liên Hợp Quốc chọn là quốc gia dễ tiến hành nghiên cứu điển hình về BĐKH và phát triển con người.

Sự nóng lên toàn cầu do sự gia tăng của KNK, kéo theo hàng loạt những biến động khác của môi trường tự nhiên dẫn đến những BĐKH toàn diện. Nếu mực nước biển dâng cao 1 m thì Việt Nam sẽ bị mất 12 % diện tích đất đai cư trú của 23 % số dân (40 % đồng bằng sông Cửu Long, 9 % đồng bằng sông Hồng và 3 % các địa phương khác khu vực ven biển có thể chịu rủi ro ngập lụt cao hơn và trên 20 % TP. Hồ Chí Minh có khả năng ngập lụt). Các trận bão đổ bộ thường xuyên và với mức độ tàn phá nghiêm trọng hơn. Nhiệt độ và lượng mưa thay đổi sẽ ảnh hưởng đến nông nghiệp và nguồn nước, BĐKH tác động tới mọi lĩnh vực trong cuộc sống, từ đây đòi hỏi một tầm nhìn dài hơn, một kế hoạch cụ thể và mang tính chiến lược (Bộ TNMT, 2009).

3.4 Tác động BĐKH đến các yếu tố

3.4.1 Tác động đến nông - lâm - ngư nghiệp

BĐKH ảnh hưởng nghiêm trọng đến đất sử dụng cho nông nghiệp, thay đổi tính thích hợp của nền sản xuất nông nghiệp với cơ cấu khí hậu, làm chậm đi quá trình phát triển nền nông nghiệp hiện đại sản xuất hàng hóa và đa dạng hóa và làm biến dạng nền nông nghiệp cổ truyền.

BĐKH làm suy giảm quỹ đất rừng, diện tích rừng và thay đổi cơ cấu tổ chức rừng. Nguy cơ chuyển dịch diện tích đất lâm nghiệp sang đất dành cho các lĩnh vực kinh tế - xã hội khác là do tác động gián tiếp, nhưng lại là tác động lớn nhất đối với sản xuất lâm nghiệp.

BĐKH tác động đến môi trường thủy sản trên biển, nuôi trồng và gây ra nhiều thiệt hại nền kinh tế biển. Suy giảm sản lượng và chất lượng thủy sản biển cũng như thủy sản nước ngọt, diện tích nuôi trồng thủy sản, thời gian đánh bắt và năng suất khai thác.

3.4.2 Tác động đến công nghiệp

Nhiều khu công nghiệp, khu cư dân ven biển trên châu thổ các sông đặc biệt nhạy cảm với sự gia tăng thời tiết cực đoan do BĐKH. BĐKH ảnh hưởng đến cơ cấu công nghiệp theo ngành và theo lãnh thổ; có thể và cần thiết phải có sự chuyển dịch cơ cấu theo lãnh thổ trong quy hoạch lâu dài các ngành công nghiệp, ảnh hưởng đến một số ngành công nghiệp trọng điểm; trong đó công nghiệp chế biến thực phẩm gặp nhiều trở ngại nhất.

BĐKH tác động tiêu cực đến tài nguyên năng lượng tái tạo, công nghiệp khai thác nguyên - nhiên liệu. Có khả năng làm giảm tiềm năng của những nguồn năng lượng khác trong tương lai.

3.4.3 Tác động đến du lịch và dịch vụ

BĐKH gia tăng nhu cầu cho du lịch (du lịch sinh thái, biển, núi cao,...) nhưng cũng gây ra những tác động tiêu cực cho du lịch (cơ sở vật chất du lịch biển phải nâng cấp liên tục để ứng phó nước biển dâng, chi phí cho du lịch sinh thái tăng, dịch vụ tăng,...).

BĐKH tác động tiêu cực đến cơ sở hạ tầng giao thông vận tải và hoạt động giao thông vận tải. BĐKH làm tăng nguy cơ rủi ro, ảnh hưởng nhiều đến hoạt động giao thông (thiết bị, động cơ, phương tiện,...) và tăng chi phí vận chuyển (nhất là vận chuyển hành khách).

3.4.4 Tác động đến dân cư và sức khỏe cộng đồng

BĐKH dẫn đến hạ thấp chỉ số phát triển con người (HDI: Human Development Index). Do BĐKH, tốc độ tăng trưởng GDP (Gross Domestic Product) không ổn định, cộng đồng người nghèo không có điều kiện thuận lợi nâng cao chỉ số giáo dục và tuổi thọ bình quân cũng bị ảnh hưởng.

BĐKH chứa đựng nhiều yếu tố tiêu cực đối với sinh lý cơ thể. BĐKH hậu tuy mang lại một vài lợi ích cho một số vùng ôn đới (chẳng hạn giảm bớt tử vong do lạnh),

song phổ biến là ảnh hưởng tiêu cực do nhiệt độ tăng lên. Tình trạng sức khỏe của hàng triệu người dân sa sút, thậm chí sa sút nghiêm trọng. Nhiều cộng đồng nghèo, đặc biệt ở những vùng nhiều thiên tai có thể gặp nhiều rủi ro và tổn thất nghiêm trọng.

3.4.5 Tác động đến nguồn nước

Tác động của BĐKH đến nguồn nước là nghiêm trọng nhất, xét theo từng khu vực cũng như từng lưu vực. Trên quy mô toàn cầu, BĐKH khuếch đại nguy cơ thiếu nước. Trên quy mô khu vực, BĐKH dẫn đến tổn thất nước do băng tan và giảm lớp tuyết phủ.

BĐKH gây ra sự thay đổi về thời gian mưa và lượng mưa. Những khu vực vĩ độ cao sẽ có lượng mưa lớn và tạo ra nhiều dòng chảy mặt. Ngược lại, một số lưu vực vĩ độ thấp hơn có thể bị cắt giảm lớn dòng chảy và tình trạng thiếu nước tăng là kết quả của sự kết hợp của bốc hơi tăng lên và giảm lượng mưa.

Những thay đổi nhiệt độ và lượng mưa có thể dẫn đến thay đổi lớn tỷ lệ dòng chảy, tăng khả năng và mức độ nghiêm trọng của hạn hán; lũ lụt. Vấn đề chất lượng nước có thể tăng lên, nơi có ít dòng chảy tăng nguy cơ ô nhiễm từ các nguồn tự nhiên và con người.

Dân số ngày càng tăng cùng với phát triển kinh tế - xã hội trong thế kỷ 21 sẽ dẫn đến tăng nhu cầu nước, ảnh hưởng lớn đến TNN. Sông Bé chịu sức ép của việc khai thác, sử dụng nước khá cao, hệ thống thủy điện dày đặc, theo kết quả tính toán trong tương lai sẽ diễn ra tranh chấp về nước gay gắt.

a. Tác động của BĐKH đến dòng chảy

BĐKH sẽ làm cho dòng chảy thay đổi về lượng và sự phân bố theo thời gian, vùng lãnh thổ. Tác động của BĐKH lên dòng chảy năm, dòng chảy mùa lũ, dòng chảy mùa cạn các thời kỳ tương lai được đánh giá dựa trên phương pháp mô hình mưa - dòng chảy và các kịch bản BĐKH.

❖ Tác động BĐKH đến dòng chảy năm

Tác động của BĐKH đến dòng chảy năm là rất khác nhau giữa các vùng, hệ thống sông. Xu thế biến đổi của dòng chảy năm của các sông là trái ngược nhau giữa hai phần phía Bắc và phía Nam (Bộ TNMT, 2009).

Theo kịch bản BDKH trung bình B2, dòng chảy năm trên các sông ở Bắc Bộ có xu hướng tăng phổ biến dưới 2 % vào giai đoạn 2040 - 2059 và lên tới 2 - 4 % vào giai đoạn 2080 - 2099. Trái lại, từ phần phía Nam Bắc Bộ đến Đông Nam Bộ (hệ thống sông Đồng Nai), dòng chảy năm lại có xu thế giảm; nhưng giảm mạnh ở hệ thống sông Đồng Nai; sông Bé từ 4 - 7 % vào giai đoạn 2040 - 2059 và 7 - 9 % vào giai đoạn 2080 - 2099.

Bảng 1.1: Biến đổi dòng chảy trung bình năm của các sông chính dự báo theo kịch bản BDKH trung bình B2 của Bộ TNMT

Trạm thủy văn	Sông	Dòng chảy thời kỳ 1980-1999	Dòng chảy thời kỳ 2040-2050		Dòng chảy thời kỳ 2080-2099	
		m ³ /s	m ³ /s	Mức tăng % so 80-99	m ³ /s	Mức tăng % so 80-99
Tạ Bú	Đà	1.530,00	1.550,00	0,79	1.579,00	2,81
Sơn Tây	Hồng	3.315,00	3.438,00	0,68	3.559,00	2,95
Nông Sơn	Thu Bồn	276,63	273,33	-1,73	267,86	-1,19
Dừa	Cả	423,11	430,61	1,77	439,32	3,83
Tà Pao	La Ngà	77,23	74,13	-4,01	71,93	-6,86
Tả Lải	Đồng Nai	349,00	335,00	-4,01	232,30	-7,36
Phước Hòa	Bé	227,58	210,78	-6,94	206,98	-9,05

(Nguồn: Bộ TNMT, 2009)

Sự biến đổi của dòng chảy năm của các sông trong tương lai tùy thuộc vào sự biến đổi của lượng mưa và bốc hơi. Do đó, tuy lượng mưa năm tăng nhưng do nhiệt độ tăng nên lượng nước tổn thất do bốc thoát hơi trên lưu vực tăng lên khá nhiều, dẫn đến lượng dòng chảy không tăng nhanh. Từ sự biến đổi của các thành phần của cân bằng nước tự nhiên, có thể giải thích được sự biến đổi khác nhau của dòng chảy theo từng lưu vực (vùng) dưới tác động của BDKH.

❖ Tác động BDKH đến dòng chảy mùa lũ

Dòng chảy mùa lũ của hầu hết các sông có xu thế tăng so với hiện nay, song với mức độ khác nhau, phổ biến tăng từ 2 - 4 % vào giai đoạn 2040 - 2059 và từ 5 - 7 % vào giai đoạn 2080 - 2099. Dòng chảy mùa lũ của các sông trên hệ thống sông Đồng Nai, sông Bé giảm khoảng từ 2,5 - 6 % và từ 4 - 8 % vào hai giai đoạn nói trên.

Bảng 1.2: Biến đổi dòng chảy mùa lũ của các sông chính dự báo theo kịch bản BĐKH trung bình B2 của Bộ TNMT

Trạm thủy văn	Sông	Dòng chảy thời kỳ 1980-1999	Dòng chảy thời kỳ 2040-2050		Dòng chảy thời kỳ 2080-2099	
		m ³ /s	m ³ /s	Mức tăng % so 80-99	m ³ /s	Mức tăng % so 80-99
Tạ Bú	Đà	2.849,00	2.919,00	2,48	2.995,00	5,15
Sơn Tây	Hồng	6.041,00	6.191,00	2,4/8	6.408,00	6,07
Nông Sơn	Thu Bồn	770,14	780,18	1,30	786,08	2,07
Dừa	Cả	740,73	771,05	4,09	797,88	7,72
Tà Pao	La Ngà	145,74	142,54	-2,20	139,84	-4,05
Tà Lài	Đồng Nai	655,80	637,30	-2,82	617,00	-5,92
Phước Hòa	Bé	433,852	406,72	-6,18	398,52	-8,07

(Nguồn: Bộ TNMT, 2009)

❖ **Tác động BĐKH đến dòng chảy mùa cạn**

Dưới tác động của BĐKH, khác với dòng chảy năm và dòng chảy mùa lũ, dòng chảy mùa cạn trong tương lai của tất cả các sông trong lãnh thổ Việt Nam sẽ đều giảm, nhưng mức giảm là khác nhau khá lớn giữa các sông.

Bảng 1.3: Biến đổi dòng chảy mùa cạn của các sông chính dự báo theo kịch bản BĐKH trung bình B2 của Bộ TNMT

Trạm thủy văn	Sông	Dòng chảy thời kỳ 1980-1999	Dòng chảy thời kỳ 2040-2050		Dòng chảy thời kỳ 2080-2099	
		m ³ /s	m ³ /s	Mức tăng % so 80-99	m ³ /s	Mức tăng % so 80-99
Tạ Bú	Đà	604,00	572,00	-5,19	567,00	-5,98
Sơn Tây	Hồng	1.617,00	1.549,00	-4,24	1.523,00	-5,79
Nông Sơn	Thu Bồn	112,13	104,39	-6,90	100,44	-10,42
Dừa	Cả	196,24	187,45	-4,48	183,21	-6,64
Tà Pao	La Ngà	28,30	23,20	-18,02	24,30	-14,13
Tà Lài	Đồng Nai	129,93	120,93	-6,83	116,013	-10,70
Phước Hòa	Bé	80,45	73,25	-8,95	71,15	-11,56

(Nguồn: Bộ TNMT, 2009)

BĐKH có xu hướng làm suy giảm dòng chảy mùa cạn, so với hiện tại dòng chảy mùa cạn phổ biến giảm từ 2 - 9 % vào giai đoạn 2040 - 2059 và từ 4 - 12 % vào giai đoạn 2080 - 2099.

Tóm lại, BĐKH sẽ làm thay đổi các đặc trưng dòng chảy của tất cả các sông trên lãnh thổ Việt Nam, xu thế biến đổi cũng như mức độ biến đổi là khác nhau giữa các hệ thống sông trong các vùng cũng như giữa các đặc trưng dòng chảy trên cùng dòng sông (Bộ TNMT, 2009).

b. Tác động BĐKH đến nhu cầu dùng nước

❖ Tác động của BĐKH đến nhu cầu nước cho thủy điện

Dưới tác động của BĐKH, dòng chảy trong sông sẽ biến đổi và do đó dẫn đến sản lượng điện của các nhà máy thủy điện cũng sẽ bị ảnh hưởng. Khi dòng chảy tăng, về lý thuyết khả năng phát điện sẽ tăng. Tuy nhiên trên thực tế nhiều nhà máy do hạn chế về dung lượng hồ chứa và công suất phát điện, nên đã hạn chế khả năng phát điện. Hầu hết điện lượng trung bình năm trên các lưu vực sông đều giảm khoảng 3 % vào giữa thế kỷ 21 và giảm nhiều nhất không đến 6 % vào cuối thế kỷ 21 (Lâm Minh Triết, 1999 - 2000).

❖ Tác động của BĐKH đến các nhu cầu nước còn lại

Khí hậu toàn cầu đang nóng lên đã và đang tác động nhiều đến TNN. Ngoài ra khi Trái Đất nóng lên, băng tan nhiều hơn sẽ làm nước biển dâng cao, mặn sẽ xâm nhập sâu hơn ở những vùng đồng bằng thấp khiến nguồn nước ngọt phân bố trên các sông chảy ra biển sẽ bị thu hẹp lại. Tất cả những điều đó sẽ làm suy thoái thêm nguồn nước, khiến không có đủ nước ngọt để phục vụ cho sản xuất và đời sống (IPCC, 2007).

Nguồn TNN của nước ta phân bố không đồng đều, đặc biệt trong điều kiện BĐKH lượng mưa ngày càng giảm đi rõ rệt trong mùa khô; hạn hán; lũ lụt, kèm theo sự bùng nổ dân số khiến nguy cơ thiếu nước ngày càng trở lên gay gắt. Đặc biệt tuy lượng mưa toàn năm có tăng nhưng lượng nước tổn thất do bốc thoát hơi trên lưu vực tăng nhiều do nhiệt độ tăng, dẫn đến lượng dòng chảy không tăng mạnh và nhu cầu nước cho tưới có xu thế tăng lên trên tất cả các lưu vực.

3.5 Kịch bản BĐKH

3.5.1 Khái niệm kịch bản BĐKH

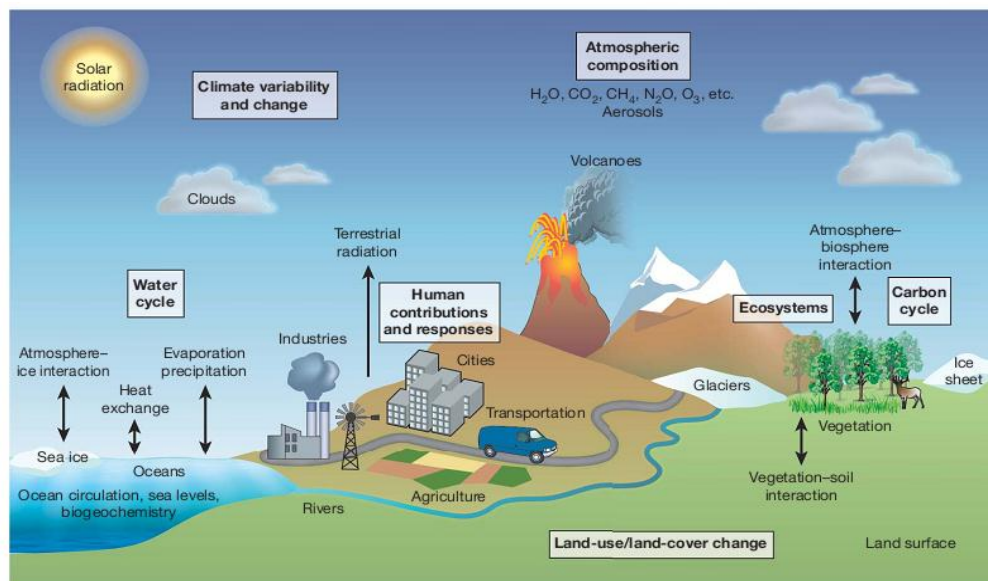
Kịch bản BĐKH (Climate Change Scenario): là giả định có cơ sở khoa học và tính tin cậy về sự tiến triển trong tương lai của các mối quan hệ giữa kinh tế - xã hội, GDP, phát thải KNK, BĐKH và mực nước biển dâng. Kịch bản BĐKH khác với Dự báo thời tiết và dự báo khí hậu vì nó đưa ra quan điểm về mối ràng buộc giữa phát triển và hành động (IPCC, 1995).

3.5.2 Phân loại kịch bản BĐKH Việt Nam

BĐKH hiện nay cũng như trong thế kỷ 21 phụ thuộc chủ yếu vào mức độ phát thải KNK, tức là phụ thuộc vào sự phát triển kinh tế - xã hội. Vì vậy, các kịch bản BĐKH được xây dựng dựa trên các kịch bản phát triển kinh tế - xã hội toàn cầu.

Cơ sở để xác định các kịch bản phát thải KNK là:

1. Sự phát triển kinh tế ở quy mô toàn cầu;
2. Dân số thế giới và mức độ tiêu dùng;
3. Chuẩn mực cuộc sống và lối sống;
4. Tiêu thụ năng lượng và tài nguyên năng lượng;
5. Chuyển giao công nghệ;
6. Thay đổi sử dụng đất; ...



Hình 1.7: Các tác nhân chính hình thành nên BĐKH (Schneider and S.H, 2001)

Các kịch bản BĐKH, nước biển dâng cho Việt Nam đã được xây dựng theo các kịch bản phát thải KNK khác nhau là cao (A2), trung bình (B2, A1B) và thấp (B1).

Kịch bản phát thải cao (A2): mô tả một thế giới không đồng nhất ở quy mô toàn cầu, có tốc độ tăng dân số rất cao, chậm đổi mới công nghệ hoặc sử dụng tối đa năng lượng hóa thạch. Với những nỗ lực phát triển công nghệ thân thiện với khí hậu, đàm phán giảm phát thải KNK và sự chung tay; chung sức của toàn nhân loại trong “liên kết chống lại BĐKH”, có thể hy vọng rằng những kịch bản phát thải cao sẽ có rất ít khả năng xảy ra.

Kịch bản phát thải thấp (B1): mô tả một thế giới phát triển tương đối hoàn hảo theo hướng ít phát thải KNK nhất, tốc độ tăng dân số rất thấp, các thỏa thuận quốc tế nhằm giảm thiểu phát thải KNK được thực hiện đầy đủ và nghiêm túc trên toàn cầu. Tuy nhiên, với cơ cấu kinh tế không đồng nhất giữa các khu vực như hiện nay, cộng với nhận thức và quan điểm rất khác nhau về BĐKH giữa các nước phát triển và các nước đang phát triển, đàm phán quốc tế về BĐKH nhằm ổn định nồng độ KNK gặp rất nhiều trở ngại, kịch bản phát thải thấp (B1) có rất ít khả năng trở thành hiện thực trong thế kỷ 21.

Hơn nữa, vẫn còn nhiều điểm chưa chắc chắn trong việc xác định các kịch bản phát triển kinh tế - xã hội và kèm theo đó là lượng phát thải KNK trong tương lai. Với sự tồn tại các điểm chưa chắc chắn thì các kịch bản BĐKH, nước biển dâng ứng ở cận trên hoặc cận dưới đều có mức độ tin cậy thấp hơn so với kịch bản ở mức trung bình.

Vì những lý do nêu trên, kịch bản BĐKH, nước biển dâng đối với Việt Nam được khuyến nghị sử dụng trong thời điểm hiện nay là kịch bản ứng với mức phát thải trung bình (B2, A1B). Kịch bản B2 (A1B) mô tả dân số tăng liên tục nhưng với tốc độ thấp hơn A2, chú trọng đến các giải pháp địa phương thay vì toàn cầu về ổn định kinh tế - xã hội và môi trường, mức độ phát triển kinh tế trung bình, thay đổi công nghệ chậm hơn so với B1.

❖ Tổ chức Tư vấn Nghiên cứu Nông nghiệp Quốc tế CGIAR

CGIAR (The Consultative Group on International Agricultural Research) được thành lập năm 1971, là một cơ quan quan hệ đối tác toàn cầu, tập hợp các tổ chức khoa

học với các nhà tài trợ nghiên cứu về phát triển bền vững. Mục tiêu của Tổ chức là giảm đói nghèo, cải thiện sức khỏe và dinh dưỡng con người, nâng cao khả năng phục hồi hệ sinh thái thông qua nghiên cứu nông nghiệp, hợp tác và lãnh đạo quốc tế chất lượng cao.

Để tìm hiểu thêm thông tin về CGIAR, truy cập trang web: www.cgiar.org

Đề tài sử dụng nguồn dữ liệu được CGIAR mô phỏng từ kịch bản BĐKH trung bình (A1B) của IPCC, dữ liệu mô phỏng chi tiết từng ngày trong năm thích hợp thiết lập các thông số đầu vào cho mô hình SWAT.

Địa chỉ trang web: <http://gismap.ciat.cgiar.org/MarkSimGCM>

Trên cơ sở kết hợp các yếu tố điều kiện tự nhiên, tình hình kinh tế - xã hội, dân số và mức độ quan tâm đến môi trường cũng như những chiến lược nhằm giảm thiểu tác động của BĐKH toàn cầu, đề tài lựa chọn kịch bản trung bình (A1B) của IPCC làm kịch bản đánh giá sự thay đổi LLDC do ảnh hưởng của BĐKH. Tính toán cho các giai đoạn tương lai của kịch bản từ số liệu của CGIAR, mưa và nhiệt độ được so sánh với giai đoạn 1980 - 1999.

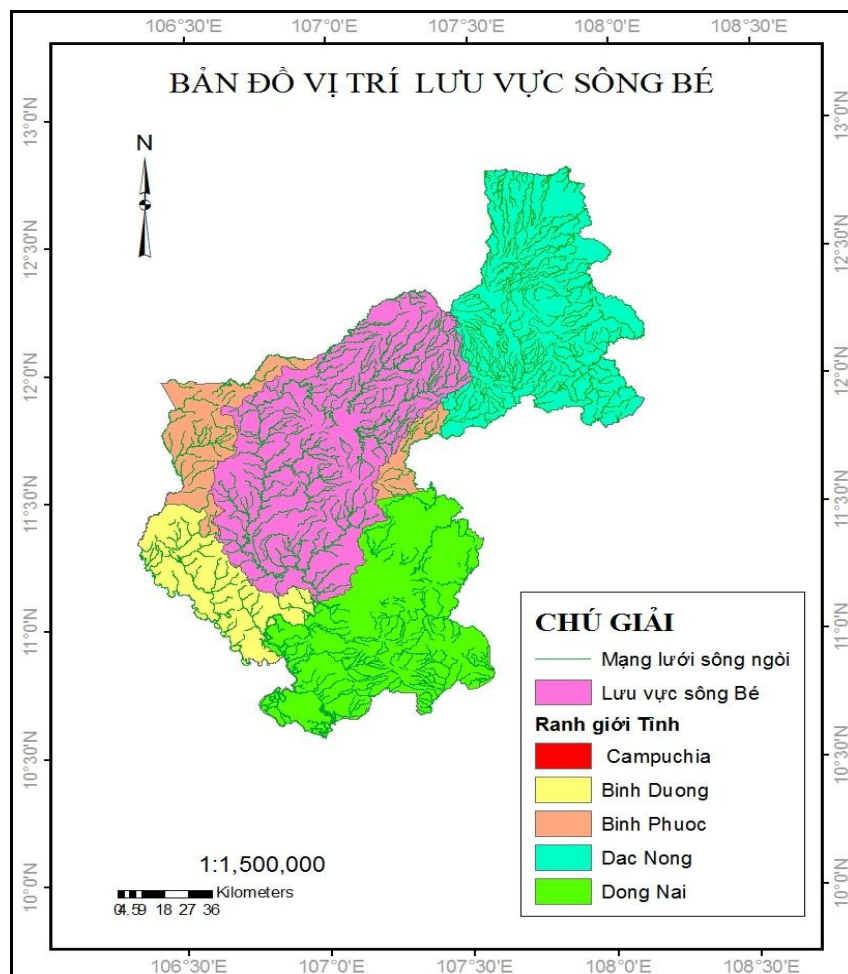
Chương 2

KHU VỰC NGHIÊN CỨU VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ LƯU LƯỢNG DÒNG CHẢY

1. Điều kiện tự nhiên

1.1 Vị trí địa lý

Sông Bé là một phụ lưu lớn nhất trong bốn phụ lưu lớn ở hữu ngạn sông Đồng Nai, do hai nhánh sông Dak Lap và Dak Glun hợp thành. Sông chính có chiều dài 331 km, bắt nguồn từ vùng núi thuộc cao nguyên Xnaro; phần đuôi của dãy Trường Sơn Nam, với các đỉnh núi có cao độ từ 950 đến gần 1.000 m, nằm gần sát biên giới Việt Nam - Campuchia và đổ vào sông Đồng Nai ở Hiếu Liêm.



Hình 2.1: Bản đồ vị trí lưu vực sông Bé

Tổng diện tích lưu vực là 7.650 km², chu vi là 418 km, trong đó diện tích thuộc Tỉnh Bình Phước (5.034 km²), Tỉnh Đak Lak (960 km²), Tỉnh Bình Dương (818,3 km²), Tỉnh Đồng Nai (550,7 km²) và Campuchia (292 km²). Phạm vi lưu vực trải dài trong khoảng tọa độ từ 11°06' - 12°22' độ vĩ Bắc và 106 °35' - 107 °31' độ kinh Đông. Đây là vùng chuyển tiếp giữa cao nguyên với đồng bằng, nối giữa TP. Hồ Chí Minh với Tây Nguyên, có mối quan hệ mật thiết với vành đai kinh tế phía Đông và Đông Nam.

Về ranh giới:

- Phía Bắc: giáp với các sông nhánh của lưu vực sông Mê Kông thuộc Campuchia.
- Phía Đông và Nam: giáp lưu vực sông Đồng Nai.
- Phía Tây: giáp lưu vực sông Sài Gòn.

Đặc điểm hướng dòng chảy sông Bé phù hợp hướng địa hình từ cao đến thấp theo hướng Bắc - Nam. Các sông nhánh gần như chảy theo hướng Đông - Bắc và Tây - Nam. Từ Phước Hòa đến cửa sông, sông chảy theo hướng chính Tây Bắc - Đông Nam.

Bảng 2.1: Các sông nhánh lớn trên lưu vực sông Bé

STT	Tên sông nhánh	Chiều dài (km)	Diện tích lưu vực sông nhánh (km ²)
1	S. Dak Huyt	115	900
2	S. Dak Lap	116	1060
3	S. Dak Glun	110	1145
4	S. Dak Lim	56	127
5	S. Cắn Đơn	17	125
6	S. Rát	95	620
7	S. Dam	33	116
8	S. Rát	60	366
9	S. Sa Cát	40	298
10	S. Mã Đà	74	611
11	S. Bà Hào	25	130
12	S. Nước Trong	33	123
13	S. Giai	37	149

(Nguồn: VQHTLMN, 2002)

Các nhánh hợp thành Sông Bé chảy theo hướng Đông - Tây, qua vùng nước Phước Bình, Phước Long và các Huyện Lộc Ninh, Đồng Phú, Bình Long (Tỉnh Bình Phước). Phần hạ lưu chảy qua Huyện Phú Giáo (Tỉnh Bình Dương) dài khoảng 80 km, hợp lưu với dòng chính sông Đồng Nai ở hạ lưu cách chân thác Trị An 6 km. Đây là sông điển hình của vùng trung du cách xa biển. Các sông suối nhỏ của sông Bé chủ yếu nhập lưu vào dòng chính. Mật độ sông suối trung bình trên lưu vực $0,56 \text{ km/km}^2$. Mật độ phân phối không đều, bên bờ trái là $0,61 \text{ km/km}^2$ và bên bờ phải là $0,45 \text{ km/km}^2$.

1.2 Địa hình

Lưu vực Sông Bé có dạng địa hình thấp dần từ Bắc xuống Nam (thượng lưu xuống hạ lưu dòng chính của sông Bé đến hợp lưu với sông Đồng Nai), gồm nhiều đồi thoải, có đỉnh tròn; bằng, độ dốc trung bình khoảng 3 - 8 độ, cao độ phổ biến từ 150 - 280 m. Sông Bé có bờ dốc đứng quanh co (chênh lệch cao độ từ lòng sông và bờ khoảng 20 m), địa hình còn bị chia cắt bởi nhiều sông; suối nhỏ.

Trong lưu vực này có hai loại địa hình đặc trưng :

- Địa hình vùng núi: chủ yếu ở phần thượng lưu sông Bé, cao độ lưu vực biến đổi từ 60 - 1000 m.
- Địa hình vùng trung du: phân bố chủ yếu vùng trung và hạ du sông Bé, có diện tích chiếm khoảng 30 %. Đặc trưng là gò đồi lượng sóng xen kẽ các đồng bằng nhỏ hẹp ven sông.

1.3 Yếu tố khí tượng - thủy văn

1.3.1 Khí hậu

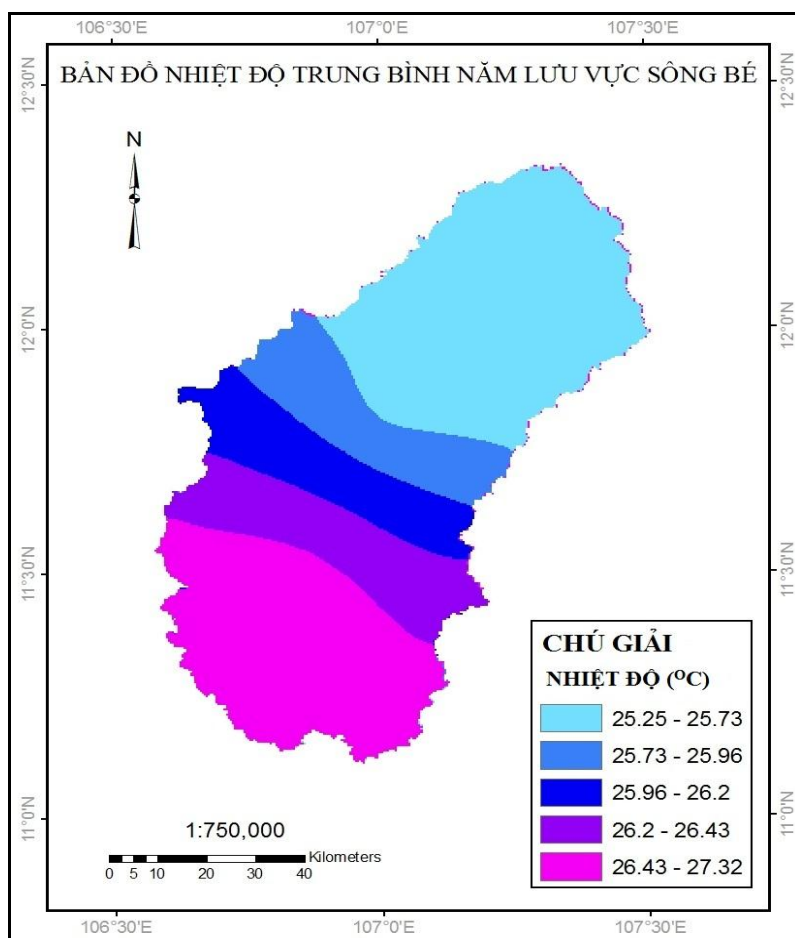
Lưu vực sông Bé nằm trong vùng vừa chịu ảnh hưởng của hoàn lưu tín phong đặc trưng cho đới nội chí tuyến, lại vừa chịu sự chi phối ưu thế của hoàn lưu gió mùa khu vực Đông Nam Bộ. Vị trí và địa hình là hai yếu tố quan trọng định hình tính chất khí hậu của lưu vực. Nhìn chung, toàn lưu vực vẫn chịu ảnh hưởng chung của chế độ khí hậu nhiệt đới gió mùa với hai mùa Đông và Hè.

- Mùa Đông: lưu vực chịu ảnh hưởng chủ yếu của gió mùa Đông - Bắc ứng với khối không khí đã trở thành nhiệt đới hóa tương đối ổn định.

- Mùa Hè: lưu vực lại chịu ảnh hưởng trực tiếp của hai luồng gió mùa Tây - Nam, từ vịnh Bengal vào đầu mùa và từ Nam Thái Bình Dương vào giữa và cuối mùa.

Đặc trưng nổi bật nhất của chế độ khí hậu trên lưu vực là sự phân hóa thành hai mùa mưa - khô tương phản nhau sâu sắc, với mùa mưa tương đối thuận lợi cho sản xuất, ngược lại mùa khô gặp không ít khó khăn do lượng mưa ít; thời tiết nắng nóng kéo dài.

1.3.2 Nhiệt độ



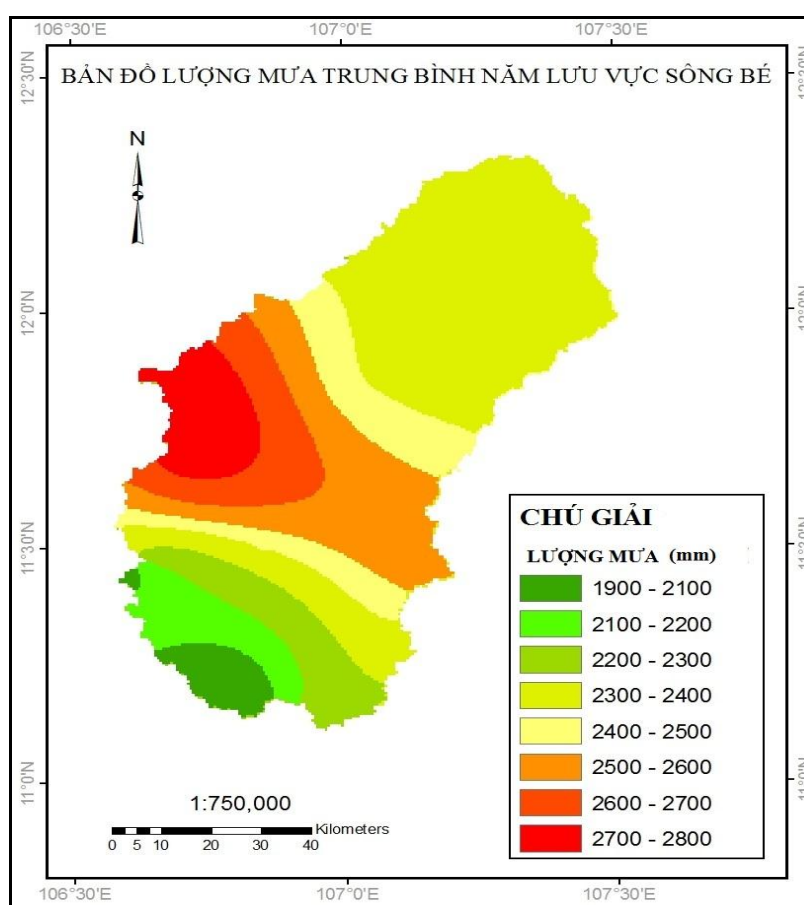
Hình 2.2: Bản đồ nhiệt độ trung bình năm lưu vực sông Bé

Lưu vực sông Bé có nền nhiệt độ cao, nhiệt độ trung bình năm ở các nơi dao động trong khoảng 25,5 - 26,7 °C và biến động nhiệt độ trung bình tháng lớn nhất và nhỏ nhất trong năm từ 20 - 40 °C. Thời gian nhiệt độ cao nhất trong năm thường vào những tháng cuối mùa khô và đầu mùa mưa, từ Tháng III - V với khoảng 27 - 28 °C, trong đó cao nhất là Tháng IV. Thời gian nhiệt độ thấp nhất trong năm vào khoảng từ Tháng

XII - I với 23 - 25 °C. Như vậy, nhìn chung lưu vực sông Bé là một vùng có nền nhiệt độ cao, ít chênh lệch theo không gian (giữa các nơi) và theo thời gian (trong năm).

1.3.3 Lượng mưa

Lượng mưa hàng năm trên lưu vực sông Bé vào loại lớn nhất trên toàn lưu vực hệ thống sông Đồng Nai, từ 2.200 - 2.600 mm, song lại phân bố không đều cả theo không gian và thời gian, mà nguyên nhân chính là do sự chi phối của chế độ gió mùa và yếu tố địa hình. Theo không gian, lượng mưa có xu hướng tăng dần từ Đông sang Tây và từ Nam (hạ lưu) sang Bắc (thượng lưu).



Hình 2.3: Bản đồ lượng mưa trung bình năm lưu vực sông Bé

Hàng năm, mưa được phân thành hai mùa gồm mùa mưa và mùa khô, tương phản nhau sâu sắc.

- Mùa mưa kéo dài 6 tháng, từ Tháng V - X, trùng với giai đoạn gió mùa Tây Nam, với lượng mưa chiếm từ 85 - 90 % tổng lượng mưa năm và mỗi tháng từ 200 - 400 mm, trong đó 3 Tháng VII; VIII; IX có lượng mưa lớn hơn hết.

- Trong mùa khô, lượng mưa còn rất nhỏ, chiếm từ 10 - 15 % tổng lượng mưa năm và biến động rất mạnh ở những tháng đầu và cuối mùa. Những tháng có lượng mưa ít nhất là Tháng I; II hàng năm, với tổng lượng mưa trong các tháng này chỉ chiếm từ 0,5 - 1,5 % lượng mưa cả năm.

Số ngày mưa trung bình cả năm ở các nơi trên lưu vực không đồng đều nhau và biến đổi khá lớn. Nơi có số ngày mưa nhiều nhất là vùng phía Đông lưu vực, kéo dài từ Phước Long đến Đồng Phú, với số ngày mưa trung bình hàng năm trung bình từ 160 - 170 ngày và trong các tháng mùa mưa, mỗi tháng có từ 18 - 25 ngày mưa. Nơi có số ngày mưa nhỏ là vùng phía Tây lưu vực và thung lũng sông, với số ngày mưa trung bình hàng năm từ 100 - 120 ngày.

1.3.4 Độ ẩm

Độ ẩm trung bình năm ở các nơi trên lưu vực nằm trong khoảng 80 - 82 %. Độ ẩm lớn thường rơi vào các tháng trong mùa mưa (Tháng V - X, đạt từ 80 - 90 %) và độ ẩm nhỏ vào các tháng mùa khô (Tháng I - III, đạt từ 70 - 75 %).

Bảng 2.2 : Độ ẩm trung bình tháng tại một số trạm đo trên lưu vực sông Bé (đơn vị %)

Tên trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TB năm
Đồng Phú	74,00	68,71	70,14	74,00	82,00	85,86	87,14	86,29	86,29	85,43	82,57	74,00	79,70
Phước Long	71,20	70,20	69,81	73,85	81,85	86,10	87,55	88,55	88,95	86,20	79,95	74,40	79,88
Xuân Lộc	75,85	73,10	72,25	75,20	81,40	85,30	86,50	86,90	87,95	87,40	83,95	80,15	81,33
Sở Sao	77,87	75,27	73,87	76,00	82,13	86,53	87,71	86,07	88,93	87,93	85,50	81,64	82,45
Đắk Nông	76,83	73,33	76,00	80,17	86,67	88,83	90,00	91,17	89,50	85,50	83,17	77,50	83,22

(Nguồn: VQHTLMN, 2002)

1.3.5 Bốc hơi

Lượng bốc hơi piche biến đổi các nơi trên lưu vực vào khoảng từ 1.000 - 1.200 mm. Trong các tháng mùa mưa, do nắng ít; nhiệt độ giảm; độ ẩm cao nên lượng bốc hơi trong các tháng này thường nhỏ, chỉ từ 40 - 70 mm, nhỏ nhất vào Tháng IX (46 - 57 mm). Lượng bốc hơi lớn nhất thường vào các tháng mùa khô, từ Tháng I- IV, từ 110 - 170 mm, lớn nhất vào Tháng III với các nơi đều đạt trên 150 mm, do trong những tháng này trời nhiều nắng; nhiệt độ cao; độ ẩm thấp; gió thổi mạnh.

Bảng 2.3: Lượng bốc hơi trung bình tháng tại một số trạm đo trên lưu vực sông Bé (đơn vị mm)

Tên trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TB năm
Đồng Phú	138,04	142,84	166,99	136,82	91,64	60,86	56,45	52,81	48,57	57,65	73,96	106,32	94,41
Phước Long	125,68	132,26	150,24	127,17	91,46	88,78	58,61	57,36	49,21	58,03	81,63	109,71	94,18
Xuân Lộc	111,17	125,41	160,57	135,57	97,29	72,09	67,42	65,95	55,84	53,95	63,08	83,61	91,00
Sở Sao	113,85	123,45	150,77	136,64	93,56	65,18	63,41	69,33	57,00	56,65	66,00	89,05	90,41
Đắk Nông	105,21	112,60	120,02	94,38	67,34	51,16	49,89	43,36	46,42	56,06	78,02	95,92	76,70

(Nguồn: VQHTLMN, 2002)

1.3.6 Số giờ nắng

Tùy từng nơi trên lưu vực mà tổng số giờ nắng trung bình hàng năm vào khoảng 2.360 - 2.600 giờ. Những tháng có số giờ nắng cao thường từ Tháng XII - IV, cao nhất vào Tháng III, trên 250 giờ. Trong các tháng mùa mưa, tháng có số giờ nắng ít nhất là Tháng IX, trên dưới 140 giờ.

Bảng 2.4: Số giờ nắng trung bình tháng tại một số trạm đo trên lưu vực sông Bé (đơn vị mm)

Tên trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TB năm
Đồng Phú	8,09	8,29	7,92	7,67	6,14	5,91	5,37	4,86	4,81	6,28	7,15	6,86	6,61
Phước Long	9,02	9,09	8,41	8,07	7,07	5,87	5,86	5,27	4,76	6,09	7,11	7,74	7,03
Xuân Lộc	7,79	8,44	8,65	7,85	6,54	5,97	6,22	5,46	5,15	5,65	6,12	6,74	6,71
Sở Sao	7,77	8,35	8,40	8,03	6,77	5,91	6,19	5,80	5,19	6,13	6,35	6,85	6,81
Đắk Nông	8,15	8,19	6,61	6,95	5,67	4,90	4,31	3,42	3,93	5,14	6,48	5,10	5,74

(Nguồn: VQHTLMN, 2002)

1.3.7 Gió

Cũng như các vùng khác của miền Đông Nam Bộ, lưu vực sông Bé chịu ảnh hưởng của hai luồng gió chính là gió mùa mùa Đông và gió mùa mùa Hè.

- Mùa Đông: chịu ảnh hưởng chủ yếu của gió mùa mùa Đông từ Tháng XI - IV, chủ yếu là hướng Bắc và Đông Bắc. Đặc trưng nguyên thủy của khối không khí này là khô, độ ẩm thấp và khá lạnh. Song, trên lưu vực nhiệt độ tuy có thấp nhưng không quá lạnh, thậm chí có những ngày; những tháng nóng và khô.

- Mùa Hè: từ Tháng V - X, lưu vực chịu ảnh hưởng chính của gió mùa Tây Nam, từ vịnh Bengal sang vào đầu mùa, từ Nam Thái Bình Dương lên vào giữa và cuối mùa.

Tốc độ gió trung bình năm trên lưu vực biến đổi trong khoảng từ 1,0 - 2,0 m/s. Trong đó, vùng cao Phước Long; Bù Đăng và Dak R'Lap có tốc độ gió lớn nhất đạt trên dưới 2,0 m/s hầu hết các tháng trong năm, lớn nhất 2,1 m/s vào Tháng III và nhỏ nhất 1,5 m/s vào Tháng X. Trong khi đó các nơi khác trên lưu vực tốc độ gió trung bình tháng chỉ đạt từ 0,7 - 1,4 m/s, lớn nhất từ 1,3 - 1,4 m/s (Tháng III) và nhỏ nhất chỉ 0,7 m/s (Tháng X). Tốc độ gió lớn nhất trong năm tùy từng nơi có thể đạt tới 16 - 20 m/s.

Bảng 2.5: Tốc độ gió trung bình tháng tại một số trạm đo trên lưu vực sông Bé (đơn vị m/s)

Tên trạm	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TB năm
Đồng Phú	1,00	1,14	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,04
Phước Long	1,89	1,86	2,07	1,95	1,90	1,99	2,07	2,06	1,69	1,47	1,75	2,03	1,89
Xuân Lộc	1,27	1,73	1,93	1,85	1,49	1,53	1,73	1,60	1,29	1,06	0,99	1,06	1,46
Sở Sao	1,21	1,34	1,57	1,43	1,21	1,24	1,29	1,69	1,28	1,13	1,22	1,10	1,31

(Nguồn: VQHTLMN, 2002)

1.3.8 Thổ nhưỡng

Lưu vực sông Bé tuy không lớn nhưng có nhiều loại đất, khá phong phú, thích hợp với nhiều loại cây trồng, đặc biệt là các loại cây công nghiệp dài ngày. Theo Nguyễn Duy Liêm (2011), các loại đất chính trên lưu vực sông Bé bao gồm:

- Đất nâu đỏ: có diện tích 394.885,38 ha, chiếm 54,21 % diện tích lưu vực.
- Đất xám feralit: có diện tích 261.478,41 ha, chiếm 18,4 % diện tích lưu vực.
- Đất nâu vàng: có diện tích 60.478,27 ha, chiếm 8,30 % diện tích lưu vực.
- Các loại đất còn lại bao gồm đất phù sa chua, đất nâu thẫm trên bazan, đất gây chua, đất đá bọt điển hình, đất lầy thụt và đất thuộc ao hồ, sông suối chiếm diện tích 11.592,22 ha (1,59 %).

1.3.9 Thảm thực vật

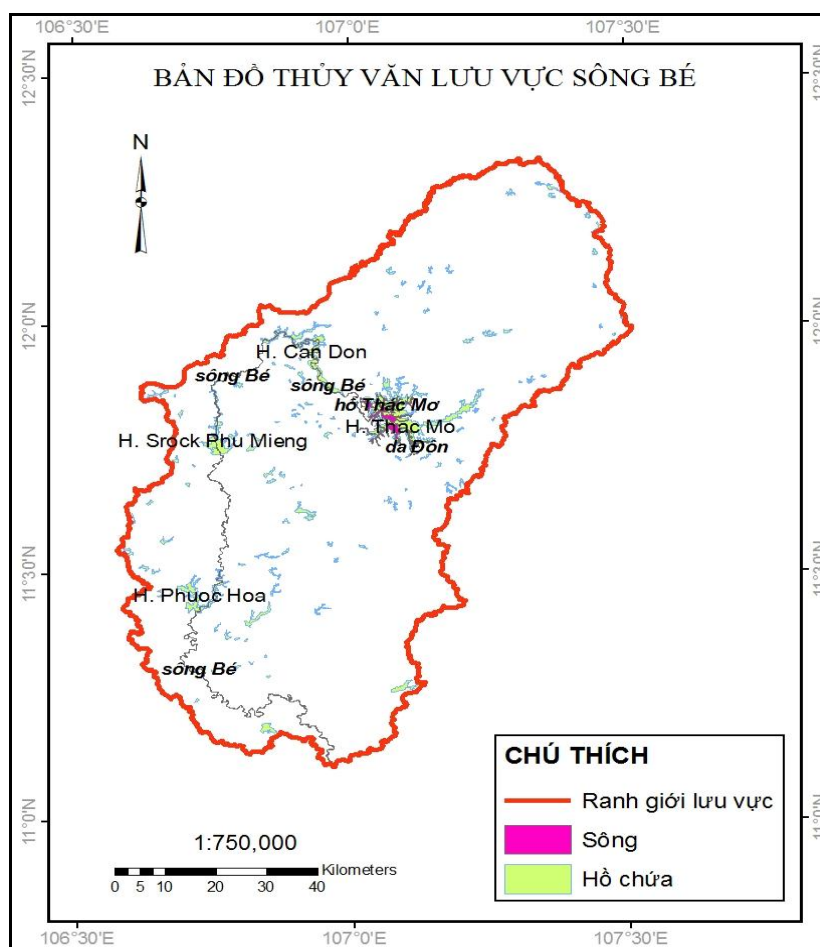
Diện tích đất lâm nghiệp hiện nay trên lưu vực vào khoảng 383.875 ha, chiếm 50,2 % diện tích lưu vực, tập trung chủ yếu ở đầu nguồn và phía Đông lưu vực.

Tiềm năng rừng trên lưu vực cũng rất lớn, song do việc mở rộng diện tích canh tác và khai thác bừa bãi, đặc biệt trong những thập niên 80; 90 nên diện tích rừng bị thu hẹp đáng kể. Tính đến năm 2005, rừng trên lưu vực sông Bé chỉ chiếm khoảng 35,5 %

tổng diện tích tự nhiên. Ngoài rừng tự nhiên, rừng trồng cũng có diện tích lớn chủ yếu là các loại cây lâm nghiệp làm nguyên liệu cho công nghiệp chế biến và xuất khẩu có giá trị. Nhìn chung, rừng trên lưu vực bị tàn phá nặng nề, nhiều nơi chỉ còn đồi trọc, nên một số nơi tình trạng môi trường bị xuống cấp nghiêm trọng và hậu quả là đất bị xói mòn; rửa trôi, đặc biệt dễ xảy ra lũ quét ảnh hưởng đến tính mạng và tài sản của người dân (Cục Quản lý TNN thuộc Bộ TNMT và VQHTLMN, 2007).

1.3.10 Thủy văn

Lưu vực sông Bé có diện tích 7.650 km², LLDC là 255 m³/s (8.53 tỷ m³), chiều dài sông chính 331 km, hệ số uốn khúc 1,4 và độ dốc lòng sông là 0,0032. Đoạn thượng nguồn, sông chảy gần như theo hướng Đông Bắc - Tây Nam, sau đó chuyển ngược lên theo hướng Đông Nam - Tây Bắc, tiếp đó đi theo hướng gần với Bắc - Nam và cuối cùng là hướng Tây Bắc - Đông Nam trước khi nhập vào dòng chính sông Đồng Nai.



Hình 2.4: Bản đồ thủy văn lưu vực sông Bé

Giống như phân bố mưa, phân bố dòng chảy cũng rất không đồng đều trên lưu vực. Nơi có lượng dòng chảy lớn nhất là phần thượng nguồn và phía Đông lưu vực, đặc biệt là phần thượng nguồn nhánh Đak Glun và các suối ở phía Đông của Đồng Phú, với module dòng chảy có thể đạt từ 45 - 55 l/s.km². Nơi có lượng dòng chảy nhỏ là vùng phía Tây Nam hạ lưu với module dòng chảy đạt khoảng 28 - 30 l/s.km².

Bảng 2.6: Một số đặc trưng dòng chảy chính ở lưu vực sông Bé

STT	Vị trí	F (km ²)	X ₀ (mm)	Y ₀ (mm)	M ₀ (l/s.km ²)	Q ₀ (m ³ /s)	W ₀ (10 ⁹ m ³)
1	Trạm thủy văn Phước Long	2200	2583	1467	46,81	103,0	3,249
2	Khu giữa Phước Hòa – Phước Long	3163	2335	969	35,31	111,7	3,523
3	Trạm thủy văn Phước Hòa	5363	2430	1160	40,03	214,7	6,772
4	Lưu vực đến cửa sông Bé	7563	2390	1117	35,96	272,0	8,578

(Nguồn: VQHTLMN, 2002)

Chi chú:

- F diện tích lưu vực (km²);
- X₀ lưu lượng bình quân nhiều năm (mm);
- Y₀ dòng chảy bình quân nhiều năm (mm);
- M₀ module dòng chảy (l/s.km²);
- Q₀ lưu lượng dòng chảy bình quân nhiều năm (m³/s);
- W₀ tổng lượng dòng chảy (10⁹m³).

1.4 Kinh tế - xã hội

1.4.1 Dân cư, xã hội

Dân số trên toàn lưu vực vào khoảng 1,6 triệu người, trong đó dân cư thành thị chiếm khoảng 16 % (Tổng cục Thống kê, 2009). Dân cư tập trung chủ yếu ở các khu công nghiệp, khu kinh tế.

Có 40 dân tộc sống trên diện tích lưu vực, đông nhất là người Kinh (81%), người Xtiêng là dân tộc bản địa của khu vực Đông Nam Bộ (10 %), người Tày và người Nùng là các dân tộc có nguồn gốc phía Bắc di cư vào (5 %) và còn lại là các dân tộc khác.

1.4.2 Hiện trạng phát triển kinh tế

Kinh tế trên lưu vực phát triển nhanh với nhiều khu công nghiệp, khu kinh tế và đồn điền. Lợi thế của lưu vực là phần lớn diện tích đất khá tốt, phù hợp với nhiều loại cây công nghiệp, nông nghiệp có giá trị cao.

Trên lưu vực sông Bé, có nhiều nguồn tài nguyên khoáng sản. Bên cạnh đó, tiềm năng du lịch của lưu vực tương đối dồi dào, có nét đặc thù riêng.

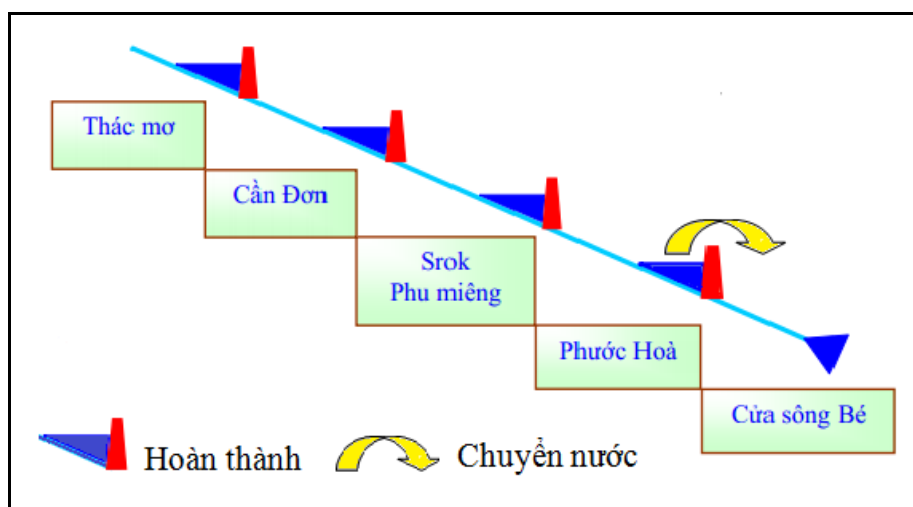
Nông - lâm nghiệp là thế mạnh trong lưu vực, tiềm năng phát triển ngành này rất lớn. Diện tích trồng cây công nghiệp liên tục gia tăng. Các cây trồng chủ yếu là cao su, điều, cà phê và tiêu.

Các ngành công nghiệp chủ yếu là công nghiệp chế biến, công nghiệp khai thác và các loại khác không đáng kể. Sản phẩm chủ yếu của ngành công nghiệp gồm đá khai thác, thực phẩm chế biến, gỗ,...

1.5 Hiện trạng khai thác TNN trên lưu vực sông Bé

Sông Bé giữ vai trò khá độc lập trên một lưu vực riêng của hệ thống sông Đồng Nai. Nó cung cấp nguồn nước cho sinh hoạt, sản xuất,... và góp phần nuôi sống người dân trên lưu vực sông từ bao đời nay. Tiềm năng lớn nhất là đem lại nguồn năng lượng điện vùng kinh tế trọng điểm phía Nam. Nguồn nước sông Bé không chỉ cung cấp cho các nhu cầu phát triển trong lưu vực mà còn cho vùng lân cận và hạ lưu.

1.5.1 Tiềm năng thủy điện:



Hình 2.5: Sơ đồ bậc thang thủy điện trên sông Bé

Lưu vực sông Bé có địa hình bậc thang nên có tiềm năng lớn về thủy điện. Hiện nay, trên lưu vực sông Bé đã được đầu tư xây dựng xong bốn công trình thủy điện gồm Thác Mơ, Cần Đơn, Srok Phu Miêng, Phước Hòa hòa vào lưới điện quốc gia để đáp ứng nhu cầu sử dụng điện của cả nước, đồng thời cấp nước cho nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội cho vùng hạ du. Việc đầu tư xây dựng bốn nhà máy thủy điện nêu trên, đặc biệt là thủy điện Phước Hòa trên sông Bé được đánh giá là hệ thống khai thác hoàn chỉnh nhất về bậc thang thủy điện trong cả nước.

1.5.2 Tiềm năng cung cấp nước cho tưới tiêu và sinh hoạt

Với tổng lượng nước trung bình từ 5 - 8 tỷ m³ hàng năm, ngoài việc đáp ứng nhu cầu cung cấp điện, các công trình hồ chứa nhằm cung cấp nước cho hoạt động sản xuất và sinh hoạt. Ngoài ra các sông suối nhỏ trên lưu vực có tiềm năng xây dựng các hồ chứa hoặc đập dâng nhằm khai thác nguồn nước. Hiện nay, trong quy hoạch dự kiến xây dựng khoảng 40 hồ chứa nhằm đáp ứng cho nhu cầu sử dụng.

Sông Bé được đánh giá là một con sông khai thác khá triệt để tiềm năng nguồn nước mặt trong lưu vực khá dồi dào. Tuy nhiên do TNN trong vùng phân bố không đồng đều theo không gian và thời gian nên xảy ra nguy cơ thiếu hụt nước hoặc không đảm bảo các yêu cầu sử dụng nước, nhất là mùa khô. Đây là một vấn đề bất lợi cho việc sử dụng nguồn nước mặt cho sinh hoạt và phát triển sản xuất. Hiện nay và trong tương lai nguồn nước trong sông Bé được sử dụng với nhiều mục đích và điều tiết cho lưu vực lân cận nên vấn đề quản lý nguồn nước sông Bé là rất cần thiết.

Bảng 2.7: Tiềm năng cung cấp nước của các hồ trên sông Bé

STT	Tên hồ chứa	Diện tích tưới (ha)
1	Thác Mơ	7.500
2	Cần Đơn	6.500
3	Srok Phu Miêng	2.500
4	Phước Hòa	57.600

(Nguồn: VQH TLMN, 2002)

1.5.3 Tiềm năng và nhu cầu sử dụng nước lưu vực sông Bé

Lưu vực sông Bé có nguồn nước dồi dào trong hệ thống sông Đồng Nai. Theo nghiên cứu VQHTLMN (2007), LLDC trung bình hàng năm trên lưu vực là $255 \text{ m}^3/\text{s}$ và tổng lượng nước mặt hàng năm trên lưu vực nhận được khoảng 8 triệu m^3 . Với tiềm năng phong phú nói trên, nguồn nước lưu vực được sử dụng để đáp ứng nhu cầu nước không chỉ của các tỉnh nằm trên lưu vực mà còn cho các địa phương lân cận.

Theo tài liệu nghiên cứu (Tô Văn Trường và nnk, 2008), các hồ dùng nước tại các bậc thang trên Sông Bé hiện tại và đến năm 2020 bao gồm nhu cầu tưới nước cho nông nghiệp, nhu cầu nước cho thủy điện, nhu cầu chuyển nước cho Hồ Dầu Tiếng, nhu cầu cung cấp nước cho nhà máy nước Nam Bình Dương và dòng chảy môi trường cho vùng hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai.

Tuy nhiên trong những năm gần đây, tình trạng thiếu nước cục bộ vẫn xảy ra trên lưu vực sông Bé. Nguyên nhân là do nhu cầu sử dụng nước ngày một tăng cao dưới áp lực gia tăng dân số và phát triển kinh tế - xã hội.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Phương tiện - phương pháp nghiên cứu

2.1.1 Phương tiện nghiên cứu

- Địa điểm vùng nghiên cứu: lưu vực sông Bé.
- Trang thiết bị và phần mềm: máy vi tính, phần mềm Arcgis 9.3 và phần mềm SWAT.
- Nguồn dữ liệu: đề tài sử dụng các dữ liệu bao gồm không gian và thuộc tính được thu thập bởi VQHTLMN từ năm 1979 - 2007, dữ liệu được CIGAR mô phỏng theo kịch bản BĐKH B2 của IPCC từ 2008 - 2030.

2.1.2 Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp chính được sử dụng trong luận văn gồm:

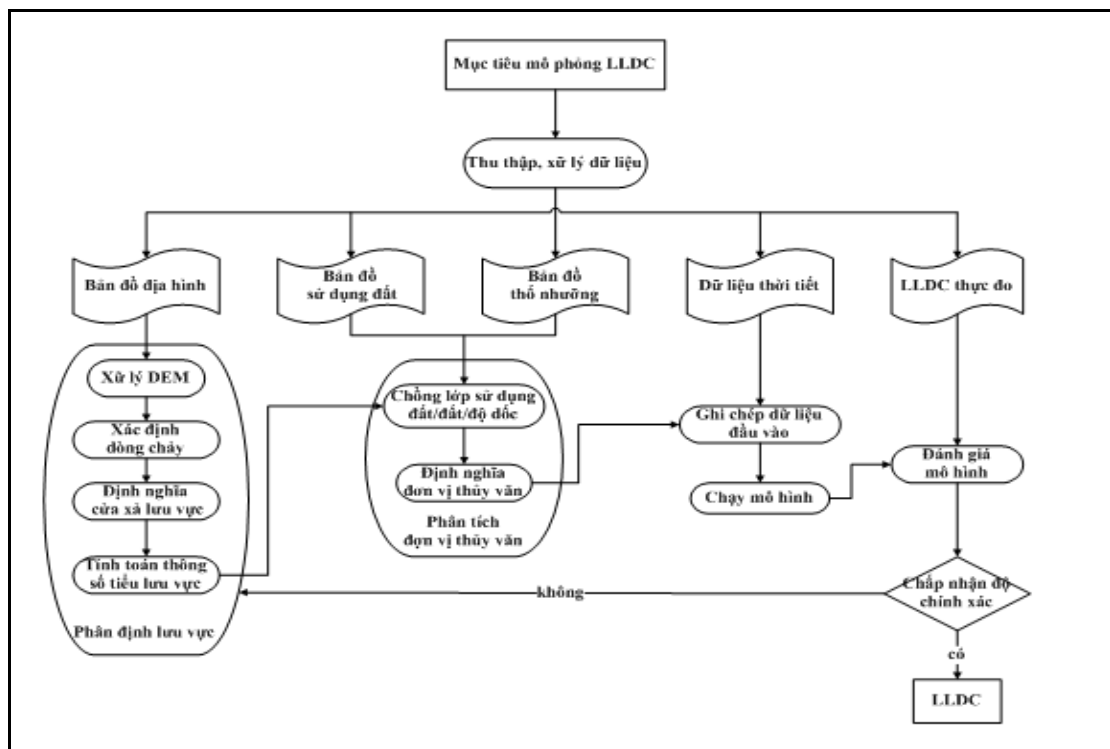
- Phương pháp phân tích thống kê: thu thập, tổng hợp, hồi cứu và phân tích các kết quả đã nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến đề tài.

- Phương pháp GIS: biên tập bản đồ, tích hợp dữ liệu không gian, dữ liệu thuộc tính và cung cấp dữ liệu đầu vào cho mô hình SWAT, hiển thị kết quả chạy mô hình và kết quả nghiên cứu.
- Phương pháp mô hình SWAT: thiết lập mô hình, giai đoạn 1979 - 2007 (tính toán LLDC và kiểm định; đánh giá kết quả mô hình), dự báo BĐKH (mô phỏng LLDC từ 2008 - 2030).

2.2 Mô phỏng LLDC trong SWAT từ năm 1979 - 2007

Tiến trình thực hiện bao gồm các bước chính: phân định lưu vực, phân tích đơn vị thủy văn, ghi chép dữ liệu đầu vào, chạy mô hình và đánh giá mô hình.

Sơ đồ mô phỏng LLDC trên lưu vực bằng mô hình SWAT (các bước chạy mô hình được trình bày chi tiết trong phụ lục 1):



Hình 2.6: Quá trình mô phỏng LLDC

2.2.1 Thu thập dữ liệu

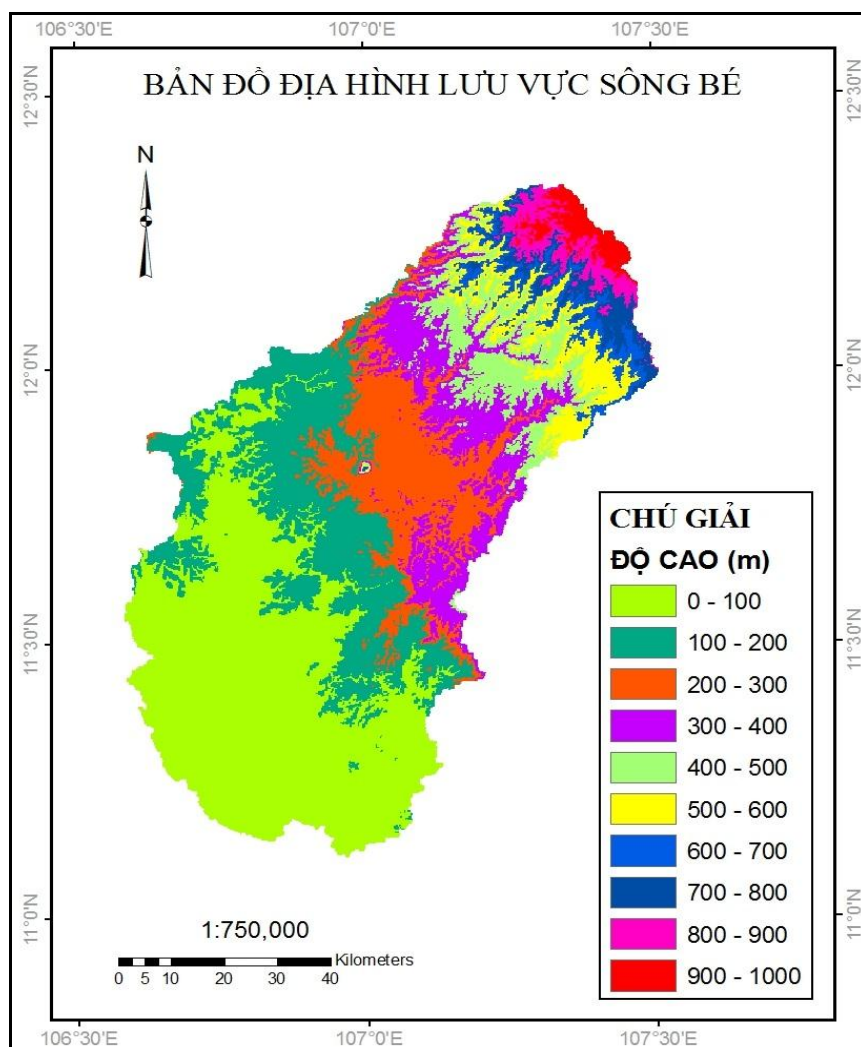
Để phục vụ mục đích tính toán LLDC lưu vực sông Bé, các lớp số liệu đầu vào đã được thu thập và xử lý trên phần mềm Arcgis 9.3, bao gồm dữ liệu không gian và dữ liệu thuộc tính.

- Dữ liệu không gian: bản đồ địa hình, bản đồ sử dụng đất, bản đồ thổ nhưỡng.
- Dữ liệu thuộc tính: dữ liệu thời tiết, LLDC thực đo.

Trước khi chạy mô hình, tất cả các dữ liệu đều được thiết lập đúng theo yêu cầu của mô hình SWAT.

a. Dữ liệu địa hình

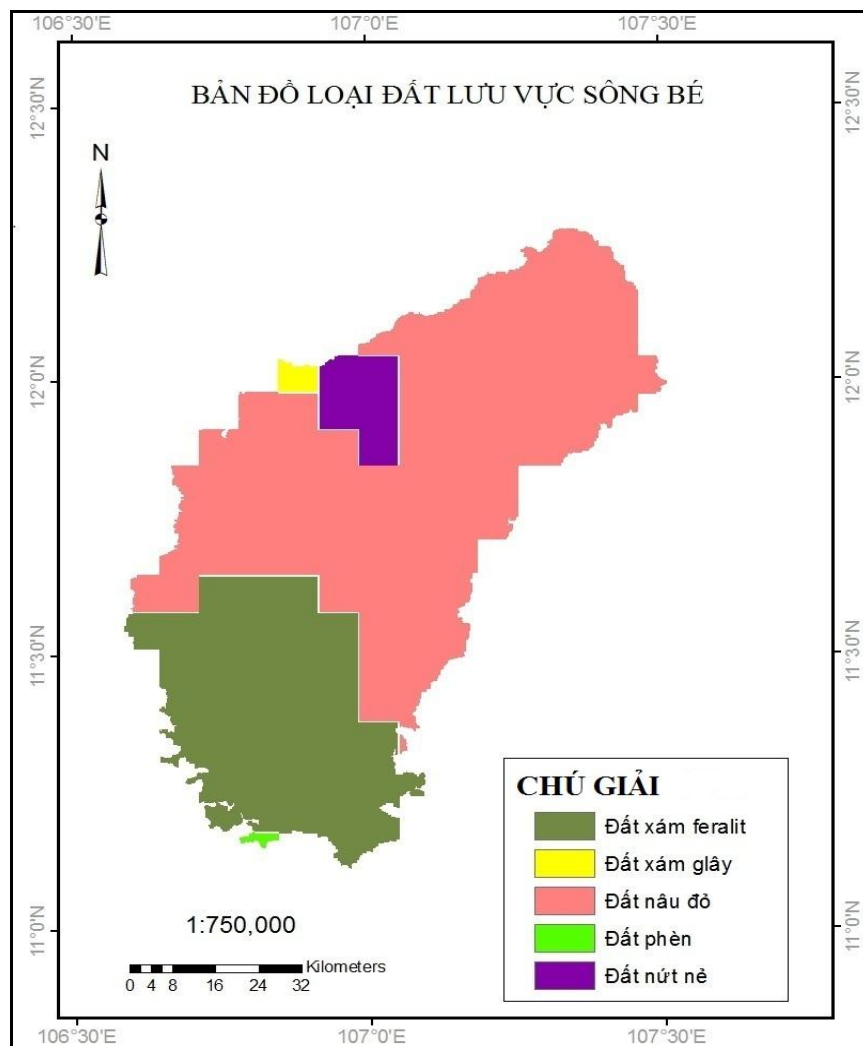
Dữ liệu địa hình của lưu vực sông Bé được cung cấp bởi VQHTLMN, thể hiện dưới dạng đường đồng mức, với khoảng cao đều nhỏ nhất là 5 m. Trước khi đưa vào mô hình SWAT để mô phỏng mạng lưới dòng chảy của lưu vực, dữ liệu này đã được chuyển đổi sang dạng mô hình độ cao số (DEM) với độ phân giải không gian 5 m.



Hình 2.7: Bản đồ địa hình lưu vực sông Bé (độ cao)

b. Dữ liệu thổ nhưỡng

Các thông số thổ nhưỡng cần thiết cho quá trình mô phỏng thủy văn trong SWAT được chia thành hai nhóm, tính chất vật lý và tính chất hóa học của đất. Đối với nghiên cứu này, dữ liệu đất lưu vực sông Bé được lấy từ bản đồ đất toàn cầu của FAO (1995) ở độ phân giải không gian 10 km, bao gồm hai lớp đất (0 - 30 cm và 30 - 100 cm) cùng với tính chất vật lý và hóa học của đất.



Hình 2.8: Bản đồ loại đất lưu vực sông Bé

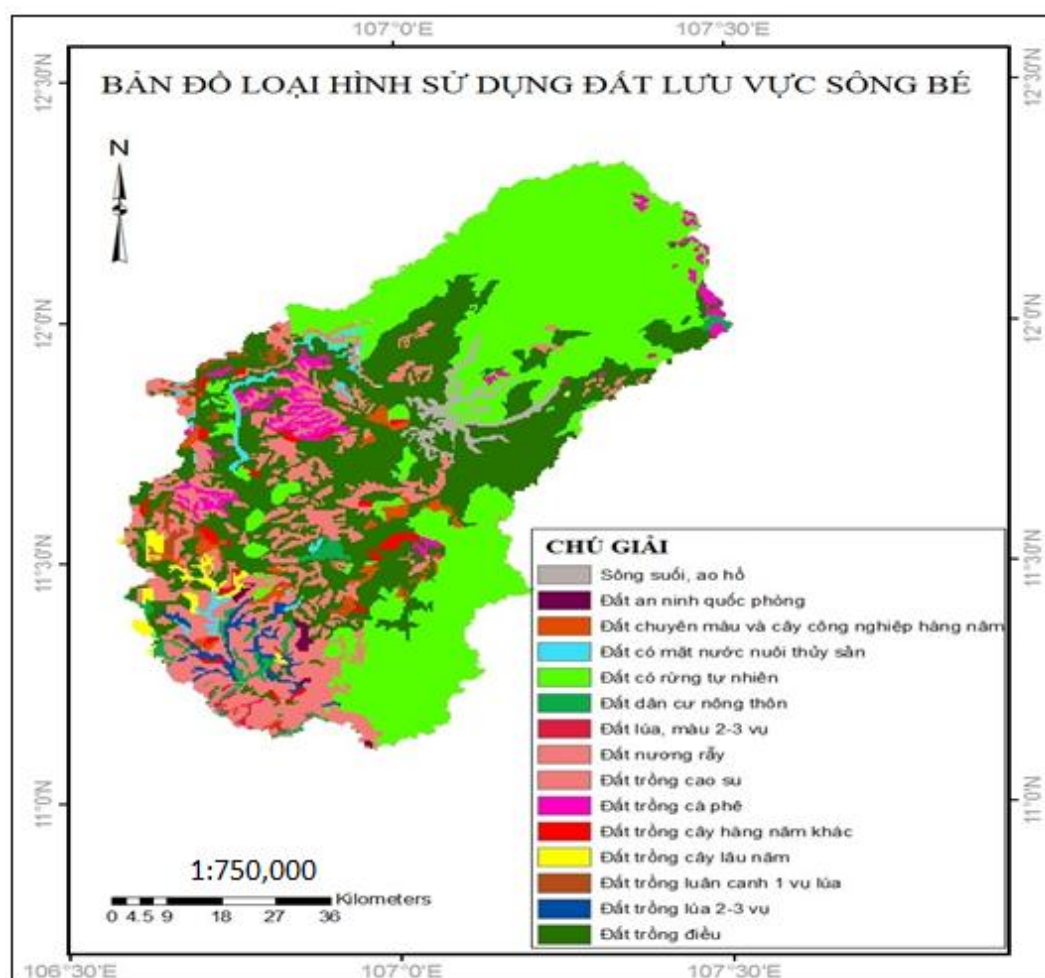
Bảng 2.8: Các loại đất trên lưu vực sông Bé (theo FAO,1995)

STT	Tên Việt Nam	Tên FAO 74	Ký hiệu SWAT	Diện tích (ha)	Diện tích(%)
1	Đất xám feralit	Ferric Acrisols	Af	218.297,73	29,95
2	Đất xám glây	Gleyic Acrisols	Ag	16.230,12	2,23
3	Đất nâu đỏ	Rhodic Ferralsols	Fr	465.378,09	63,85
4	Đất phèn	Thionic Fluvisols	Jt	876,80	0,12
5	Đất nứt nẻ	Pellic Vertisols	Vp	28.024,51	3,85
Tổng cộng				728.806,45	100

(Nguồn: VQHTLMN, 2007)

c. Dữ liệu sử dụng đất

Bản đồ sử dụng đất năm 1993 của lưu vực sông Bé với 15 loại hình sử dụng đất khác nhau, được phân loại lại theo bảng mã sử dụng đất trong SWAT.



Hình 2.9: Bản đồ loại hình sử dụng đất lưu vực sông Bé

Bảng 2.9: Các loại hình sử dụng đất trên lưu vực sông Bé

STT	Tên Việt Nam	Tên theo SWAT	Kí hiệu	Diện tích (ha)	Diện tích (%)
1	Sông suối ao hồ	Water	WATR	13680,29	0,73
2	Đất an ninh quốc phòng	Institutional	UINS	2175,94	0,12
3	Đất chuyên màu và cây công nghiệp	Agricultural Land-Row Crops	AGRR	17150,99	0,91
4	Đất có mặt nước nuôi thủy sản	Water	WATR	8583,23	0,46
5	Đất có rừng tự nhiên	Forest-evergreen	FRSE	1156312,23	61,62
6	Đất dân cư nông thôn	Residential-Low Density	URLD	97323,74	5,19
7	Đất lúa+màu 2-3 vụ	Rice	RICE	2007,13	0,11
8	Đất nương rẫy	Agricultural Land-Generic	AGRL	10051,53	0,54
9	Đất trồng cao su	Rubber Trees	RURR	182550,16	9,73
10	Đất trồng cà phê	Eragrostis Teff	COFF	101655,63	5,42
11	Đất trồng cây hàng năm khác	Agricultural Land-Row Crops	AGRR	7990,42	0,43
12	Đất trồng cây lâu năm	Agricultural Land-Generic	ARGL	30559,13	1,63
13	Đất trồng luân canh 1 lúa -1 màu	Agricultural Land-Generic	ARGL	8927,52	0,48
14	Đất trồng lúa 2-3 vụ	Rice	RICE	12183,29	0,65
15	Đất trồng điều	Agricultural Land-Generic	AGRL	258372,75	13,77
Tổng				1876516,76	100

d. Dữ liệu thời tiết

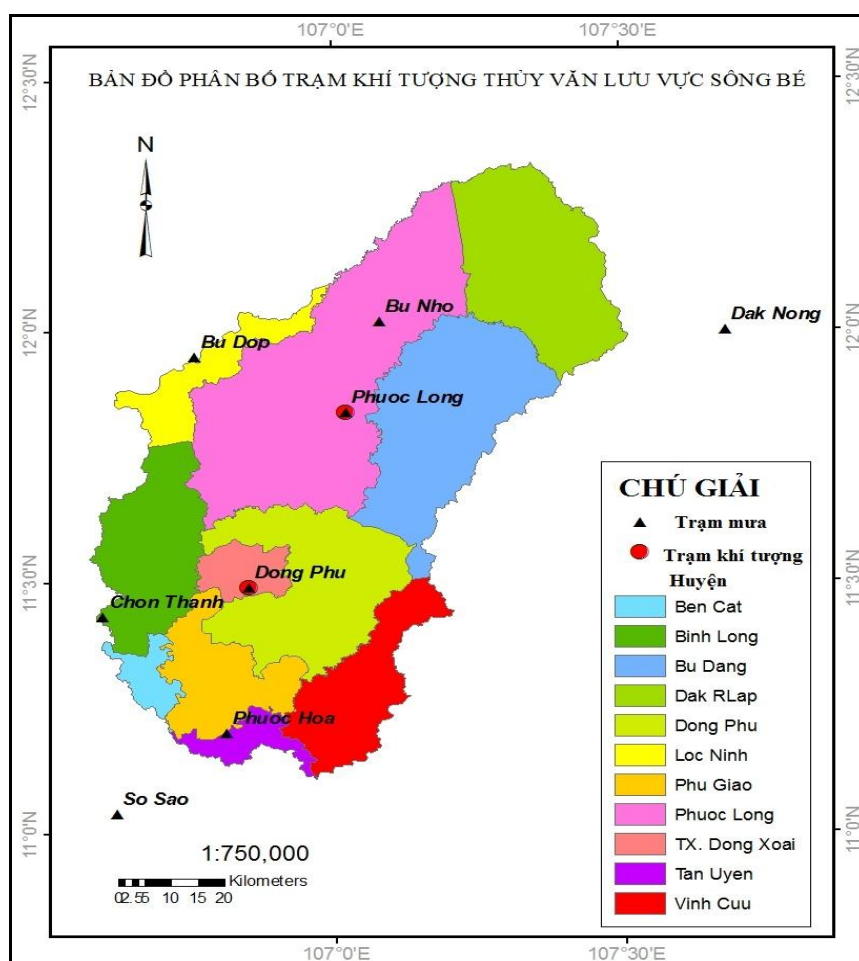
Khí hậu của lưu vực cung cấp năng lượng, độ ẩm và xác định tầm quan trọng tương đối của các thành phần trong chu trình thủy văn. Dữ liệu thời tiết cần thiết cho SWAT bao gồm lượng mưa ngày, nhiệt độ không khí trong ngày lớn nhất; nhỏ nhất, bức xạ Mặt Trời, tốc độ gió và độ ẩm tương đối. Trong đó các thông số lượng mưa hàng ngày, nhiệt độ không khí trong ngày lớn nhất; nhỏ nhất là yêu cầu bắt buộc, các thông số còn lại tùy vào điều kiện có thể có hay không. Những dữ liệu này có thể là dữ liệu thu được từ các trạm khí tượng hoặc dữ liệu mô phỏng.

Dựa vào nguồn dữ liệu thu thập được từ VQHTLMN và dữ liệu khí tượng toàn cầu của SWAT, nghiên cứu đã chọn và sử dụng nguồn dữ liệu từ 11 trạm đo.

Ghi chú: P (Lượng mưa), T (Nhiệt độ), S (Nhật chiếu), W (Gió), H (Độ ẩm), E (Bốc hơi), (*): trạm dữ liệu toàn cầu của SWAT (nguồn dữ liệu toàn cầu của SWAT, tham khảo thêm tại trang web <http://swat.tamu.edu>).

Bảng 2.10: Đặc trưng địa lý của các trạm quan trắc

STT	Trạm đo	Vĩ độ	Kinh độ	Cao độ	Yếu tố đo
1	Bù Đốp (BD)	11,95	106,76	0	P,T
2	Bù Nho (BN)	12,02	107,08	0	P,T
3	Chơn Thành (CT)	11,43	106,60	0	P,T
4	Đắk Nông (DN)	12,00	107,68	0	P,T
5	Đồng Phú (DP)	11,49	106,85	120	P, T, S, W, H, E
6	Phước Hòa (PH)	11,20	106,81	50	P, T, S, W, H, E
7	Phước Long (PL)	11,84	107,02	230	P, T, S, W, H, E
8	Sờ Sao (SS)	11,04	106,62	4	P,T
9	Lộc Ninh (LN)	11,70	106,54	760	P,T
10	A(*)	12,02	107,19	353	P, T, S, W, H, E
11	B(*)	11,70	106,88	109	P, T, S, W, H, E



Hình 2.10: Bản đồ phân bố trạm khí tượng thủy văn lưu vực sông Bé

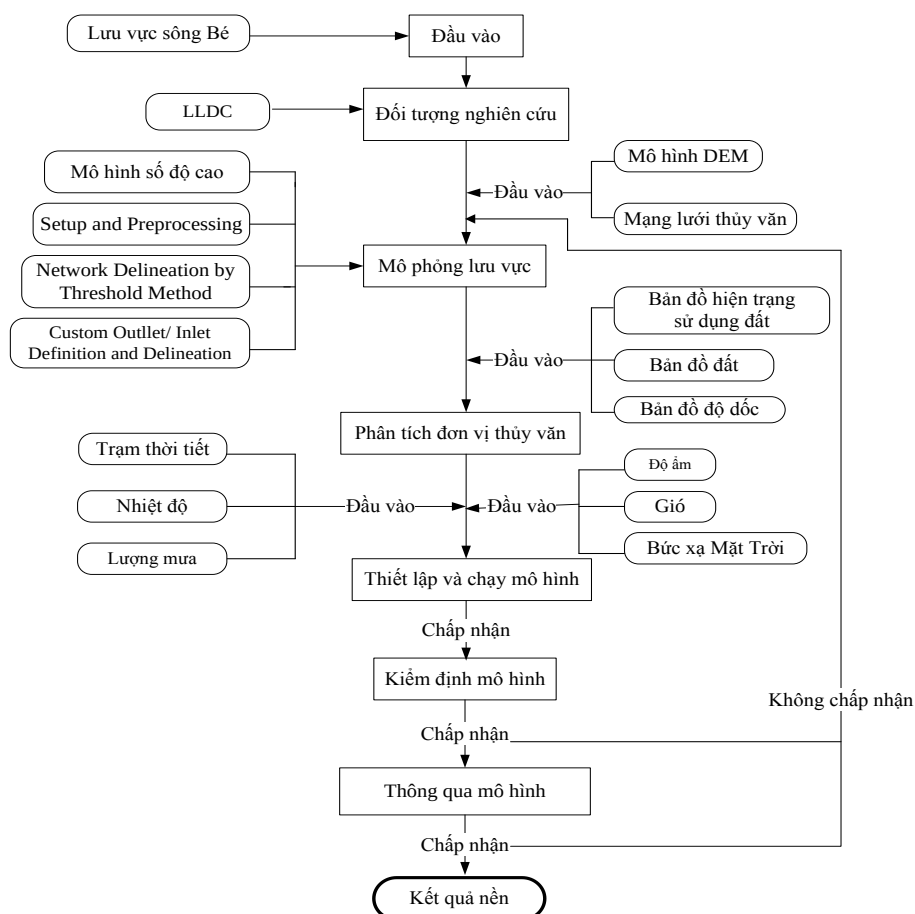
e. Dữ liệu dòng chảy thực đo

Dữ liệu lưu lượng dòng chảy thực đo được cung cấp bởi VQHTLMN tại hai trạm quan trắc thủy văn là Phước Long và Phước Hòa nằm trên dòng sông chính của lưu vực sông Bé, được sử dụng để đánh giá kết quả mô phỏng dòng chảy của mô hình SWAT.

Bảng 2.11: Trạm quan trắc thủy văn trên lưu vực sông Bé

STT	Trạm đo	Vĩ độ Bắc (°)	Kinh độ Đông (°)	Cao độ (m)	Yếu tố đo đạc	Năm
1	Phước Long	11,84	107,02	230	Mức nước, lưu lượng dòng chảy	1979 - 1997
2	Phước Hòa	11,20	106,81	50	Mức nước, lưu lượng dòng chảy	1979 - 2000

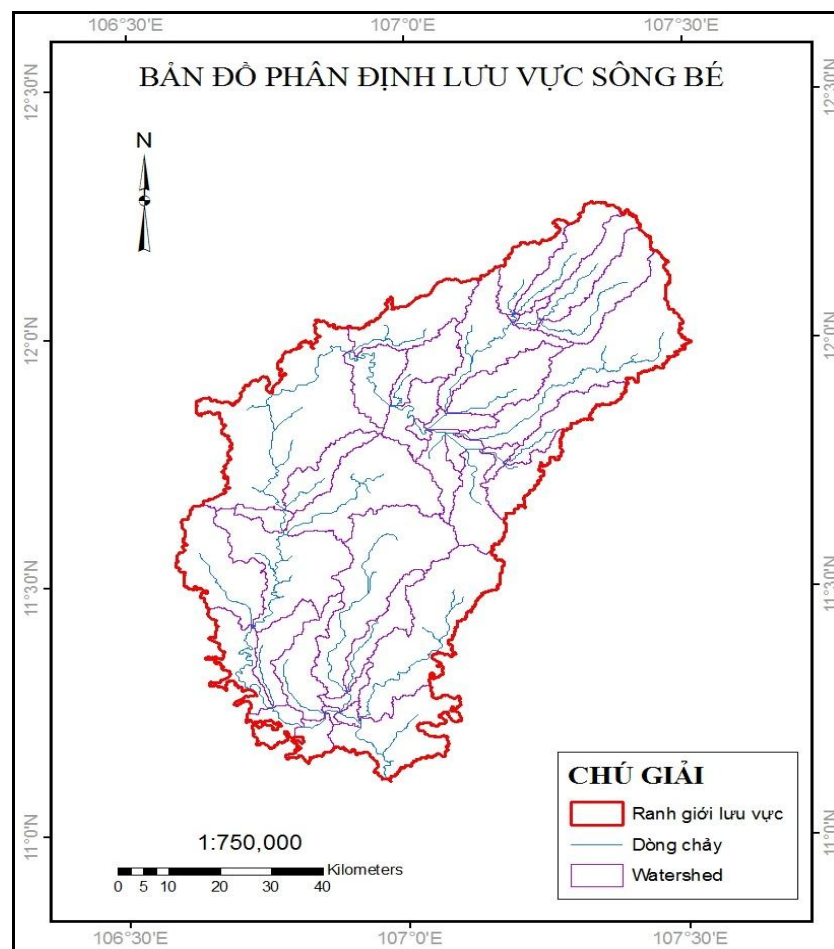
2.2.2 Tiến trình thực hiện mô hình SWAT



Hình 2.11: Quy trình ứng dụng mô hình SWAT trong mô phỏng LLDC lưu vực sông Bé

a. Phân định lưu vực

Định nghĩa lưu vực được chia thành năm bước: thiết lập bản đồ mô hình số độ cao DEM, định nghĩa sông (Stream Definition), định nghĩa cửa đổ nước vào/ra của tiểu lưu vực (Outlet and Inlet Definition), lựa chọn cửa đổ nước ra của lưu vực (Watershed Outlets selection and Definition), tính toán các thông số của tiểu lưu vực (Calculation of Subbasin Parameters).



Hình 2.12: Bản đồ phân định lưu vực sông Bé

Trong quá trình phân định lưu vực, dữ liệu DEM lưu vực sông Bé đưa vào SWAT, đăng kí hệ tọa độ UTM WGS 84 múi 48 tương ứng với vị trí của lưu vực sông Bé.

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 khoang lưu vực và mạng lưới sông ngòi. Đề tài chọn phương pháp (1) để phần mềm tự động xác định ranh giới lưu vực.

Sau khi chọn phương pháp dựa trên DEM, mô hình sẽ lấp đầy các hố sâu trên bản đồ địa hình, sau đó 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 tới hạn với mục đích xác định nguồn nước của sông ngòi. Diện tích giới hạn này càng bé thì mạng lưới sông ngòi mà phần mềm tự động tạo ra càng trở nên chi tiết hơn. Đề tài chọn ngưỡng diện tích là 10.000 ha.

Dựa trên mạng lưới dòng chảy đã mô phỏng, chọn điểm đầu ra (cửa xả) của toàn bộ lưu vực. Điểm đầu ra có tọa độ $11,22^\circ$ vĩ độ Bắc và $106,91^\circ$ kinh độ Đông nằm ở hạ lưu sông Bé, trên đường ranh giới giữa hai Tỉnh Đồng Nai và Bình Dương.

Cuối cùng mô hình sẽ tính toán thông số các lưu vực con và các đoạn sông suối. Quá trình tính toán các thông số kết thúc thì quá trình vạch ranh giới lưu vực như vậy đã hoàn thành.

Kết quả phân định lưu vực trên diện tích 666.360,69 ha có 39 tiểu lưu vực.

b. Phân tích đơn vị thủy văn

Một tiểu lưu vực có thể được chia nhỏ thành những đơn vị thủy văn, các cell trong mỗi đơn vị 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 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 thủy văn, trên cơ sở đó sẽ cộng lại trên toàn bộ tiểu lưu vực. Lợi ích khi dùng đơn vị 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 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 3 lớp, lớp 1 từ 0 - 1 %; lớp 2 từ 1 - 10 %; lớp 3 trên 10 %.

Bước cuối cùng trong phân tích HRU là định nghĩa HRUs. Có ba cách xác định HRUs, (1) gán chỉ một HRU cho mỗi tiểu lưu vực quan tâm đến sự kết hợp sử dụng đất; đất; độ dốc vượt trội; (2) gán một HRU đại diện cho toàn bộ lưu vực và (3) gán

nhiều HRU cho mỗi tiểu lưu vực quan tâm đến độ nhạy của quá trình thủy văn dựa trên giá trị ngưỡng cho sự kết hợp sử dụng đất; đất; độ dốc. Trong nghiên cứu này, phương pháp (3) được lựa chọn vì nó mô tả tốt hơn tính không đồng nhất trong lưu vực và mô phỏng chính xác hơn những quá trình thủy văn (Nguyễn Duy Liêm, 2011).

Giá trị ngưỡng 0 % được thiết lập cho loại đất, sử dụng đất và độ dốc để tối đa hóa số HRU trong từng tiểu lưu vực. Với giá trị này, số HRUs được tạo ra là 590.



Hình 2.13: Bản đồ đơn vị thủy văn lưu vực sông Bé

c. Ghi chép dữ liệu đầu vào

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 theo hai cách, (1) từ dữ liệu quan trắc hàng ngày trong quá khứ tại những trạm đo trên hoặc gần lưu vực, (2) từ dữ liệu thống kê thời tiết hàng tháng mà sau đó SWAT sẽ mô phỏng dữ liệu theo ngày. Nguồn dữ liệu nghiên cứu được thu thập chi tiết theo từng ngày nên đề tài chọn theo cách (1).

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. Những dữ liệu này bao gồm dữ liệu thực hành quản lý (mức độ áp dụng phân bón, thuốc trừ sâu, làm đất, quản lý), loại đất, tính chất hóa học của đất và thông số chất lượng nước (nếu có).

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 01/01/1979 - 31/12/2007 (28 năm), mưa tuân theo phân bố lệch chuẩn (Skewed normal).

d. Đánh giá mô hình

Mô hình sử dụng hai chỉ tiêu kiểm định kết quả là R^2 và NSI:

- Giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, hệ số xác định (R^2) (P. Krause et al., 2005).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2 \quad (2.1)$$

Giá trị R^2 nằm trong khoảng từ 0 - 1, thể hiện mối tương quan giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng.

Bảng 2.12: Mức độ mô phỏng của mô hình tương ứng chỉ số R^2

R^2	0.9 - 1	0.7 - 0.9	0.5 - 0.7	0.3 - 0.5
Mức độ mô phỏng	Tốt	Khá	Trung bình	Kém

- Chỉ số Nash - Sutcliffe (NSI) (Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe, 1970) cũng được sử dụng để đánh giá độ tin cậy của mô hình SWAT bằng cách so sánh hai quá trình dòng chảy thực đo và tính toán.

$$NSI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2.2)$$

Trong đó:

- O giá trị thực đo (m^3/s);
- $\bar{O}$ giá trị thực đo trung bình (m^3/s);
- $\bar{P}$ giá trị mô phỏng (m^3/s);
- n số lượng giá trị tính toán.

Chỉ số NSI 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.

Nếu R^2 , NSI 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.

2.3 Áp dụng kịch bản BĐKH IPCC đánh giá sự thay đổi LLDC lưu vực sông Bé

Mô hình SWAT là mô hình mưa rào - dòng chảy, với tính năng cho phép phân bố lưu vực thành các lưu vực bộ phận nên rất thích hợp cho đánh giá tác động BĐKH lên dòng chảy một cách trực tiếp. Mô hình đã được Ủy hội Mê Kông Quốc tế lựa chọn làm mô hình chính thức trong việc tính toán dòng chảy cho các lưu vực bộ phận và đánh giá tác động BĐKH lên dòng chảy (Trích dẫn Bùi Thị Tàn và ctv, 2006).

Luận văn lựa chọn kịch bản trung bình (A1B) của IPCC để đánh giá mức độ ảnh hưởng của BĐKH đến LLDC sông Bé. Số liệu tính toán cho giai đoạn nền được lấy từ số liệu của VQHTLMN cho các trạm trên lưu vực, thời gian từ năm 1980 - 2007. Số liệu kịch bản BĐKH của lưu vực dựa vào nguồn dữ liệu được CGIAR mô phỏng từ kịch bản BĐKH trung bình (A1B) của IPCC từ 2008 - 2030 (23 năm), tính toán dựa trên thay đổi lượng mưa (%) và nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$) so với giai đoạn 1980 - 1999.

Thiết lập các dữ liệu đầu vào cho mô hình SWAT trong đánh giá BĐKH tương tự như các bước trên, thay đổi các điều kiện khí hậu (mưa và nhiệt độ), giữ nguyên thông số mô hình, tính toán lại dòng chảy sinh ra trong kịch bản A1B.

Chương 3

KẾT QUẢ, THẢO LUẬN

1. Kết quả đạt được mô phỏng LLDC từ 1979 - 2007

1.1 Đánh giá mô hình

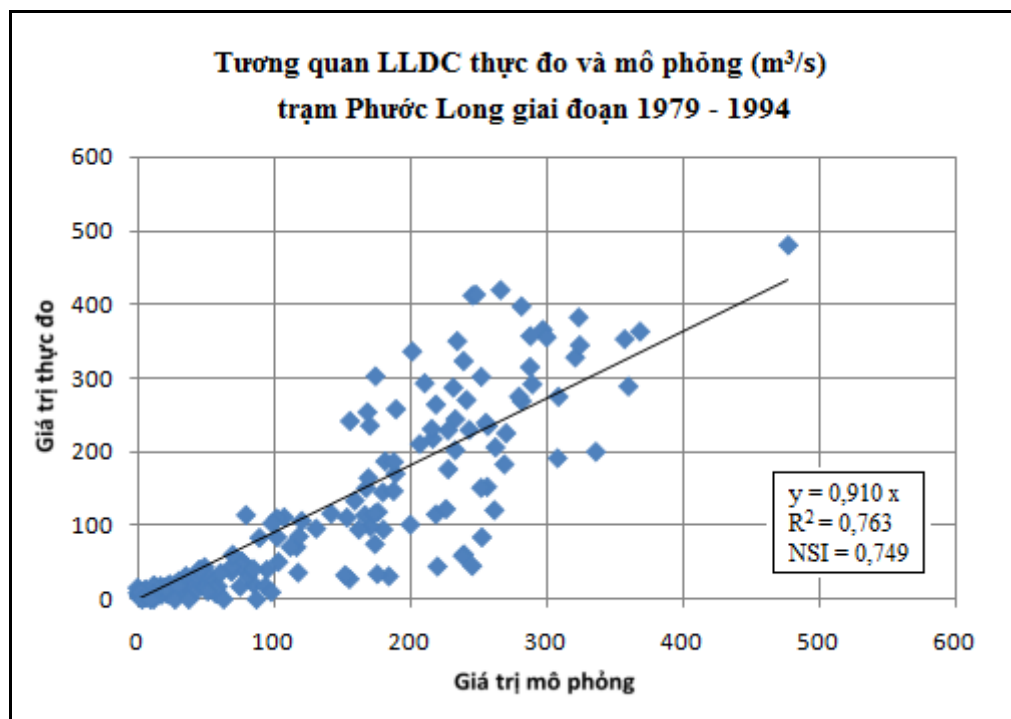
Để đánh giá kết quả mô phỏng LLDC trong SWAT, nghiên cứu sử dụng số liệu quan trắc hàng tháng tại hai trạm thủy văn là Phước Long và Phước Hòa, mỗi trạm quan trắc được xem như là cửa xả của một tiểu lưu vực tương ứng. Các tiểu lưu vực còn lại không có số liệu thực đo nên đề tài không đánh giá (tương tự cho đánh giá tác động BĐKH).

Dựa vào số liệu dòng chảy thực đo từ VQHTLMN, khoảng thời gian đánh giá mô hình từ năm 1979 - 1997 đối với trạm Phước Long và từ 1979 - 2000 đối với trạm Phước Hòa. Từ năm 1979 - 1994 là thời kì mà dòng chảy trên lưu vực sông Bé còn mang tính tự nhiên và chưa chịu tác động từ thủy điện Thác Mơ (hoàn thành vào năm 1995). Tuy nhiên, đề tài chọn khoảng thời gian trên để thấy rõ mô hình mô phỏng biến động của dòng chảy trước và sau khi có sự tác động của thủy điện.

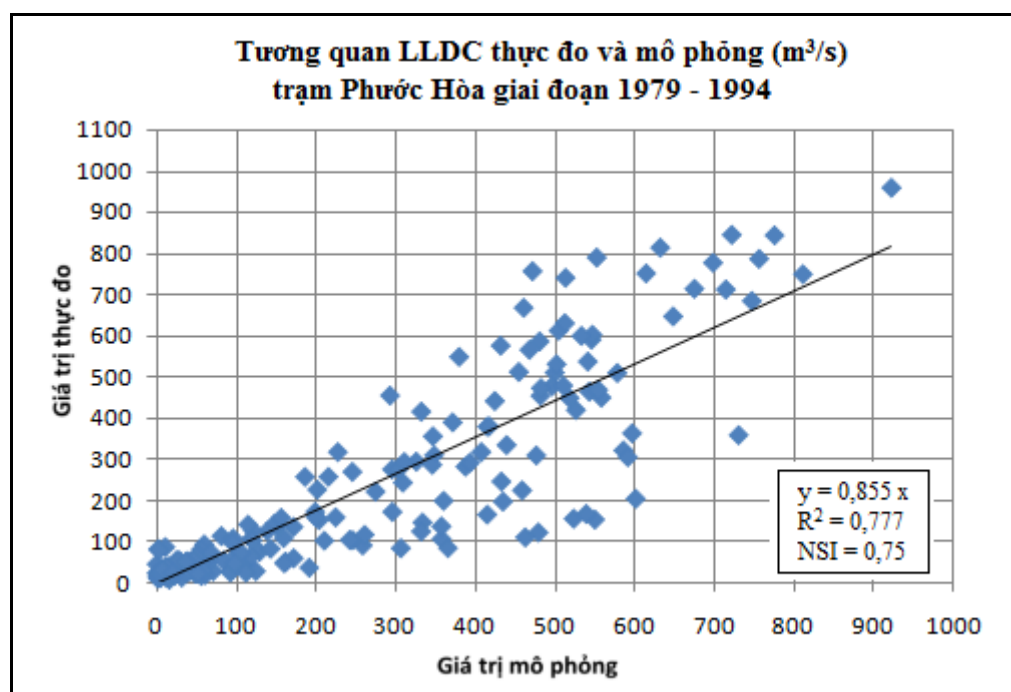
Sau khi chạy mô hình, quá trình đánh giá được chia làm hai giai đoạn:

- Trạm Phước Long: (1) từ năm 1979 - 1994 và (2) từ năm 1995 - 1979.
- Trạm Phước Hòa: (1) từ năm 1979 - 1994 và (2) từ năm 1995 - 2000.

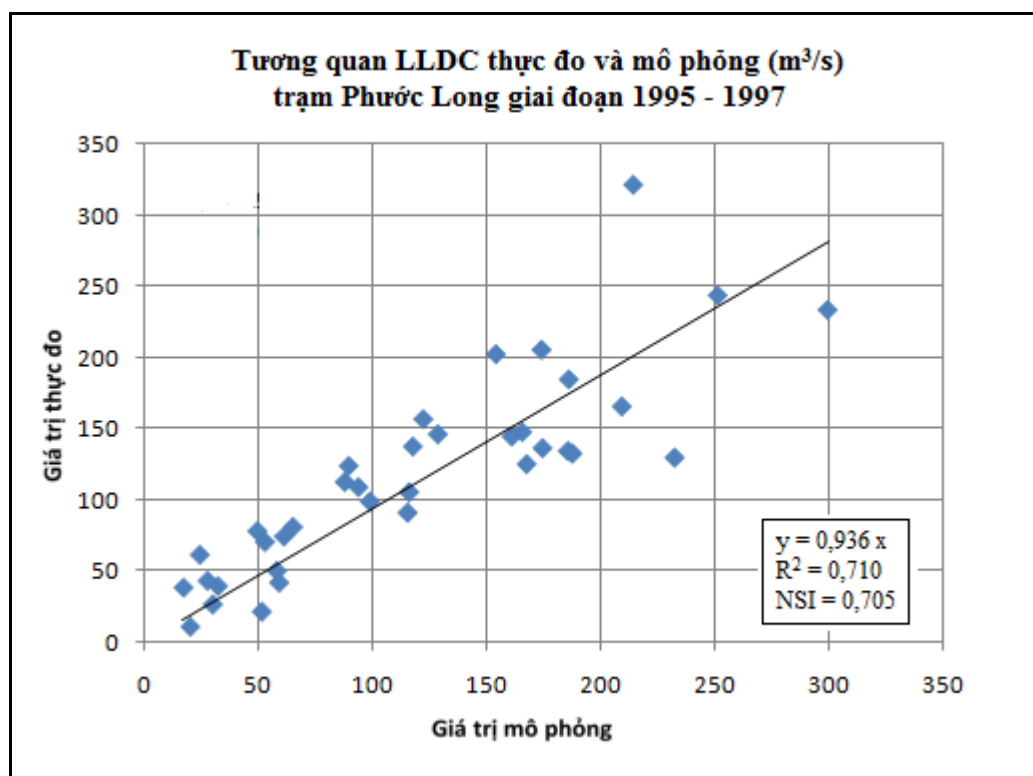
Dựa vào Hình 3.1; 3.2; 3.3 và 3.4, nhận thấy tương quan giá trị LLDC mô phỏng và thực đo tại trạm Phước Long trong giai đoạn 1979 - 1994 tương quan cao hơn giai đoạn 1995 - 1997, trạm Phước Hòa trong giai đoạn 1979 - 1994 tương quan cao hơn so với giai đoạn 1997 - 2000. Nguyên nhân là khi thủy điện hoàn thành, dòng chảy bị điều tiết theo chủ quan, không mang tính tự nhiên, không tuân theo quy luật vốn có, dẫn đến độ chính xác mô phỏng không cao.



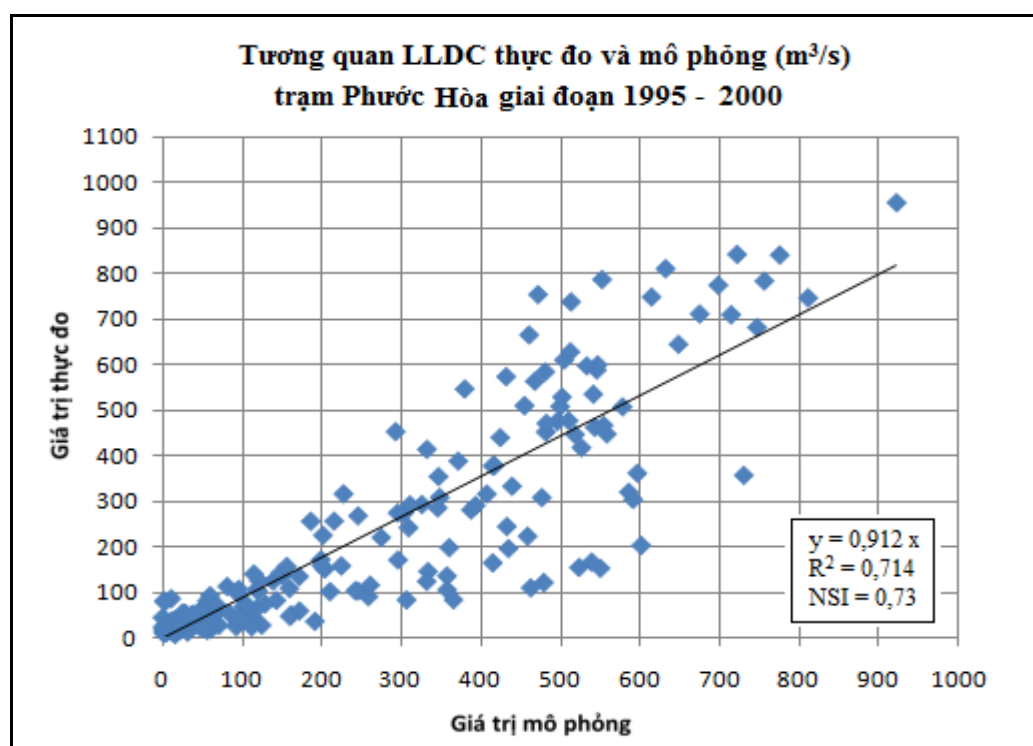
Hình 3.1: Tương quan LLDC thực đo và mô phỏng tại Phước Long giai đoạn 1979 - 1994



Hình 3.2: Tương quan LLDC thực đo và mô phỏng tại Phước Hòa giai đoạn 1979 - 1994

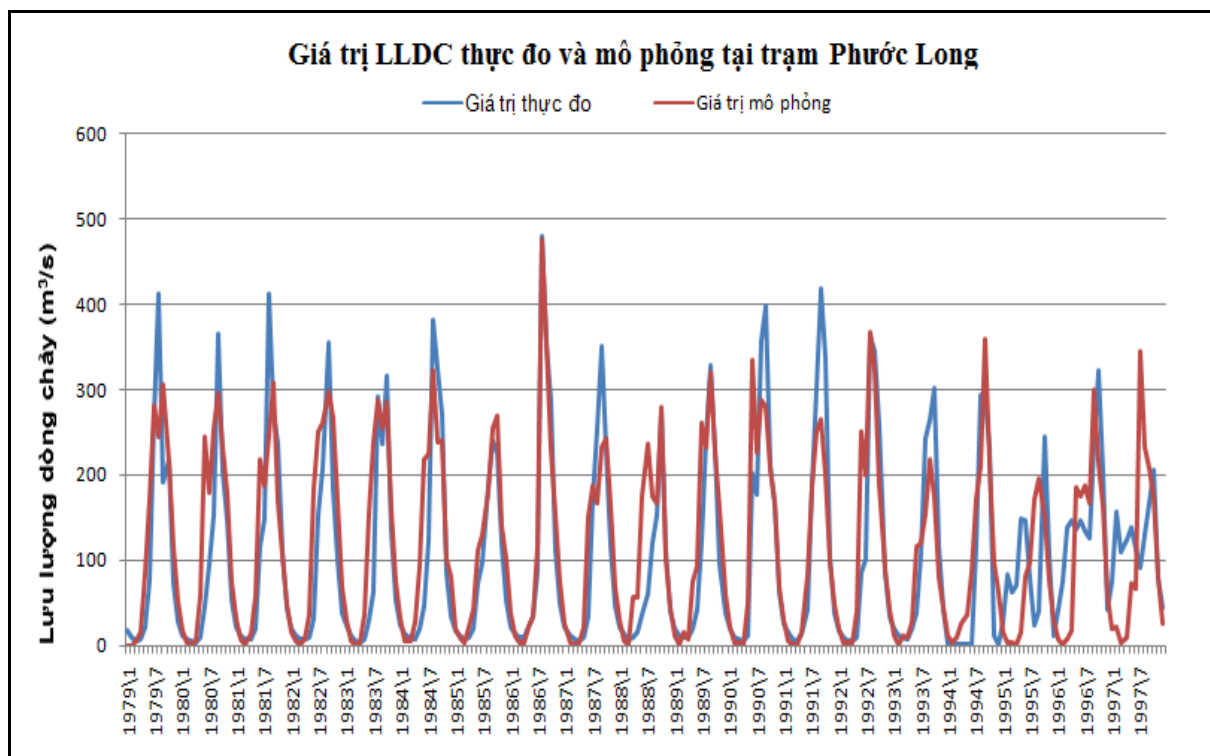


Hình 3.3: Tương quan LLDC thực đo và mô phỏng tại Phước Long giai đoạn 1995 - 1997

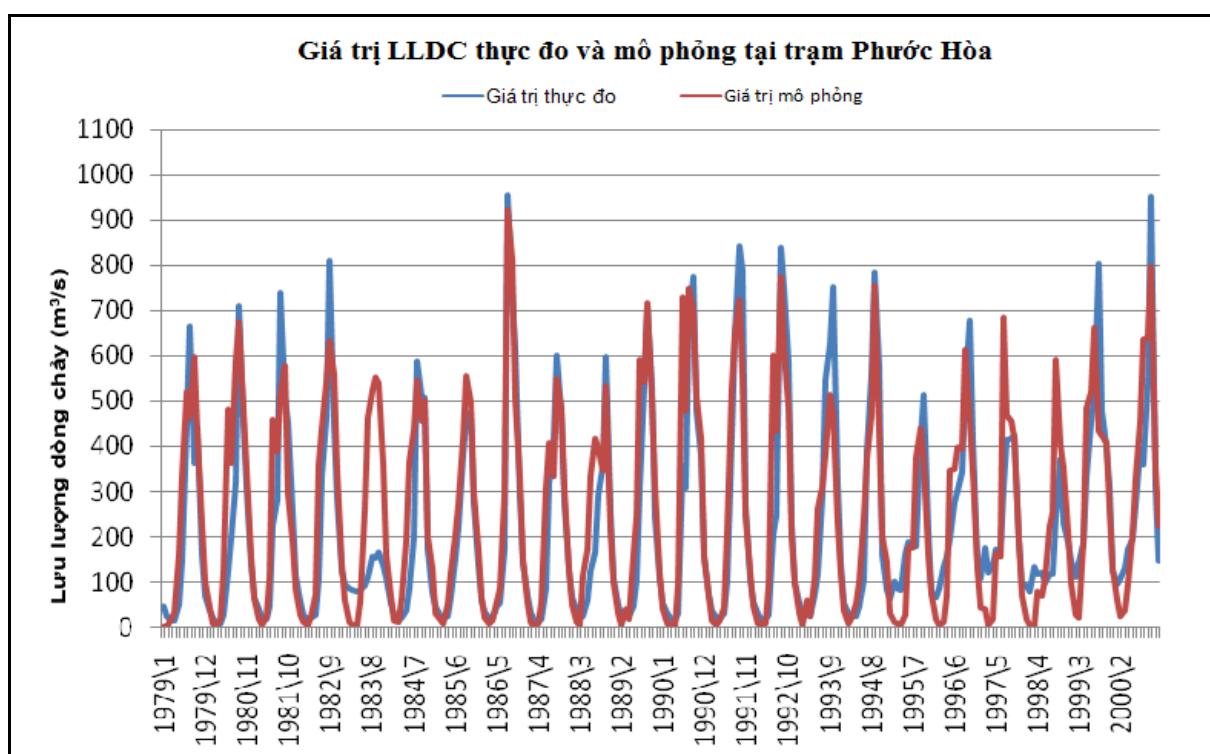


Hình 3.4: Tương quan LLDC thực đo và mô phỏng tại Phước Hòa giai đoạn 1995 - 2000

Biểu đồ giá trị LLDC thực đo và mô phỏng tại hai trạm Phước Long và Phước Hòa:



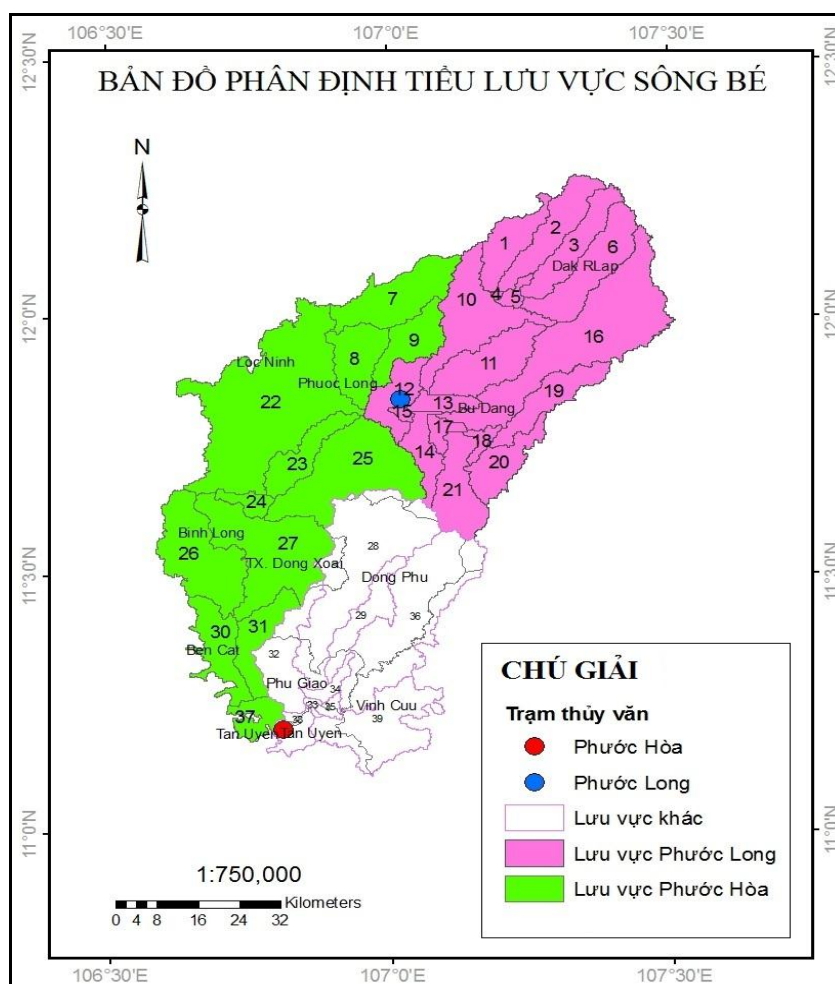
Hình 3.5: Giá trị LLDC mô phỏng và thực đo tại Phước Long giai đoạn 1979 - 1997



Hình 3.6: Giá trị LLDC mô phỏng và thực đo tại Phước Hòa 1979 - 2000

So sánh giá trị LLDC mô phỏng và thực đo tại hai tiểu lưu vực Phước Long, Phước Hòa cho thấy kết quả mô phỏng đạt loại khá với giá trị R^2 và NSI đều trên 0,7 trong cả hai giai đoạn đánh giá. Ở hai tiểu lưu vực trong giai đoạn từ 1979 - 1994, mô hình SWAT mô phỏng dòng chảy khá chính xác. Nhưng khi hồ Thác Mơ hoàn thành (1995) làm cho dòng chảy có sự thay đổi khá rõ, chuyển biến phức tạp, bất thường và khó mô phỏng hơn.

Về diễn biến LLDC, rõ ràng kết quả mô phỏng tại cả hai tiểu lưu vực trên đều thể hiện sự dao động dòng chảy khá tốt, mặc dù có một số đỉnh dòng chảy được ước lượng thấp hơn hay vượt quá giá trị thực đo. Do đó bộ thông số này có thể mô phỏng tốt và được áp dụng vào tính toán kịch bản BĐKH.



Hình 3.7: Bản đồ phân định tiểu lưu vực sông Bé

Yếu tố	Phước Long	Phước Hòa
Diện tích (ha)	224501	260945
Số HRUs	17	11
Giá trị thực đo trung bình (m^3/s) Giai đoạn 1979 - 1994	102,58	219,33
Giá trị mô phỏng trung bình (m^3/s) Giai đoạn 1979 - 1994	118,58	250,50
Hệ số xác định (R^2)	0,763	0,777
Chỉ số Nash – Sutcliffe (NSI)	0,749	0,750

Bảng 3.1: Thống kê so sánh LLDC mô phỏng và thực đo tại Phước Long, Phước Hòa trong giai đoạn 1979 - 1994

Yếu tố	Phước Long	Phước Hòa
Diện tích (ha)	224501	260945
Số HRUs	17	11
Giá trị thực đo trung bình (m^3/s) Giai đoạn 1995 - 1997	117,53	219,33
Giá trị mô phỏng trung bình (m^3/s) Giai đoạn 1995 - 2000	128,97	250,50
Hệ số xác định (R^2)	0,710	0,714
Chỉ số Nash – Sutcliffe (NSI)	0,705	0,73

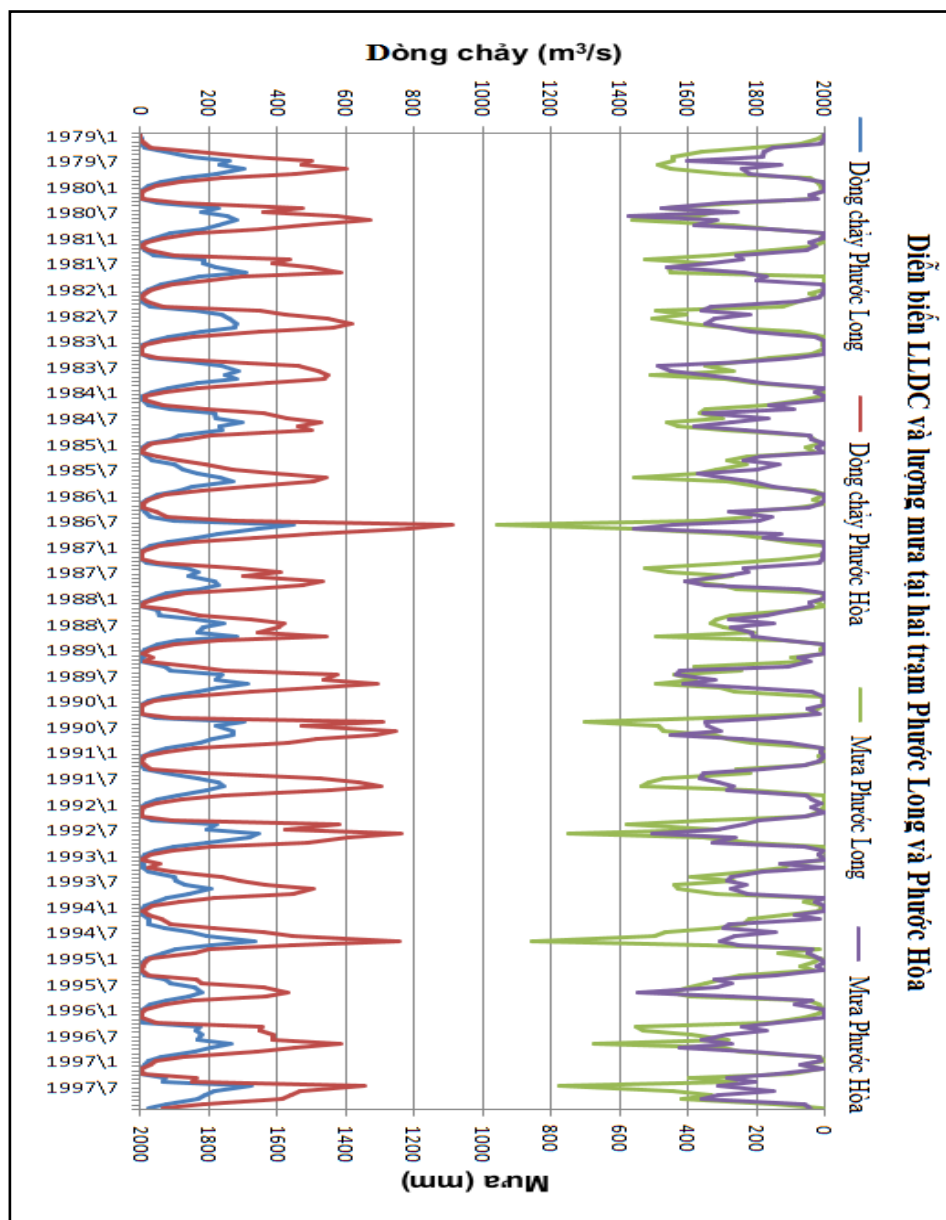
Bảng 3.2: Thống kê so sánh LLDC mô phỏng và thực đo tại Phước Long (1995 - 1997) và Phước Hòa (1995 - 2000)

1.2 Diễn biến LLDC

Mưa là nhân tố sản sinh dòng chảy. Mưa không chỉ chi phối sâu sắc đến lượng dòng chảy sông ngòi mà quan trọng hơn là sự chi phối của nó với chế độ dòng chảy trong mùa, trong năm và nhiều năm. Ngoài mưa, bốc hơi cũng là nhân tố khí hậu có ảnh hưởng quan trọng đến lượng dòng chảy. Trong điều kiện khí hậu có độ ẩm cao, mưa nhiều nên lượng bốc hơi trên lưu vực thường tương đối ít so với lượng mưa. Lượng bốc hơi trên mặt lưu vực sông ngoài phụ thuộc vào các yếu tố khí tượng, còn phụ thuộc lượng mưa trong đất, tính chất vật lý của đất và đặc tính sinh lý của lớp thảm

thực vật trên bề mặt lưu vực. Do đó bốc hơi ảnh hưởng tới dòng chảy có quá trình phức tạp, hiện chưa có số liệu để nói rõ vấn đề này (Bùi Thị Tần và ctv, 2006).

Vì vậy, trong phạm vi nghiên cứu giới hạn đề tài chỉ đề cập đến ảnh hưởng của lượng mưa đến LLDC.



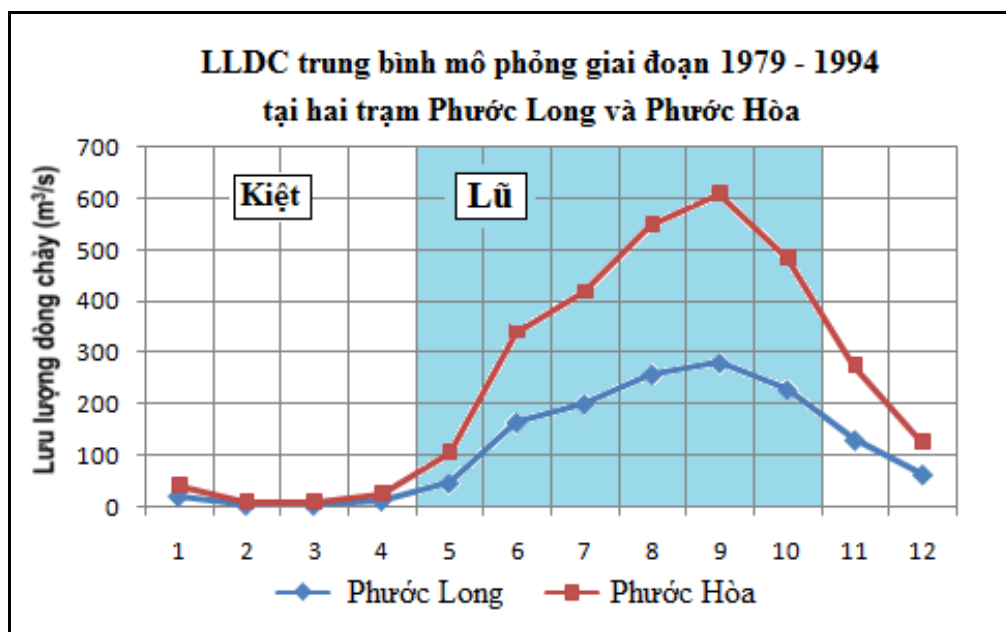
Hình 3.8: Diễn biến LLDC (mô phỏng) và lượng mưa tại Phước Long, Phước Hòa

Dựa vào Hình 3.8, nhận thấy biến đổi dòng chảy tại Phước Long và Phước Hòa được xác định theo sự biến động của lượng mưa. Đặc tính chung của dòng chảy tại hai tiểu lưu vực này là các tháng có dòng chảy lớn, nhỏ thường trùng với các tháng có

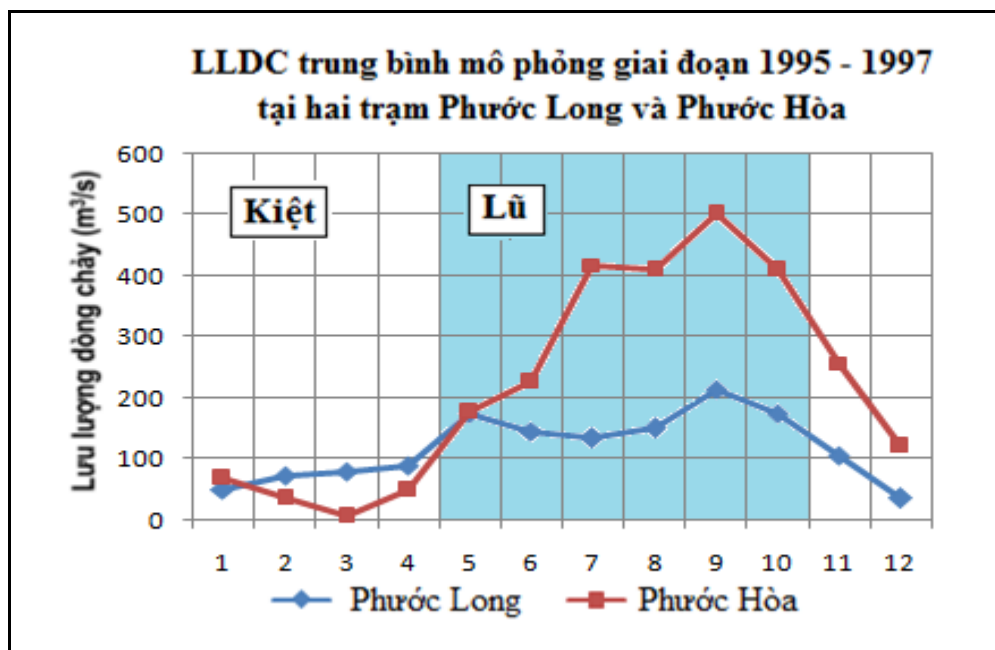
lượng mưa lớn, nhỏ. Nếu lấy lượng mưa và lượng dòng chảy tháng bình quân nhiều năm làm tiêu chuẩn để phân định mùa thì mùa mưa cũng đồng thời là mùa lũ. LLDC tại trạm Phước Hòa lớn nhiều hơn so với Phước Long (gấp 2 lần) nhưng lượng mưa thì ngược lại.

Dòng chảy tại hai tiểu lưu vực trong giai đoạn 1979 - 1997 đạt đỉnh mùa mưa (Tháng VIII/1986, IX/1992 và X/1994), các tháng còn lại trong năm (nhất là trong mùa cạn) dòng chảy rất nhỏ. Giá trị LLDC có sự khác biệt theo từng năm. Lượng mưa trạm Phước Long tương ứng với các tháng trên là 954,10 mm, 743,90 mm, 854,20 mm và Phước Hòa là 439,60 mm, 500,30 mm, 302,30 mm. Những Tháng từ XI - IV năm sau (những tháng mùa cạn) thì giá trị LLDC và lượng mưa rất nhỏ, nhỏ nhất vào Tháng II, III.

Trong giai đoạn này, trên hai tiểu lưu vực Phước Long và Phước Hòa có ba năm giá trị LLDC tháng lớn nhất, đó là vào các Tháng VIII/1986; IX/1992 và X/1994 (đều là những tháng có lượng mưa lớn trong mùa mưa), trong đó Tháng VIII/1986 có giá trị lớn nhất. Giá trị LLDC các tháng trên tương ứng với trạm Phước Long lần lượt là 444,80 m³/s, 319,90 m³/s, 335,50 m³/s và Phước Hòa là 914,00 m³/s, 608,30 m³/s, 756,10 m³/s.



Hình 3.9: LLDC trung bình mô phỏng giai đoạn 1979 - 1994 tại trạm Phước Long, Phước Hòa



Hình 3.10: LLDC trung bình mô phỏng giai đoạn 1995 - 1997 tại trạm Phước Long, Phước Hòa

Số liệu chi tiết các tháng tại hai trạm được thể hiện bảng sau:

**Bảng 3.3: Thống kê LLDC (m³/s) mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 1979 - 1994
tại Phước Long, Phước Hòa**

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Phước Long	22,18	5,48	5,02	13,75	47,87	165,23	200,78	258,32	280,76	228,42	130,94	64,25
Phước Hòa	43,57	9,47	11,41	27,44	106,78	341,75	418,84	549,41	609,91	484,80	274,96	127,71

**Bảng 3.4: Thống kê LLDC (m³/s) mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 1995 - 1997
tại Phước Long, Phước Hòa**

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Phước Long	49,61	73,18	78,55	90,29	175,41	145,03	134,02	150,60	213,43	175,47	106,55	35,49
Phước Hòa	68,88	36,72	6,72	49,44	177,99	225,90	418,00	411,13	501,90	410,77	257,50	120,90

Sự biến đổi dòng chảy trên lưu vực là do sự khác biệt về mùa và đặc điểm lưu vực, cụ thể là diện tích lưu vực và độ cao. Nhìn chung diễn biến đường LLDC trung bình hai trạm tương đối giống nhau trong hai giai đoạn 1979 - 1994 và 1995 - 1997. Khí hậu khu vực có hai mùa chính (mùa mưa và mùa khô) nên hình thành hai chế độ dòng chảy mùa mưa (lũ) và mùa cạn (kiệt). Sự biến đổi dòng chảy hai mùa rất tương phản nhau. Mùa mưa mức độ tập trung nước rất cao, lượng nước dư thừa gây nhiều trở ngại

cho sản xuất và đời sống. Ngược lại, về mùa cạn một số nơi lại thiếu nước nghiêm trọng trong khi đó nhu cầu nước về mùa cạn lại rất lớn.

Giai đoạn 1979 - 1994:

- Tính chất của dòng chảy lũ trong giai đoạn này là tăng về cường độ nhưng biến đổi ít đột ngột, diễn ra trong 6 tháng, bắt đầu Tháng V và kết thúc vào Tháng X, chiếm 85 - 90 % tổng lượng nguồn nước cả năm. Tại hai trạm, đỉnh lũ xuất hiện vào Tháng IX với lưu lượng 280,76 m³/s (Phước Long) và 609,91 m³/s (Phước Hòa). LLDC trung bình các tháng trong mùa mưa là 196,90 m³/s (Phước Long) và 418,58 m³/s (Phước Hòa).

- Dòng chảy kiệt trong phạm vi nghiên cứu này là một hiện tượng theo mùa và là thành phần tổng hợp của chế độ dòng chảy trong sông. Dòng chảy kiệt là một phần của đường quá trình dòng chảy liên tục, chiếm 10 - 15 % tổng lượng nguồn nước. Dòng chảy kiệt giảm vào mùa cạn, giảm mạnh nhất vào Tháng III với lưu lượng 5,02 m³/s (Phước Long) và Tháng II với lưu lượng 9,47 m³/s (Phước Hòa). LLDC trung bình các tháng trong mùa cạn là 40,27 m³/s (Phước Long) và 82,43 m³/s (Phước Hòa).

Giai đoạn 1994 - 1997 (thủy điện Thác Mơ hoàn thành 1995):

- Tính chất của dòng chảy lũ ở hai trạm trong giai đoạn này tương tự như giai đoạn 1979 - 1994, nhưng lưu lượng thấp hơn. Đầu mùa mưa khi lượng nước đổ về, thủy điện đã trữ nước lại để ngăn dòng chảy tăng nhanh trong các tháng mùa mưa và điều tiết cho lưu lượng các tháng tăng với cường độ trung bình. Cuối mùa mưa khi dòng chảy giảm, thủy điện xả nước để cung cấp cho các vùng khi mùa cạn đến. So với giai đoạn 1979 - 1994, đỉnh lũ vẫn xuất hiện vào tháng IX ở trạm Phước Long với lưu lượng 213,43 m³/s, giảm 67,32 m³/s (0,76 %). Tại trạm Phước Hòa, đỉnh lũ cũng xuất hiện vào Tháng IX với lưu lượng 501,90 m³/s, giảm 108,01 m³/s (0,82 %) so với giai đoạn 1979 - 1994. So với lưu lượng trung bình tháng trong mùa mưa giai đoạn 1979 - 1994, lưu lượng trung bình tháng tại Phước Long (165,66 m³/s, giảm 0,16 %), Phước Hòa (375,62 m³/s, giảm 0,15 %).

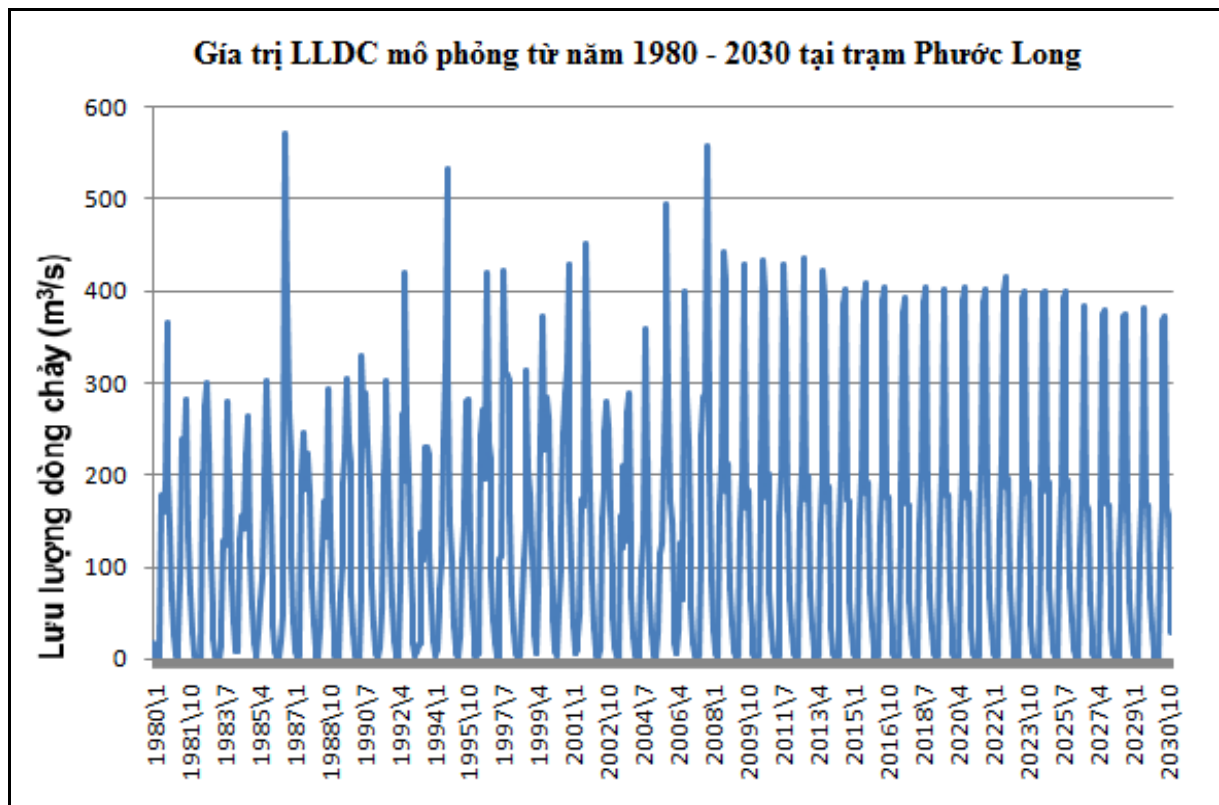
- Đặc trưng của thủy điện là giảm lưu lượng vào mùa mưa và tăng vào mùa cạn. Khi thủy điện Thác Mơ hoàn thành đã làm tăng đáng kể lưu lượng nước vào mùa cạn

ở hai trạm. So với lưu lượng trung bình tháng trong mùa cạn giai đoạn 1979 - 1994, dòng chảy giai đoạn 1995 - 1997 tăng ở hai trạm. Tháng IX có lưu lượng lớn nhất mùa cạn với trạm Phước Long $106,55 \text{ m}^3/\text{s}$ và Phước Hòa $257,50 \text{ m}^3/\text{s}$. Lưu lượng trung bình tháng tại trạm Phước Long ($72,28 \text{ m}^3/\text{s}$, tăng 1,79 %), Phước Hòa ($90,03 \text{ m}^3/\text{s}$, tăng 1,09 %) so với giai đoạn trước.

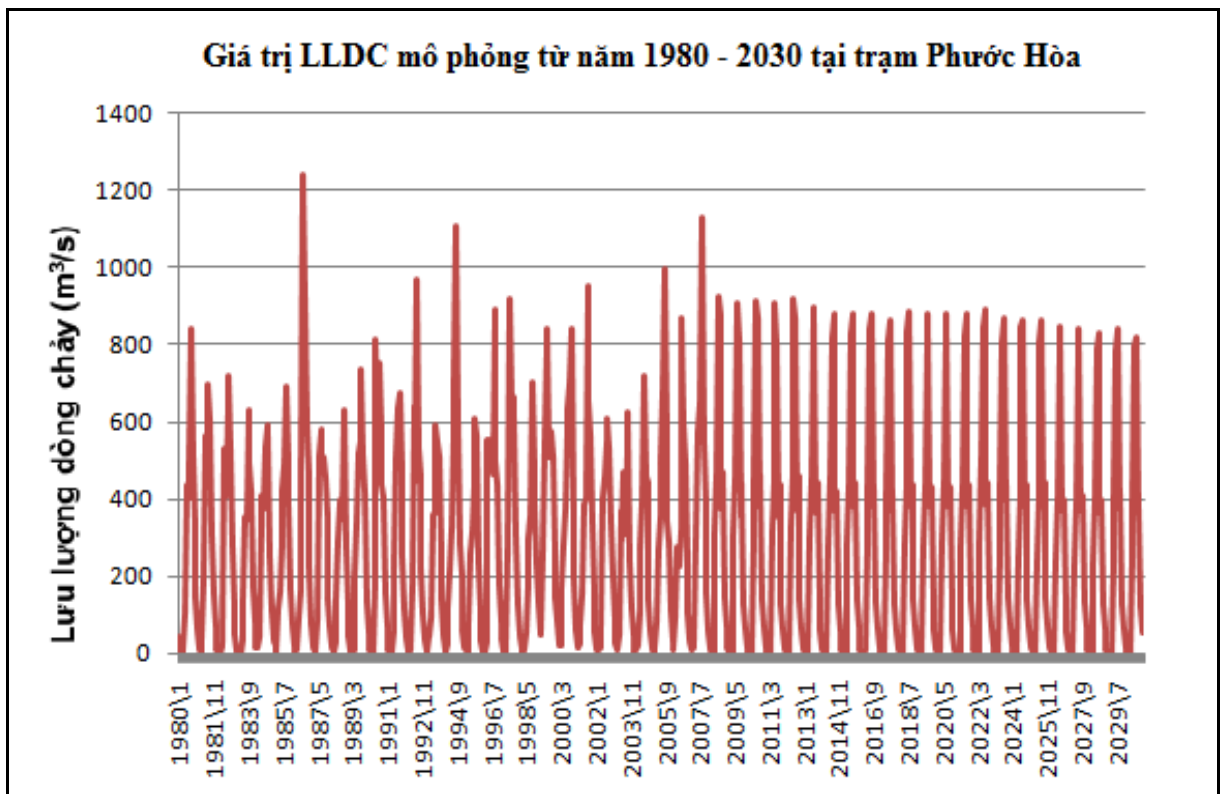
2. Sự thay đổi LLDC do tác động BĐKH lưu vực sông Bé:

Sau khi chạy mô hình kịch bản BĐKH từ năm 1980 - 2030, kết quả mô phỏng LLDC ở hai trạm Phước Long và Phước Hòa được thể hiện Hình 3.11 và 3.12.

Dựa vào Hình 3.11 và 3.12, diễn biến giá trị LLDC mô phỏng tại hai tiểu lưu vực tương đối giống nhau, so với giai đoạn 1980 - 1999 thì giai đoạn 2008 - 2030 giá trị LLDC tăng. Chế độ dòng chảy lưu vực sông Bé có quan hệ chặt chẽ với chế độ mực nước, các nhân tố ảnh hưởng đến chế độ mực nước cũng là các nhân tố ảnh hưởng tới chế độ dòng chảy. Ở đây mưa và chế độ phân phối mưa trong năm vẫn là nhân tố chủ đạo, có tính chất quyết định chế độ dòng chảy trong sông.



Hình 3.11: Giá trị LLDC mô phỏng từ 1980 - 2030 tại trạm Phước Long

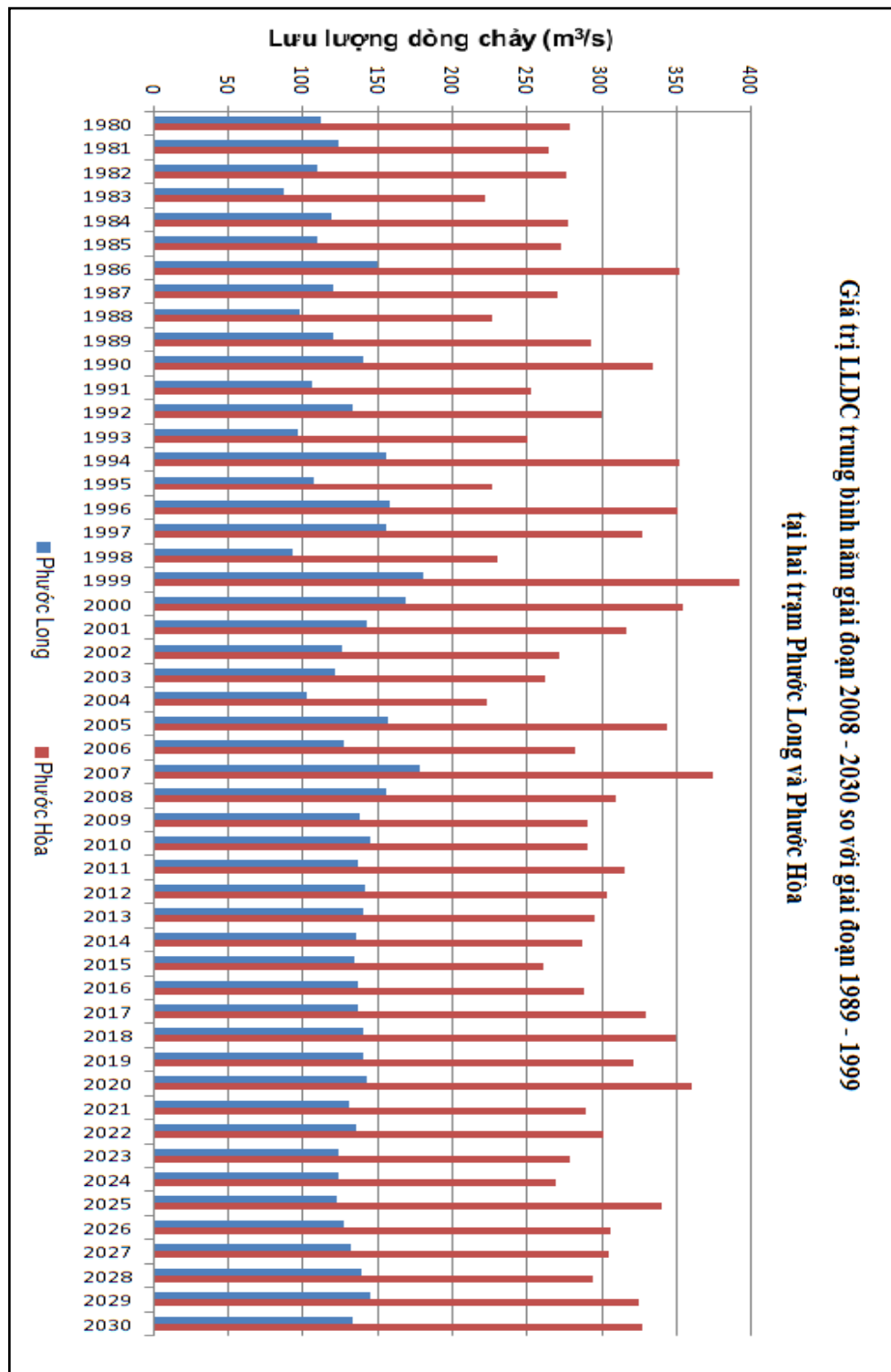


Hình 3.12: Giá trị LLDC mô phỏng từ 1980 - 2030 tại trạm Phước Hòa

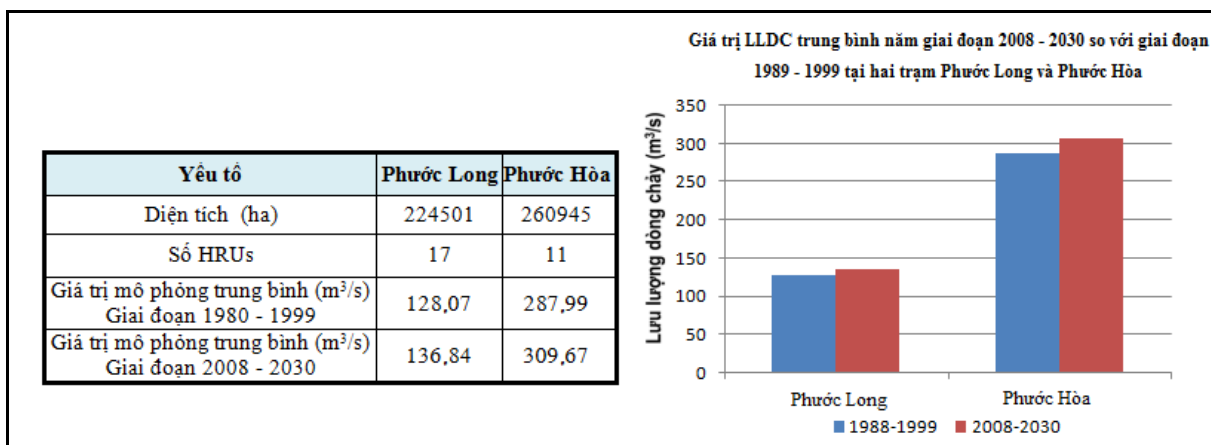
Dựa vào Hình 3.13, nhận thấy dòng chảy trung bình năm trên toàn hệ bộ thống sông Bé trong kịch bản này có xu hướng tăng theo thời gian so với hiện trạng và tốc độ khác nhau ở các năm. Nhìn chung, sự biến thiên dòng chảy năm tại hai trạm Phước Long và Phước Hòa tương đối giống nhau.

Trạm Phước Long: nằm ở thượng nguồn sông Bé, chịu ảnh hưởng từ thủy điện Thác Mơ nên sự thay đổi giá trị LLDC không đáng kể, vẫn là xu hướng tăng nhưng với tốc độ trung bình. So với giai đoạn 1980 - 1999 giá trị trung bình LLDC năm ($128,07 \text{ m}^3/\text{s}$), đến giai đoạn 2008 - 2030 ($136,84 \text{ m}^3/\text{s}$), giá trị tăng nhẹ $8,77 \text{ m}^3/\text{s}$ (1,06 %).

Trạm Phước Hòa: nằm ở vùng trung và hạ du sông Bé, nhận nước từ Phước Long đổ vào (gián tiếp chịu ảnh hưởng thủy điện Thác Mơ) và chịu ảnh hưởng trực tiếp của ba thủy điện lớn Cần Đơn (2003); Srock Phu Miêng (2006) và Phước Hòa (2010) nên dòng chảy chuyển biến phức tạp, nhưng giá trị trung bình LLDC năm vẫn rất lớn. So với giai đoạn 1980 - 1999 giá trị trung bình LLDC năm ($287,99 \text{ m}^3/\text{s}$), đến giai đoạn 2008 - 2030 ($309,67 \text{ m}^3/\text{s}$), giá trị tăng $21,68 \text{ m}^3/\text{s}$ (1,08 %).

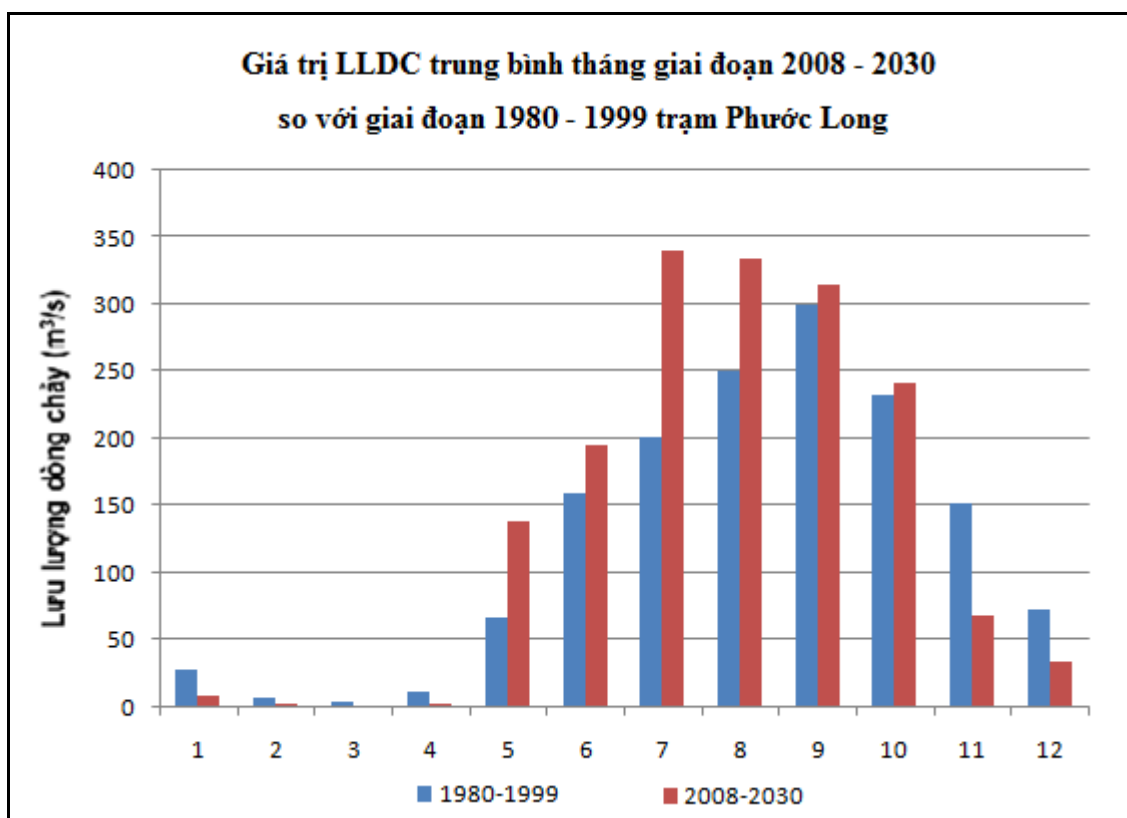


Hình 3.13: Thay đổi giá trị LLDC mô phỏng trung bình năm giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 tại trạm Phước Long và Phước Hòa

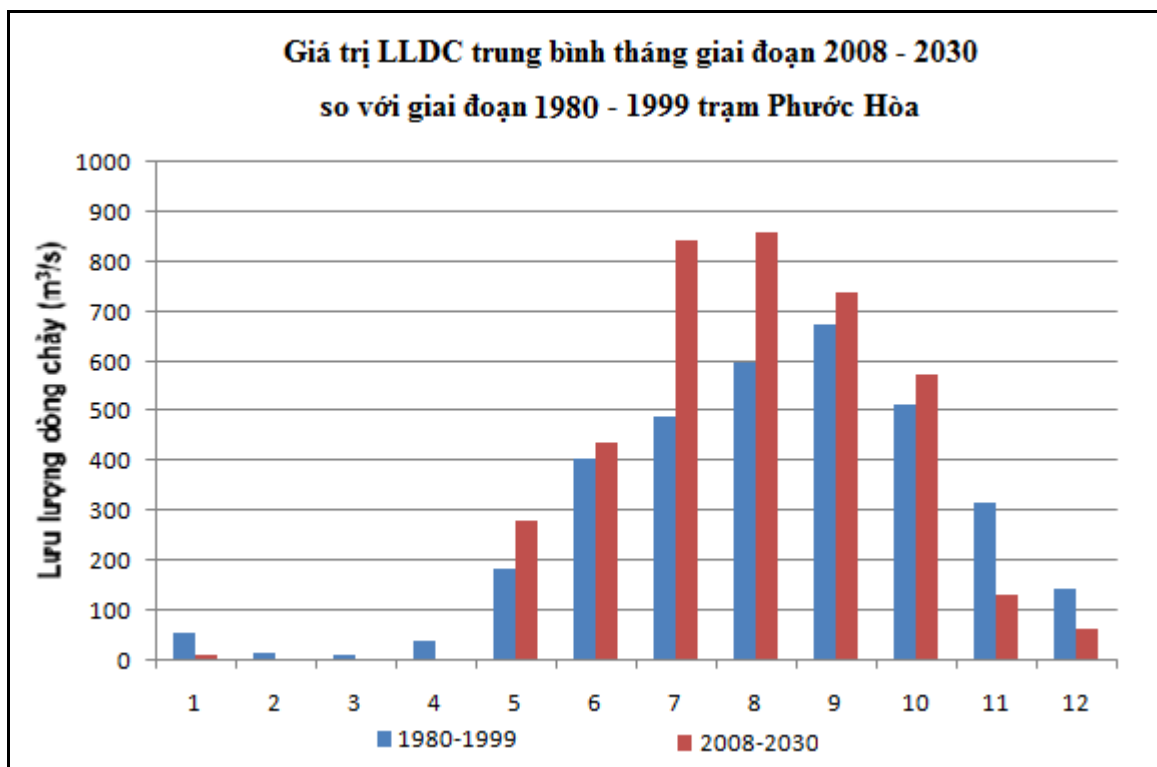


Hình 3.14: Thống kê so sánh giá trị LLDC trung bình năm giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 tại hai trạm Phước Long và Phước Hòa

Thay đổi giá trị LLDC trung bình tháng tại hai trạm Phước Long và Phước Hòa được trình bày dưới Hình 3.15 và 3.16



Hình 3.15: Thay đổi giá trị LLDC mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 tại trạm Phước Long



Hình 3.16: Thay đổi giá trị LLDC mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 tại trạm Phước Hòa

Số liệu giá trị LLDC mô phỏng trung bình tháng tại trạm Phước Long và Phước Hòa :

Bảng 3.5: Thống kê giá trị LLDC (m³/s) mô phỏng trung bình tháng trạm Phước Long

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980-1999	29,04	7,39	3,73	11,90	67,68	159,14	201,67	250,11	299,39	232,28	152,69	73,10
2008-2030	8,10	2,19	0,67	2,37	138,39	194,94	340,58	333,89	314,50	241,50	68,29	33,66

Bảng 3.6: Thống kê giá trị LLDC (m³/s) mô phỏng trung bình tháng trạm Phước Hòa

Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1980-1999	55,29	14,76	12,01	40,16	183,30	405,56	491,59	599,71	675,60	513,03	318,73	146,13
2008-2030	14,44	3,49	0,50	5,32	279,53	439,27	843,26	861,24	738,87	572,50	133,38	63,05

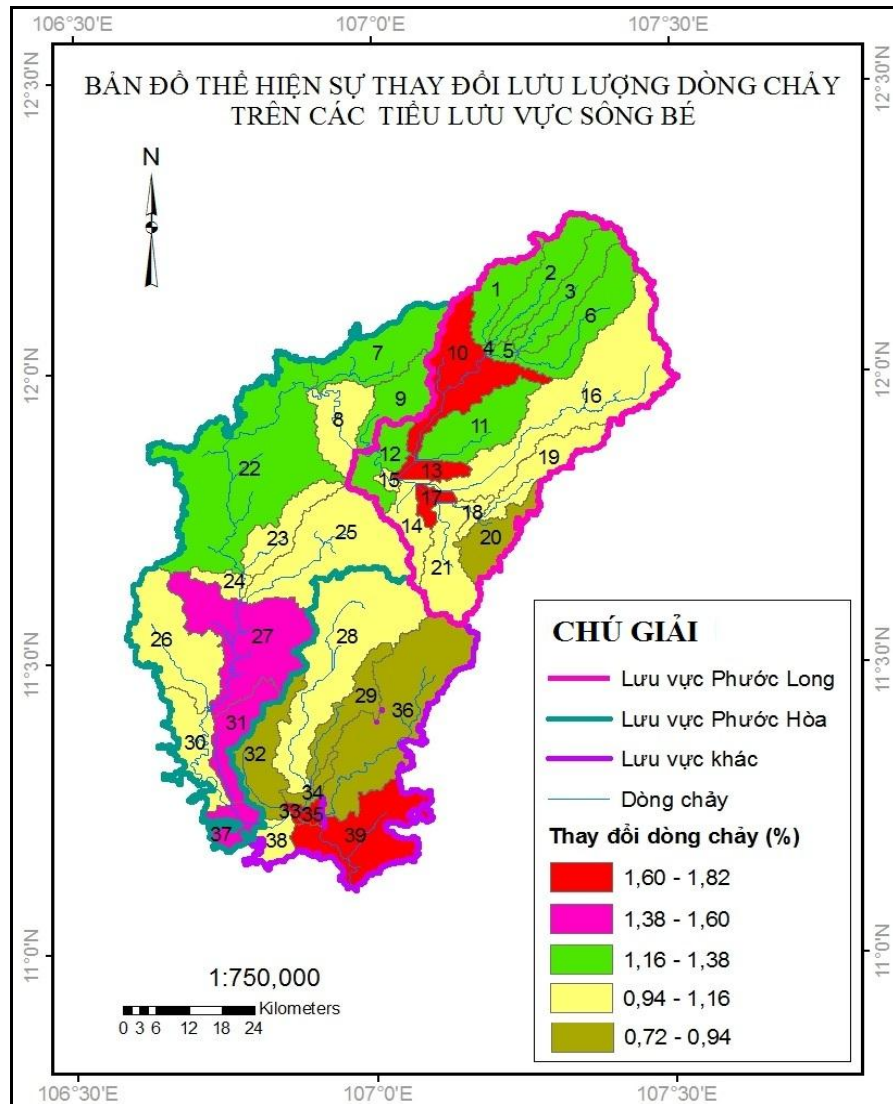
Sự thay đổi giá trị LLDC mô phỏng trung bình tháng giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999 ở hai tiểu lưu vực trong kịch bản này là hoàn toàn khác nhau. So sánh kết quả mô phỏng với giai đoạn nền, xu hướng diễn biến dòng chảy ở hai tiểu lưu vực giống nhau, lưu lượng tăng trong mùa mưa và giảm vào mùa cạn, mùa lũ trong

giai đoạn 2008 - 2030 đến sớm hơn giai đoạn 1980 - 1999 (bắt đầu vào Tháng VII thay vì Tháng IX).

Trong khi giá trị mô phỏng trung bình dòng chảy năm tăng theo thời gian với tốc độ trung bình thì dòng chảy lũ thể hiện xu thế tăng nguy hiểm tại hai tiểu lưu vực vào các tháng giữa mùa mưa (Tháng VII, VIII, IX), hai tháng đầu mùa mưa (Tháng V, VI) có xu hướng tăng nhẹ do dòng chảy trong thời gian này chưa cao. Giai đoạn 2008 - 2030, giá trị LLDC tháng mùa mưa tăng ở trạm Phước Long từ 9,22 - 138,91 m³/s (1,03 - 1,69 %), tăng cao nhất vào Tháng VII (340,58 m³/s). Giá trị LLDC trạm Phước Hòa tăng từ 33,71 - 351,68 m³/s (1,08 - 1,72 %), tăng cao nhất vào Tháng VII (843,26 m³/s).

Mùa cạn thì dòng chảy giảm đi (giảm mạnh vào những tháng đầu mùa), tuy không đáng kể về lượng nhưng lại có tác động nghiêm trọng do bản thân dòng chảy kiệt ở khu vực đã rất thấp. Điều này cho thấy sự thay đổi nhiệt độ không khí làm gia tăng lượng tổn thất do bốc hơi lên nhiều, bên cạnh đó lượng mưa mùa cạn tuy nhỏ nhưng khi giảm lượng mưa cũng tác động mạnh đến dòng chảy mùa cạn. Giai đoạn 2008 - 2030, giá trị dòng chảy tháng mùa cạn giảm báo động, trong ba tháng cạn nhất có những tháng giá trị gần bằng 0. Tại Phước Long giá trị giảm từ 3,06 - 84,40 m³/s (0,18 - 0,45 %); giảm mạnh nhất vào Tháng XI (62,29 m³/s). Tại Phước Hòa giá trị giảm từ 11,27 - 185,34 m³/s (0,24 - 0,42 %); giảm mạnh nhất vào Tháng XI (133,38 m³/s).

Sự thay đổi giá trị LLDC khác nhau trên từng tiểu lưu vực. Dựa vào Hình 3.17, nhận thấy giá trị LLDC ở thượng nguồn tăng nhưng tăng ít hơn so với hạ lưu, ở phía Tây tăng nhiều hơn so với phía Đông. Thay đổi lớn nhất từ 1,60 - 1,82 % ở tiểu lưu vực 10, 13, 17, 33, 35 và 39. Thay đổi nhỏ nhất từ 0,72 - 0,94 % ở tiểu lưu vực 20, 29, 32, 34 và 36, (giá trị LLDC được trình bày chi tiết phụ lục 2).



Hình 3.17: Bản đồ thể hiện sự thay đổi LLDC (%) trên từng tiểu lưu vực trong giai đoạn 2008 - 2030 so với giai đoạn 1980 - 1999

3. Đề xuất các biện pháp hỗ trợ quy hoạch thích ứng với BĐKH

3.1 Các biện pháp chung

Từ các hội thảo về BĐKH và nước biển dâng trên toàn quốc đã cho chúng ta thấy rằng cần phải hành động một cách thiết thực để giảm mức độ thiệt hại do BĐKH gây ra. Vì vậy, cần giải quyết ở các cấp độ khác nhau như cộng đồng dân cư, chính sách và năng lực thể chế, trong đó quan trọng nhất là xây dựng năng lực thể chế mang tính vi mô và vĩ mô (Nguyễn Văn Thắng và nnk, 2010).

Ở cấp độ cộng đồng dân cư:

- Trong thời gian ngắn: cần xây dựng các chương trình cụ thể, phù hợp với điều kiện tự nhiên và địa hình từng địa phương, cần có sự hỗ trợ khẩn cấp thông qua hỗ trợ thiên tai.
- Về lâu dài: cần xây dựng bản đồ dự báo BĐKH theo cấp độ khác nhau và nâng cao năng lực thích ứng ở các vùng bị ảnh hưởng trong các quá trình phát triển các ngành nghề khác nhau.

Ở cấp độ chính sách: cần liên kết với các nước trong khu vực xây dựng chiến lược ở cấp khu vực, cấp quốc gia cũng như địa phương. Các yếu tố thay đổi khí hậu cần được lồng ghép với chính sách phát triển kinh tế - xã hội.

Vì thế, việc cần làm là nghiên cứu xác định tác động ở các mức độ của BĐKH, điều chỉnh lại quy hoạch và định hướng phát triển kinh tế - xã hội của quốc gia, vùng và các tỉnh địa phương. Từ đó, biến thách thức của BĐKH thành cơ hội mới cho quá trình phát triển bền vững.

3.2 Biện pháp thích ứng với BĐKH trong lĩnh vực TNN ở Việt Nam

Từ những biện pháp thích ứng chung với BĐKH, cần có những biện pháp thích ứng riêng cho lĩnh vực TNN ở Việt Nam.

1. Thực hiện có hiệu quả việc quản lý tổng hợp TNN theo lưu vực sông trong điều kiện xét tới BĐKH, đặc biệt là các lưu vực sông liên quốc gia, khi mà trạng thái dòng chảy (kể cả lượng và chất) bị phụ thuộc nhiều vào tình hình phát triển kinh tế của các quốc gia ở thượng lưu.

2. Củng cố, nâng cấp và xây dựng bổ sung các công trình khai thác nguồn nước trong điều kiện BĐKH và nước biển dâng nhằm bảo đảm các nhu cầu phát điện, cấp nước và bảo vệ môi trường sinh thái dùng nước, phòng chống thiên tai về nước, phục vụ cho phát triển bền vững kinh tế - xã hội. Rà soát lại tiêu chuẩn, tần suất thiết kế các công trình, đảm bảo làm việc an toàn trước tình trạng BĐKH. Xây dựng quy trình vận hành liên hồ chứa các nhà máy thủy điện và công trình thủy lợi phía thượng nguồn.

3. Giảm thiểu tác hại do nước gây ra. Lập quy hoạch phát triển bền vững TNN các lưu vực sông, các vùng trên cơ sở gắn kết với quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội của

cả nước. Trước tiên, cần rà soát, xây dựng các hồ thủy lợi; thủy điện; hệ thống đê điều,...có tính đến BĐKH. Thực hiện việc sử dụng nguồn nước tiết kiệm và hợp lý, phổ biến các biện pháp tưới tiêu khoa học và tiết kiệm nước trong ngành nông nghiệp như tưới phun; tưới nhỏ giọt;...

4. Tăng cường nghiên cứu khoa học và phát triển công nghệ về điều tra, khảo sát, quan trắc, đánh giá TNN và năng lực thích ứng với BĐKH. Cần chuẩn bị nguồn nhân lực - vật lực để có đủ khả năng đối phó và thích ứng với BĐKH trong khu vực.

5. Hoàn chỉnh; nâng cấp và hiện đại hoá hệ thống quan trắc, dự báo dài hạn TNN, dự báo mùa; nắm về TNN, về thiên tai; lũ lụt; xâm nhập mặn; ..., xây dựng hệ thống cảnh báo lũ quét.

6. Hoàn thiện thể chế, tổ chức.

3.3 Biện pháp thích ứng với tác động của BĐKH đến lưu lượng nước sông Bé

Dựa vào những biện pháp đã đề xuất trên và kết hợp với những yếu tố đặc trưng của lưu vực sông Bé, đề tài đưa ra một số biện pháp hỗ trợ cụ thể cho lưu vực dưới tác động BĐKH.

1. Nguồn nước sông Bé được sử dụng đa mục tiêu, quyền ưu tiên được đề xuất một cách chủ quan như sau: thứ nhất là nước cho thủy điện, thứ hai là cấp nước cho tưới tiêu, thứ ba là chuyển nước cho Hồ Dầu Tiếng, thứ tư là cấp nước cho nhà máy nước Nam Bình Dương và cuối cùng là đảm bảo dòng chảy môi trường cho vùng hạ lưu sông Sài Gòn - Đồng Nai (Nguyễn Hải Âu, 2009). Vì vậy, cần nhanh chóng hoàn thành quy hoạch tổng hợp lưu vực sông nhằm thiết lập cơ chế mang tính chất pháp lý trong việc phân phối, chia sẻ nguồn nước cho các ngành, sử dụng hiệu quả và bảo vệ TNN lưu vực sông.

2. Nguồn nước lưu vực sông Bé dồi dào và phong phú nhưng phân bố rất không đồng đều. Mùa mưa mức độ tập trung nước rất cao (chiếm 85 - 90 % tổng lượng nước) nên dễ gây lũ lụt. Mùa cạn một số nơi lại thiếu nước nghiêm trọng, thậm chí nước sinh hoạt cũng gặp nhiều khó khăn trong khi đó nhu cầu nước trong mùa cạn lại rất lớn, nhất là cần thiết cho vụ mùa Đông - Xuân. Vì vậy, để hạn chế tới mức thấp nhất thiệt

hại do lũ lụt gây ra, nhằm điều hòa nguồn nước dồi dào sẵn có, cần kết hợp giữa hai biện pháp công trình và phi công trình.

- Biện pháp công trình: tiếp tục xây dựng và hoàn chỉnh hệ thống các hồ chứa (thủy lợi và hồ chứa của các nhà máy thủy điện) theo quy hoạch để tạo điều kiện tốt trong việc chủ động điều hòa nguồn nước trên toàn lưu vực, trong điều kiện cần thiết có thể xây các công trình chuyển nước lưu vực để giải quyết cho những vùng khan hiếm. Trên cơ sở các công trình thủy lợi hiện có, cần quản lý và khai thác hết công suất của các hồ, đập, kết hợp với việc tính toán xây dựng các công trình mới. Đồng thời, cần đẩy mạnh việc trồng rừng, phủ xanh đồi trọc nhằm điều hòa nguồn nước, giảm lũ và tăng lưu lượng nước vào mùa kiệt.

- Biện pháp phi công trình: tích cực bảo vệ và phát triển rừng đầu nguồn có tính chất phòng hộ. Tăng cường quản lý tổng hợp lưu vực sông nhằm hài hòa lợi ích giữa thượng - hạ lưu, giữa các đối tượng sử dụng nước để việc sử dụng được tiết kiệm, đạt hiệu quả và bền vững.

3. Trong thời gian tới, do nhu cầu phát triển kinh tế ngày càng cao, các khu công nghiệp ở Đồng Nai, TP. Hồ Chí Minh, Bình Dương,... được xây dựng và mở rộng, cùng với nhu cầu về nước sinh hoạt ngày càng lớn do việc tăng dân số và phát triển các đô thị, cần phải sử dụng đến một lượng lớn nước trong nguồn nước lưu vực sông Bé. Vì vậy, cần tăng cường năng lực cấp nước để đáp ứng nhu cầu dùng nước ngày càng gia tăng, điều chỉnh chế độ dòng chảy, tích trữ nước để giảm lưu lượng vào mùa lũ và tăng đáng kể vào mùa cạn. Cần xây dựng mục tiêu sử dụng nước tiết kiệm trong tất cả các đối tượng sử dụng nước sao cho có hiệu quả hơn, chuyển đổi cơ cấu cây trồng, vật nuôi, lịch canh tác để thích ứng với tình trạng khan hiếm nước trong mùa cạn.

- Đối với nông nghiệp: ngành sử dụng nước nhiều nhất, chiếm tới hơn 90 % tổng các nhu cầu nước của lưu vực (Nguyễn Duy Liêm, 2011), trong mùa cạn cần áp dụng các hình thức tưới tiết kiệm nước (tưới phun, tưới rãnh, đồng thời giữ nước, giữ ẩm cho đất để giảm lượng nước tưới cho các loại cây trồng), qua đó có thể tiết kiệm được

lượng nước đáng kể cung cấp cho các ngành khác vốn sử dụng nước ít hơn so với ngành trồng trọt.

- Trong lĩnh vực công nghiệp: áp dụng những tiến bộ khoa học kỹ thuật cho phép sử dụng tiết kiệm nước mà vẫn đảm bảo hiệu quả sản xuất.

- Các ngành sử dụng nước khác nhau cũng cần có chương trình sử dụng nước tiết kiệm cụ thể. Riêng đối với thủy điện thì cần có quy trình vận hành hợp lý để vừa đảm bảo yêu cầu ngành điện và phục vụ các yêu cầu sử dụng nước ở hạ lưu cũng như duy trì dòng chảy sinh thái.

4. Tăng cường các biện pháp bảo vệ chất lượng nước. Tình trạng ô nhiễm nước ở các đô thị, nước thải, rác thải sinh hoạt không có hệ thống xử lý tập trung mà trực tiếp xả ra nguồn tiếp nhận,... là những nguồn quan trọng gây ra ô nhiễm nguồn nước. Vì vậy, cần có những chiến lược lâu dài nhằm cung cấp nguồn nước đạt chất lượng cho sinh hoạt và sản xuất.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

❖ KẾT LUẬN

Mô phỏng LLDC lưu vực sông Bé trong giai đoạn 1979 - 2007 bằng mô hình SWAT và kiểm định mô hình với số liệu thực đo tại hai trạm Phước Long và Phước Hòa, kết quả đạt loại khá (giá trị R^2 và NSI đều đạt trên 0,7).

Trong giai đoạn từ 1979 - 2007:

- Dòng chảy tại Phước Long và Phước Hòa được xác định theo sự biến động của lượng mưa. Dòng chảy tại hai tiểu lưu vực trong giai đoạn 1979 - 1997 đạt đỉnh mùa mưa (Tháng VIII/1986, IX/1992 và X/1994), các tháng còn lại trong năm (nhất là trong mùa cạn) dòng chảy rất nhỏ.

- Giai đoạn 1979 - 1994: tính chất của dòng chảy lũ trong giai đoạn này là tăng về cường độ nhưng biến đổi ít đột ngột, bắt đầu Tháng V và kết thúc vào Tháng X. Tại hai trạm, đỉnh lũ xuất hiện vào Tháng IX với lưu lượng 280,76 m³/s (Phước Long) và 609,91 m³/s (Phước Hòa). LLDC trung bình các tháng trong mùa cạn là 40,27 m³/s (Phước Long) và 82,43 m³/s (Phước Hòa).

- Giai đoạn 1994 - 1997: tính chất của dòng chảy lũ ở hai trạm trong giai đoạn này tương tự như giai đoạn trước nhưng lưu lượng thấp hơn. So với giai đoạn 1979 - 1994, đỉnh lũ vẫn xuất hiện vào tháng IX ở trạm Phước Long với lưu lượng 213,43 m³/s (giảm 0,76 %) và trạm Phước Hòa 501,90 m³/s (giảm 0,82 %). Khi thủy điện Thác Mơ hoàn thành do có sự điều tiết, lưu lượng trung bình tháng trong mùa cạn tại trạm Phước Long (72,28 m³/s, tăng 1,79 %) và Phước Hòa (90,03 m³/s, tăng 1,09 %) tăng so với giai đoạn 1979 - 1994.

Kết quả nghiên cứu cho thấy BĐKH ảnh hưởng rõ rệt đến dòng chảy các tiểu lưu vực và sự thay đổi chế độ dòng chảy lưu vực sông Bé phản ánh xu thế chung của BĐKH.

- Dòng chảy trung bình năm trên toàn hệ bộ thống sông Bé trong kịch bản BĐKH có xu hướng tăng theo thời gian so với hiện trạng và tốc độ khác nhau ở các năm. So

[76]

với giai đoạn 1980 - 1999 thì giá trị trung bình LLDC năm giai đoạn 2008 - 2030 tăng ở hai tiểu lưu vực Phước Long (1,06 %) và Phước Hòa (1,08 %).

- Dòng chảy trung bình theo tháng tăng vào mùa mưa và giảm mạnh vào mùa cạn. Xu hướng dòng chảy mùa mưa giống như giai đoạn 1980 - 1999 nhưng lũ xuất hiện sớm hơn (Tháng VII thay vì tháng IX), LLDC tăng ở tiểu lưu vực Phước Long (1,03 - 1,69 %) và Phước Hòa (1,08 - 1,72 %). Mùa cạn dòng chảy giảm ở tiểu lưu vực Phước Long (0,18 - 0,45 %) và Phước Hòa (0,24 - 0,42 %). Dòng chảy trung bình năm tăng ở tiểu lưu vực Phước Long (1,06 %) và Phước Hòa (1,08 %).

- Sự thay đổi giá trị LLDC khác nhau trên từng tiểu lưu vực, LLDC ở thượng nguồn tăng nhưng tăng ít hơn so với hạ lưu, ở phía Tây tăng nhiều hơn so với phía Đông. Thay đổi giá trị LLDC nhiều nhất từ 1,60 - 1,82 %.

Vì vậy về quan điểm khai thác TNN, việc điều tiết lại nguồn nước trong năm phải xem xét thích ứng trong hoàn cảnh mới để đảm bảo cung cấp đủ lượng nước cho sinh hoạt và sản xuất. Qua đó, nghiên cứu đã nêu ra một số biện pháp thích ứng với tác động của BĐKH đến lưu lượng nước sông Bé như quy hoạch tổng hợp lưu vực để phân chia nguồn nước phù hợp theo các yêu cầu sử dụng, xây dựng và hoàn chỉnh hệ thống các hồ chứa theo quy hoạch, sử dụng nước tiết kiệm trong tất cả các đối tượng sử dụng nước sao cho có hiệu quả hơn và tăng cường các biện pháp bảo vệ chất lượng nước để phục vụ cho sản xuất và sinh hoạt.

Đối với mô hình, luận văn đã cố gắng loại bỏ những bất định thông qua việc kiểm định (nhưng chưa hiệu chỉnh mô hình) trong tính toán, nhằm mục đích tối thiểu hóa sai số từ mô hình. Đối với khía cạnh mô hình hóa đánh giá tác động BĐKH trong tương lai, kết quả mô hình còn nhiều sai sót so với mô hình khí hậu. Đề tài đã bước đầu khắc phục vấn đề này nhưng do nhiều hạn chế về thời gian, dữ liệu, thiết bị nên kết quả chỉ dừng lại ở mức độ nhất định.

❖ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu đã đạt được kết quả tốt, là một trong những công cụ rất hữu ích trong quản lý tổng hợp và quản lý sử dụng hiệu quả TNN. Tuy nhiên, đề tài cũng đề xuất một số nghiên cứu sâu hơn nhằm đạt đến mục tiêu quản lý, khai thác và sử dụng bền vững TNN theo lưu vực sông như sau:

- Nghiên cứu sâu hơn về mô hình, kiểm định đồng thời hiệu chỉnh mô hình và các thông số đầu vào nhằm cải thiện kết quả là cần thiết. Vì vậy, cần thu thập và chuẩn bị dữ liệu đầu vào thật tốt để kết quả mô phỏng của mô hình đạt độ chính xác cao.
- Điều tra, khảo sát chi tiết về số lượng, chất lượng nước yêu cầu tại từng vùng trên lưu vực theo các tháng trong năm. Mô phỏng chất lượng nước, phân tích kinh tế TNN trong đánh giá TNN hướng đến hệ thống hỗ trợ ra quyết định. Trong thời gian tới, mô hình cần được nghiên cứu kỹ hơn để áp dụng cho các bài toán khác, phục vụ công tác quy hoạch quản lý TNN.
- Tính toán và đánh giá tác động của BĐKH đến LLDC, chất lượng nước và các yếu tố khác trên lưu vực sông Bé tại các mốc thời gian tiếp theo của các kịch bản BĐKH khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- Lâm Minh Triết (1999 - 2000), *Xây dựng một số cơ sở khoa học phục vụ cho việc quản lý thống nhất và tổng hợp môi trường nước lưu vực sông Đồng Nai*, Đề tài cấp nhà nước KHCN.07.17, Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- Đặng Văn Đức. 2001. *Hệ Thống Thông Tin Địa Lý*. NXB Khoa học và Kỹ thuật. Hà Nội.
- Đỗ Đức Dũng và ctv, 2002. *Báo cáo tổng hợp “Quy hoạch Thủy lợi Lưu vực sông Bé”*. Viện Quy hoạch Thủy Lợi Miền Nam.
- Nguyễn Thanh Sơn. *Tính toán thủy văn*, NXB ĐHQG Hà Nội, 2004.
- Bùi Thị Tần và ctv, 2006. *Đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến tài nguyên nước lưu vực sông Lô - Chảy*, Viện Khí tượng thủy văn.
- Cục Quản lý Tài nguyên nước thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường và Viện Quy hoạch Thủy lợi Miền Nam, 2007. *Dự án quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai*.
- Đỗ Đức Dũng và ctv, 2007. *Dự án Quy hoạch tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai*. TP. HCM. Viện Quy hoạch Thủy Lợi Miền Nam.
- Nguyễn Kim Lợi và Trần Thống Nhất, 2007. *Hệ thống Thông tin Địa lý - Phần mềm ArcView 3.3*. NXB Nông Nghiệp, TP. Hồ Chí Minh.
- Tô Văn Trường và nnk. 2008. *Báo cáo tổng hợp Quy hoạch Tài nguyên nước lưu vực sông Đồng Nai*, Cục Quản lý tài nguyên nước Việt Nam trực thuộc Bộ Tài nguyên và Môi trường.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2009. *Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam*.

- Nguyễn Hải Âu, 2009. *Nghiên cứu ứng dụng mô hình toán thích hợp hỗ trợ quản lý sử dụng hiệu quả tài nguyên nước lưu vực sông Bé*. Luận văn Thạc sĩ, Viện Môi trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh.
- Tổng cục Thống kê, 2009. Kết quả toàn bộ Tổng điều tra Dân số và Nhà ở Việt Nam năm 2009. Địa chỉ truy cập: <http://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=512&idmid=5&ItemID=10798>.
- Nguyễn Văn Thắng và nnk, 2010. *Nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu đến các điều kiện tự nhiên, tài nguyên thiên nhiên và đề xuất các giải pháp chiến lược phòng tránh, giảm nhẹ và thích nghi, phục vụ phát triển bền vững kinh tế xã hội ở Việt Nam*. Đề tài KC08.13/06-10.
- Nguyễn Duy Liêm, 2011. *Ứng dụng công nghệ Viễn Thám, Hệ Thống Thông Tin Địa Lý và mô hình toán tính toán cân bằng nước lưu vực sông Bé*. Luận văn tốt nghiệp, Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2012. *Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam*.

Tiếng Anh

- Nash, J. E. and J.V. Sutcliffe, 1970. *River flow forecasting through conceptual models, Part 1. A discussion of principles*. Journal of Hydrology 10 (3): 282-290.
- Williams, J.R. and R.W. Hann. 1972. *HYMO, a problem-oriented computer language for building hydrologic models*. Water Resour. Res. 8(1):79-85.
- Rallison, R.E. and N. Miller, 1981. *Past, present and future SCS runoff procedure*. p. 353-364. In V.P. Singh (ed.). *Rainfall runoff relationship*. Water Resources Publication, Littleton, CO8.
- Burrough, P.A. (1986) *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12, Oxford Science Publications, New York.

- Smith, N. 1987. *Academic War Over the Field of Geography: The Elimination of Geography at Harvard, 1947-51*. *Annals of the Association of American Geographers* 77:155-172.
- FAO, 1995. *The digital soil map of the world and derived soil properties*. CD-ROM Version 3.5, Rome.
- IPCC, Climate Change 1995, *Impacts Assessment*.
- Schneider, S. H. *What is “dangerous” climate change?* *Nature* 411, 17-19 (2001).
- DHI, 2004, *MIKE BASIN-a modelling system for River system*, DHI software, 2004.
- P. Krause et al., 2005. *Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment*. *Advances in Geosciences* 5: 89–97.
- S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, *Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation, version 2005*.
- IPCC (2007), *The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.
- Susan L. Neitsch et al., 2009. *Overview of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model*. In: Arnold, J et al., eds. 2009. *Soil and Water Assessment Tool (SWAT): Global Applications*. Special Publication No. 4., World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok: Funny Publishing, pp.3-23.